

**FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
CASA DE OSWALDO CRUZ**

Jorge Tibilletti de Lara

Radioisótopos, Ciências da Vida e Ecologia no Brasil (1949-2007)

**Rio de Janeiro
2024**

Jorge Tibilletti de Lara

Radioisótopos, Ciências da Vida e Ecologia no Brasil (1949-2007)

Tese de doutorado acadêmico apresentada ao Curso de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, da Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em História das Ciências e da Saúde.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Cândido da Silva

Rio de Janeiro
2024

Jorge Tibilletti de Lara

Radioisótopos, Ciências da Vida e Ecologia no Brasil (1949-2007)

Tese de doutorado acadêmico apresentada ao Curso de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, da Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz, como requisito parcial para obtenção do Grau Doutor em História das Ciências e da Saúde.

Aprovada em: 18 de abril de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Felipe Cândido da Silva (Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde da Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz) – Orientador

Prof. Dra. Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa (Faculdade de Educação-Universidade Estadual de Campinas-Unicamp)

Prof. Dr. Claiton Marcio da Silva (Programa de Pós-Graduação em História da Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS)

Prof. Dr. Gilberto Hochman (Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde da Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz)

Prof. Dr. André Secchieri Bailão (Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde da Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz)

Suplentes:

Prof. Dr. Roger Domenech Colacios (Programa de Pós-Graduação em História da Universidade Estadual de Maringá-UEM)

Prof. Dr. Gabriel Lopes (Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde da Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz)

Rio de Janeiro
2024

L318r Lara, Jorge Tibilletti de.
Radioisótopos, Ciência da Vida e Ecologia no Brasil :
(1949-2007) / Jorge Tibilletti de Lara. – Rio de Janeiro, 2024.
620 f. : il, color.

Orientador: André Felipe Cândido da Silva.
Tese (Doutorado Acadêmico em História das Ciências e
da Saúde). Fundação Oswaldo Cruz. Casa de Oswaldo Cruz.
Bibliografia: f. 567-210.

1. Radioatividade. 2. Biologia Molecular. 3. Ecossistema.
4. História do Século XX. 5. História do Século XXI. 6. Brasil.

CDD 539.752

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica
da Rede de Bibliotecas da Fiocruz com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Responsável pela Ficha Catalográfica: Eliane Dias - CRB-7-5011

Para o tio Juca (*in memoriam*)
Para minha eterna Mixoma (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas, instituições, situações e contatos que apoiaram e inspiraram o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa. Fazer o doutorado foi uma meta que estabeleci ainda no início da minha graduação em História, em 2014, com dezessete anos de idade. Dez anos depois, chego no fim deste trabalho, me sentindo feliz por ter cumprido este grande desafio. Não posso deixar de expressar, entretanto, que esse processo me trouxe muitas marcas, nem todas positivas.

Gostaria inicialmente de agradecer a minha esposa Rebeca Capozzi, cujo apoio para a finalização deste trabalho não pode nem de longe ser medido. Com Rebeca, escolhi compartilhar minha frívola existência, o que me rendeu uma linda família não tradicional, formada por dois humanos meio filósofos meio artistas, duas cachorras belíssimas (Bertha von Goethe e Sasha Sokurov) e um calopsita que não para de piar (Sci-fi). Além de tudo, Rebeca é ainda uma das minhas principais parceiras de trabalho e pesquisa, e pretendo escrever muito em conjunto com ela.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ - Bolsa Nota 10) pelas bolsas concedidas ao longo desta pesquisa. Sem esse aporte financeiro, esta tese, muito provavelmente, não seria realizada.

Agradeço muito ao meu orientador, André Felipe Cândido da Silva, que está comigo desde o início do mestrado. O professor André Felipe contribuiu para esta pesquisa em muitos pontos, mas devo destacar aqui a parceria, confiança e autonomia que me foi dada, além das grandes palavras de incentivo, tanto nos momentos difíceis, que não foram poucos, quanto nos de maior empolgação. André Felipe foi uma grande inspiração para mim, tanto pelo seu profissionalismo quanto pela sua generosidade. Agradeço também aos outros pesquisadores, professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde e da Casa de Oswaldo Cruz em geral. Agradeço aos professores Olival Freire Júnior e Gilberto Hochman, pela participação em minha banca de qualificação.

Se fazer uma tese de doutorado já é, por vezes, algo solitário, ter realizado esta pesquisa durante o isolamento social ocasionado pela pandemia de Covid-19 foi desafiador. Nos dois primeiros anos de pesquisa trabalhei basicamente com documentos e arquivos digitais, e realizei a maior parte das entrevistas que compõem o acervo de história oral desta tese. Agradeço, nesse sentido, a todos os cientistas entrevistados e que autorizaram ter seus nomes inseridos nesta história. São eles: Carlos Frederico Martins Menck, Israel

Felzenszwalb, Jean Remy Davée Guimarães, João Paulo Machado Torres, Luiz Drude de Lacerda, Regina Costa de Oliveira, Valéria Magalhães e Wanderley Rodrigues Bastos. Muito obrigado pela colaboração substancial para este trabalho, em especial a de João Paulo Machado Torres, que literalmente abriu espaço dentro do próprio Laboratório de Radioisótopos (LREPF) para que eu pudesse mapear documentos livremente.

Num segundo momento desta pesquisa, tive a oportunidade de visitar presencialmente vários arquivos e bibliotecas. Agradeço a todos os funcionários das instituições que visitei, em especial do arquivo do Museu Histórico Carlos da Silva Lacaz (FMUSP), em São Paulo, da biblioteca do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP) em Piracicaba, do Espaço Memorial Carlos Chagas Filho (IBCCF-UFRJ) e do arquivo e biblioteca da Casa de Oswaldo Cruz, no Rio de Janeiro. Agradeço à generosidade dos colegas Ricardo dos Santos Batista e Denis Guedes Jogas Junior, que me ajudaram e cederam algumas fontes de pesquisa, ainda no início desta tese. Agradeço também ao corvídeo negro que carrega em seu bico a chave da sabedoria, personagem que me foi fundamental na busca por fontes e bibliografia.

Agradeço aos membros do Centro de Estudos dos Animais (CEA-UFMG), grupo de pesquisa do qual faço parte, dedicado ao estudo da história dos animais. Minha gratidão também a alguns dos meus professores da graduação em História, na Unespar Paranaguá, em especial à professora Liliane Freitag, que me orientou na iniciação científica e agora durante o doutorado me aceitou para um estágio docência. Agradeço também ao meu ex-professor de antropologia José (Zé) Ronaldo Fassheber (*in memoriam*) que nos deixou recentemente, e aos professores João Pedro Dolinski e Joacir Navarro Borges, que muito me ensinaram e inspiraram.

Quero agradecer também aos meus grandes amigos historiadores Gabriel Lopes, Ana Rocha, Matheus Villani e Wellington Oliveira. Gabriel Lopes é, além de um grande amigo, um excelente parceiro de trabalho, com quem já aprendi muito e sigo aprendendo. Agradeço também a Huener Silva Gonçalves, parceiro da dengue. Aos meus amigos da vida Gustavo, Camila, Ariane, Alicia, Victor, Anderson e Emerson. Com Anderson e Emerson tenho uma história longa tocando heavy metal, que seguimos até hoje no Yellow Fever.

Agradeço muito aos meus pais, Jorge Luiz da Silveira de Lara e Leni Tibilletti de Lara, que sempre me apoiaram em meus estudos, e a todos os meus parentes, em especial ao meu sobrinho Heitor. Por último, preciso agradecer também aos pássaros, lepidópteros e seres sencientes em geral.

*“As if all this was something more
Than another footnote on a postcard from nowhere
Another chapter in the handbook for exercises in futility.”*

(Mgla, Exercises in Futility VI)

RESUMO

LARA, Jorge Tibilietti de. **Radioisótopos, Ciências da vida e Ecologia no Brasil (1949-2007)**. Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) - Casa de Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2024.

Esta tese aborda a emergência e a incorporação dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, mapeando as transformações ocorridas em decorrência da interação entre esses objetos e grupos de cientistas, instituições, demandas políticas e problemas socioambientais. A partir de uma análise que toma como base a trajetória de vários cientistas brasileiros, o trabalho percorre as aplicações dos radioisótopos na pesquisa agrícola, na medicina, na pesquisa biológica e na ecologia, do final da década de 1940, quando esses objetos se tornaram peças-chave na ciência global da Guerra Fria, até a virada para o século XXI, momento em que os radioisótopos cederam espaço a outras ferramentas utilizadas nos sistemas experimentais, tornando-se mais um dos instrumentos disponíveis no laboratório. Esta pesquisa acompanha, assim, diferentes contextos históricos, dentro de um amplo recorte temporal, tendo como fio condutor os radioisótopos e os impactos que eles provocaram na modelação de carreiras, instituições e programas de pesquisa. Trata-se de verificar como os radioisótopos compuseram os diferentes elementos dos sistemas experimentais, conceito do historiador das ciências Hans-Jörg Rheinberger, que designa as unidades mais elementares da prática de produção do conhecimento científico. Desse modo, analisa-se neste trabalho como os radioisótopos reorganizaram o campo da biologia brasileira ao longo do século XX, configurando novas identidades profissionais, constituindo novas disciplinas científicas e contribuindo para a formação, no Brasil, de estudos biomoleculares e ecossistêmicos. Com isso, argumenta-se que os radioisótopos impulsionaram o desenvolvimento dos dois principais polos da pesquisa biológica do pós-guerra - a biologia molecular e a ecologia de ecossistemas -, e que a sua história demonstra a relação estreita entre a energia nuclear e a institucionalização das ciências no Brasil. Da mesma forma, a utilização crescente dos radioisótopos na pesquisa científica reflete os desenvolvimentos que fundamentaram a hipótese das atividades antrópicas como efeitos equivalentes às forças geológicas no Sistema Terrestre, base da emergência do conceito de Antropoceno.

Palavras-chave: Radioisótopos; Ciências da Vida; Ecologia de Ecossistemas; Guerra Fria.

ABSTRACT

LARA, Jorge Tibilletti de. **Radioisótopos, Ciências da vida e Ecologia no Brasil (1949-2007)**. Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) - Casa de Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2024.

This thesis addresses the emergence and incorporation of radioisotopes in Brazilian biological research, mapping the transformations that occurred as a result of the interaction between these objects and groups of scientists, institutions, political demands, and socio-environmental problems. Based on the trajectory of several Brazilian scientists, the work covers the applications of radioisotopes in agricultural research, medicine, biological research and ecology, from the end of the 1940s, when these objects became pieces-key in global science from the Cold War, until the turn of the 21st century, when radioisotopes gave way to other tools used in experimental systems, becoming another of the instruments available in the laboratory. This research thus follows different historical contexts, within a broad time frame, with radioisotopes and the impacts they have had on shaping careers, institutions, and research programs as its guiding thread. The aim is to verify how radioisotopes composed the different elements of experimental systems, a concept by science historian Hans-Jörg Rheinberger, which designates the most elementary units in the practice of producing scientific knowledge. Thus, this work analyzes how radioisotopes reorganized the field of Brazilian biology throughout the 20th century, configuring new professional identities, constituting new scientific disciplines, and contributing to the formation, in Brazil, of biomolecular and ecosystem studies. With this, it is argued that radioisotopes boosted the development of the two main poles of post-war biological research - molecular biology and ecosystem ecology - and that their history demonstrates the close relationship between nuclear energy and institutionalization of science in Brazil. Likewise, the increasing use of radioisotopes in scientific research reflects the developments that supported the hypothesis of anthropic activities as effects equivalent to geological forces in the Earth System, the basis for the emergence of the Anthropocene concept.

Keywords: Radioisotopes; Life Sciences; Ecosystem Ecology; Cold War.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Diagrama dividindo por área os principais personagens abordados nesta tese.....	46
Figura 2: radiografia de ovos de serpentes ovíparas e ovovivíparas.....	60
Figura 3: radiografia da cabeça da serpente <i>Lachesis muta</i> (surucucu).....	60
Figura 4: Caixa de raios-X, vista frontal mostrando abertura oval no revestimento de chumbo e rato amarrado à porta deslizante.....	72
Figura 5: Reatores nucleares construídos até o ano de 1949, em ordem cronológica.....	86
Figura 6: Reatores nucleares de pesquisa de 1950 a 1957 e seus diferentes locais e países, tipos, potências, combustíveis e finalidades.....	87
Figura 7: O acordo nuclear teuto-brasileiro.....	112
Figura 8: Ilustração retratando o acidente radiológico de Goiânia.....	141
Figura 9: Foto tirada por Eduardo Ayrosa de uma ‘jovem cientista’ no reator IEA-R1.....	152
Figura 10: Fotos da Mostra <i>Atoms for Peace</i> , em São Paulo.....	159
Figura 11: Fotos da Mostra <i>Atoms for Peace</i> , em São Paulo, parte 2.....	160
Figura 12: Exposição das atividades realizadas no Instituto de Biofísica, na Mostra <i>Atoms for Peace</i> , em São Paulo.....	161
Figura 13: Capa da publicação de 1959 da Comissão Nacional de Energia Nuclear.....	162
Figura 14: Gráficos mostrando a distribuição de recursos pela CNEN em 1980 para aplicação de radioisótopos por áreas e instituições.....	174
Figura 15: Gráficos mostrando a distribuição de recursos pela CNEN em 1980 para pesquisas fundamentais e aplicadas.....	174
Figura 16: Gráficos do orçamento próprio da CNEN nos anos de 1995, 1996 e 1997.....	177
Figura 17: Diagrama dos principais personagens ligados ao CENA-Esalq/USP de acordo com esta análise.....	181
Figura 18: Organização do CENA por divisões, áreas de pesquisas e projetos.....	209
Figura 19: Capa da apostila ‘Átomo: fonte de vida’.....	224
Figura 20: Ilustração ‘A Bomba’.....	224
Figura 21: Áreas de aplicação dos radioisótopos.....	225
Figura 22: Aplicações dos radioisótopos na agricultura.....	225
Figura 23: ‘Átomos, fonte de vida, perene manancial de riqueza e de progresso’.....	226
Figura 24: Diagrama dos principais personagens ligados ao CMN-FMUSP de acordo com esta análise.....	228
Figura 25: Verônica Rapp de Eston e Tede Eston, diretores do CMN.....	229
Figura 26: Da esquerda para a direita: Verônica Rapp de Eston, George de Hevesy e Tede Eston.....	240
Figura 27: Na foto, Verônica Rapp de Eston se encontra entre seus dois assistentes.....	253
Figura 28: Além dos modernos e grandes aparelhos que simbolizavam a novidade da medicina nuclear desenvolvida naquele espaço, as fotos registram a presença de técnicas mulheres nas atividades da Divisão de Clínica do CMN, não sendo algo exclusivo dessa divisão.....	254
Figura 29: Biotério do Centro de Medicina Nuclear.....	262
Figura 30: Diagrama dos principais personagens ligados ao IEA/USP de acordo com esta análise.....	273

Figura 31: Diagrama dos principais personagens ligados à tradição radiobiológica do Instituto de Biofísica de acordo com esta análise.....	282
Figura 32: Fotos das aulas práticas do 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos.....	362
Figura 33: Capa do material produzido para o 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos.....	363
Figura 34: O cientista estadunidense Merrill Eisenbud, importante colaborador de Eduardo Penna Franca e do Laboratório de Radioisótopos, posando em foto com crianças de Hiroshima, Japão, em 1950.....	367
Figura 35: Da esquerda para a direita, Eduardo Penna Franca, Padre Thomas Cullen e Merrill Eisenbud, na conferência da PanAmerican Health Organization em Washington, em 1965.....	372
Figura 36: Mapa das regiões brasileiras de elevada radioatividade natural, mostrando tanto a faixa de ocorrência de areias monazíticas, no Espírito Santo, quanto a região de intrusivos alcalinos vulcânicos, em Minas Gerais.....	377
Figura 37: Autorradiografia de folhas de uma <i>Miconia theaezans</i> , da família <i>Melastomataceae</i> , coletada no Morro do Ferro.....	380
Figura 38: Fotografia da região do Morro do Ferro.....	381
Figura 39: Eduardo Penna Franca no Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica.....	408
Figura 40: Diagrama dos principais personagens ligados à história do Laboratório de Radioisótopos e da ecologia de ecossistemas de acordo com esta análise.....	418
Figura 41: Eduardo Penna Franca e Wolfgang Christian Pfeiffer.....	426
Figura 42: Esquema da análise pelo critério dos parâmetros críticos.....	450
Figura 43: Mapa da região da Baía de Sepetiba.....	454
Figura 44: Mapa da bacia de drenagem do Rio Amazonas com o Rio Madeira em destaque.....	463
Figura 45: Ciclo ambiental do mercúrio na região tropical da Amazônia.....	470
Figura 46: Locais de mineração de ouro ao longo do rio Madeira, no estado de Rondônia, Brasil.....	471
Figura 47: Série histórica da produção de ouro na região do rio Madeira, em Rondônia.....	472
Figura 48: Capa do livro que reunia pela primeira vez uma ampla quantidade de informações sobre contaminação por mercúrio a nível global.....	479
Figura 49: Capa do manual da CONSEMA destinado aos garimpeiros.....	486
Figura 50: Retorta da CONSEMA, com setas indicadoras dos componentes e funcionamento do instrumento.....	487
Figura 51: Uma página completa do manual, contendo tanto a ilustração de Zoghbi.....	488
Figura 52: Recorte de ilustração representando um protesto da fauna amazônica atingida pela contaminação do mercúrio.....	489
Figura 53: A convergência entre humor e apelo à virilidade masculina parece ter sido uma escolha simples para tratar de um tema altamente complexo.....	490
Figura 54: Olaf Malm com a retorta do projeto Água Limpa.....	494
Figura 55: Quadro descrevendo as atividades desenvolvidas pela Divisão de Monitoração, coordenada por Jean Remy Guimarães.....	503
Figura 56: Capa do relatório publicado em 1988 pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), sobre o acidente radiológico de Goiânia.....	508

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de pacientes, diagnósticos, testes, tratamentos e radioisótopos utilizados no CMN, 1955-1957.....	256
---	------------

LISTA DE SIGLAS

AEC - United Nations Atomic Energy Commission

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura

CMN – Centro de Medicina Nuclear

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

FMUSP – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

IBCCF – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

IEA – Instituto de Energia Atômica

IGBP - Programa Internacional da Geosfera-Biosfera

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

USAEC - United States Atomic Energy Commission

USP – Universidade de São Paulo

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

IOC – Instituto Oswaldo Cruz

ABC – Academia Brasileira de Ciências

PIMUT – Plano Integrado de Mutagênese

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

UNIR – Universidade Federal de Rondônia

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

CNAAA – Centro Nuclear Almirante Álvaro Alberto

LREPF – Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca

LOICZ - Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone

NIMD - National Institute for Minamata Disease

IBRAG - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

SUMÁRIO

Introdução.....	19
1 – Radioisótopos, Ciência e Guerra Fria.....	47
1.1 – A descoberta da radioatividade e suas primeiras aplicações médicas e biológicas.....	48
1.1.1 Os raios X e a radioatividade natural: uma introdução.....	48
1.1.2 Raios X no Brasil: de força misteriosa às mais diversas aplicações.....	52
1.1.3 Entre minerais radioativos e terapias médicas: o ‘radium’ no Brasil.....	62
1.2 – Radioisótopos, bombas atômicas e a energia nuclear em questão.....	67
1.2.1 O surgimento de uma ‘radiobiologia’ e os primeiros usos dos radioisótopos.....	67
1.2.2 “Aberto um campo inteiramente novo de investigações científicas”: o Projeto Manhattan e as explosões nucleares.....	79
1.2.3 Políticas do átomo: a energia nuclear no pós-guerra e as novas agências.....	87
1.2.4 Os primeiros trabalhos com radioisótopos no Brasil.....	92
1.3 – Energia Nuclear no Brasil: entre o programa nuclear brasileiro e a questão energética.....	99
1.3.1 Uma visão panorâmica da história do programa nuclear brasileiro.....	99
1.3.2 Um <i>imperativo de sobrevivência</i> ? Projeções, anseios e o lugar da energia nuclear no Brasil.....	117
1.3.3 <i>Neurose antinuclear</i> : algumas representações da energia nuclear no Brasil.....	134
1.4 – Átomos para a Paz: A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a circulação dos radioisótopos na ciência brasileira.....	147
1.4.1 <i>Brazil: Atoms for peace</i> . Radioisótopos, ciência e relações Brasil-EUA durante a Guerra Fria.....	147
1.4.2 A Comissão Nacional de Energia Nuclear: a energia atômica e a institucionalização das ciências no Brasil.....	164
2 – “Um incremento extraordinário às ciências biológicas”: radioisótopos e ciências da vida no Brasil.....	179
2.1 – Radioisótopos na agricultura: o caso do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP).....	180
2.1.1 Da criação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq) às primeiras pesquisas com radioisótopos na agricultura.....	180

2.1.2 Radioisótopos e agendas de pesquisa no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP).....	190
2.1.3 Irradiação de alimentos: outros projetos e problemas.....	218
2.2 – Radioisótopos na medicina: o Centro de Medicina Nuclear (CMN-FMUSP) e o Instituto de Energia Atômica (IEA-USP).....	227
2.2.1 De Laboratório de Isótopos a Centro de Medicina Nuclear.....	227
2.2.2 Pesquisas com radioisótopos no CMN: sistemas experimentais na medicina nuclear.....	250
2.2.3 Radioisótopos, medicina nuclear e bioquímica no Instituto de Energia Atômica (IEA-USP).....	272
2.3 – Radiobiologia e Fotobiologia a partir do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF).....	282
2.3.1 O Instituto de Biofísica e a radiação.....	282
2.3.2 Luiz Renato Caldas e os estudos radiobiológicos.....	294
2.3.3 Dos radioisótopos aos mecanismos de reparação de DNA: formação e trajetória de radiobiologistas no Brasil.....	313
3 – Os radioisótopos na trajetória científica de Eduardo Penna Franca e os estudos de radioatividade natural.....	348
3.1 Da química ao ambiente: a trajetória profissional de Eduardo Penna Franca.....	348
3.1.1 A formação inicial de Eduardo Penna Franca.....	348
3.1.2 Estagiando nos Estados Unidos: os primeiros contatos com os radioisótopos.....	351
3.1.3 O retorno de Eduardo Penna Franca ao Brasil.....	355
3.1.4 Eduardo Penna Franca e seus primeiros trabalhos no Instituto de Biofísica.....	357
3.1.5 O 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos do Instituto de Biofísica e a formação do Laboratório de Radioisótopos.....	359
3.2 Um programa para o Laboratório de Radioisótopos: os estudos de radioatividade natural.....	365
3.2.1 Bombas atômicas, <i>fallout</i> e o início do programa de pesquisas do Laboratório de Radioisótopos.....	365
3.2.2 Estudos em Guarapari, Meaipe, Morro do Ferro, Araxá e Tapira.....	378
3.2.3 Sistemas experimentais no programa de áreas de elevada radioatividade natural.....	384
3.2.4 As últimas etapas do programa e o encerramento da cooperação com a New York University.....	387
3.3 “Só então passei a me considerar um especialista no setor”: Angra dos Reis, monitoração ambiental e os estudos radioecológicos.....	393

3.3.1 O Laboratório de Radioisótopos e o licenciamento ambiental de Angra 1.....	394
3.3.2 Monitoração ambiental e estudos radioecológicos na usina nuclear de Angra dos Reis.....	396
3.3.3 Do levantamento radioecológico pré-operacional à consolidação do Laboratório de Radioisótopos.....	405
3.4 Conexões e agenciamentos:	
Eduardo Penna Franca e os radioisótopos como articuladores de redes científicas.....	409
3.4.1 Poços de Caldas e Morro do Ferro.....	409
3.4.2 Eduardo Penna Franca: publicações, orientações e articulações.....	412
4 – Dos radioisótopos aos metais pesados: estudos de ecossistemas no Brasil.....	418
4.1 Heavy metal turn: a virada para os estudos com metais pesados.....	422
4.1.1 Wolfgang Christian Pfeiffer e as novas feições do Laboratório de Radioisótopos.....	422
4.1.2 Carlos Costa Ribeiro e os projetos de poluição atmosférica e poluição dos sistemas hídricos.....	431
4.1.3 O início dos estudos em ecologia de ecossistemas em ambientes aquáticos do Rio de Janeiro.....	442
4.2 Entre Sepetiba e a Amazônia: agendas de pesquisas na ecologia de ecossistemas.....	447
4.2.1 Análise de Parâmetros Críticos: Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba, Rio Paraíba do Sul.....	447
4.2.2 “Uma Bomba Relógio Química?”: mercúrio e garimpo na Amazônia.....	459
4.2.3 “Ecologia do Ouro”: retortas, garimpeiros e cientistas.....	481
4.3 Radioisótopos, ecologia e Antropoceno no Brasil: trajetórias científicas e identidade profissional.....	495
4.3.1 <i>Terra em Transe</i> : Jean Remy Davée Guimarães, radioisótopos e metilmercúrio.....	496
4.3.2 Luiz Drude de Lacerda: mercúrio, mudanças climáticas e Antropoceno.....	520
4.3.3 Outras trajetórias no Laboratório de Radioisótopos: Olaf Malm, Wanderley Rodrigues Bastos, João Paulo Machado Torres e Valéria Magalhães.....	535
Considerações Finais.....	562
Referências.....	566

Introdução

Esta tese tem como objetivo analisar a incorporação dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira ao longo da segunda metade do século XX. Esse objetivo visa responder às seguintes questões: qual o papel dos radioisótopos, como instrumentos científicos e objetos tecnológicos, na organização do campo da biologia a partir do pós-guerra? Como esses objetos recolocaram debates teóricos, reorganizaram a paisagem dos laboratórios, remodelaram as práticas e metodologias, estruturaram novas identidades profissionais e modificaram as prioridades na biologia brasileira? E, por fim, como os radioisótopos marcaram o lugar das ciências biológicas em debates políticos, diplomáticos, sociais e ambientais? Para responder a essas questões, este trabalho movimentou um amplo e diverso conjunto documental, caminhando por tipologias bastante heterogêneas, como artigos científicos, relatórios oficiais, filmes, letras de músicas, correspondências, manuais, anais de eventos, jornais, tratados, teses e entrevistas de história oral com alguns cientistas que fizeram parte desse processo. Como recorte temporal, estabeleceu-se os anos de 1949 a 2007, visando com isso contemplar desde o período de emergência dos isótopos radioativos nas práticas de cientistas brasileiros, até um contexto no qual os usos desses objetos já estavam completamente transformados.

Radioisótopos, ou isótopos radioativos, ou ainda radionuclídeos, são átomos com excesso de energia. Como elementos químicos instáveis, diferenciam-se de átomos comuns pela quantidade geralmente maior de nêutrons, e, quando decaem, podem ser detectados pela emissão de radiações de partículas alfa, beta e gama. A partir das décadas de 1920 e 1930, os radioisótopos passaram a ser utilizados tanto como fonte de radiação na terapêutica de doenças como câncer e tuberculose, quanto como rastreadores moleculares, os chamados traçadores radioativos (CREAGER, 2013). Antes, porém, do advento de estudos com radioatividade artificial e dos aceleradores de partículas como os cíclotrons, o trabalho se dava sobretudo com radioisótopos naturais, isótopos radioativos presentes na Terra desde a sua formação. Já na década de 1940, durante a Segunda Guerra Mundial, os traçadores radioativos passaram a ser produzidos em larga escala, em grande parte devido ao estabelecimento do chamado Projeto Manhattan, nos Estados Unidos. Nesse contexto, com o surgimento de reatores nucleares, radioisótopos artificiais eram formados a partir do bombardeamento de átomos específicos com nêutrons. Com esses radioisótopos artificiais “em mãos”, era possível construir inúmeros tipos de traçadores radioativos a partir de moléculas ‘marcadas’.

Num organismo vivo, os traçadores podem ser acompanhados, pois, seu trânsito nos diferentes compartimentos biológicos, bem como o seu acúmulo, eliminação e diferentes alterações bioquímicas conseguem ser rastreadas pela detecção da radiação que é emitida pelo traçador. Ainda na década de 1920, o químico húngaro George de Hevesy (1885-1966) foi pioneiro na aplicação de radioisótopos em experimentos biológicos, utilizando o chumbo-212 para entender a absorção desse elemento em tecidos de plantas, o que lhe rendeu um prêmio Nobel de química em 1943. Muitas pesquisas se seguiram, em várias partes do mundo, investigando a incorporação e a trajetória de elementos radioativos como o bismuto (Bi), o tório (Th) e o polônio (Po) em tecidos animais e vegetais, e também em experimentos com humanos. Como já mencionei acima, com a emergência da energia atômica ainda durante a Segunda Guerra Mundial, e, após as explosões nucleares no Japão, em 1945, essas pesquisas sofreram grandes transformações. Entre os agentes desse processo estão o surgimento e a atuação da United Nations Atomic Energy Commission (AEC), em janeiro de 1946, e da United States Atomic Energy Commission (USAEC), em agosto de 1946, e as dinâmicas geopolíticas da Guerra Fria. A partir dos Estados Unidos, a USAEC aumentou de maneira significativa o consumo e a circulação de radioisótopos tanto nos EUA quanto para suas nações aliadas, “subsidiando os custos de produção, fornecendo treinamentos técnicos e incentivando a participação industrial” (CREAGER, 2014, p. 32). Nesse sentido, as prioridades surgidas com a Guerra Fria, acabaram por expandir trajetórias e intenções de pesquisas que já existiam, além de fomentar uma nova organização no campo da pesquisa biológica.

Em um de seus vários livros publicados, intitulado *A Short History of Biology* (1964), o bioquímico e um dos maiores escritores de ficção científica do século XX, Isaac Asimov, dedicou um pequeno subtópico do capítulo 12 aos ‘isótopos radioativos’. O escritor apresentava os radioisótopos como elementos importantes para a compreensão de uma série de aspectos metabólicos e processos intracelulares, dando os exemplos dos trabalhos de Rudolf Schoenheimer (1898-1941) com o hidrogênio-2 e o metabolismo de camundongos e Melvin Calvin (1911-1997) com as sequências de reações envolvidas na fotossíntese. O fato de os radioisótopos entrarem em livros de divulgação de ciência escritos por grandes nomes dessa literatura, ainda durante os anos 1960, demonstra o papel que esses objetos tecnológicos passaram a ocupar na biologia. Além dos radioisótopos, apenas um outro objeto, o microscópio, figurava como subtópico nessa “pequena história da biologia” escrita por Asimov, junto de teorias, processos, tecnologias, categorias e técnicas (ASIMOV, 1964). A comparação entre os microscópios e os radioisótopos, em termos de relevância

epistemológica, não está apenas nas entrelinhas de livros como o de Asimov. Em artigo publicado na *Revista de Medicina* da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP) em 1962, sobre os usos dos radioisótopos na medicina e biologia, o casal Verônica Rapp de Eston e Tede Eston, pioneiros da medicina nuclear no Brasil, comentavam:

Nestes últimos 15 anos o progresso nos estudos da dinâmica, tanto dos organismos vivos, como de simples reações químicas, foi de tal ordem, que só pode ser comparado ao progresso obtido no século passado no estudo da morfologia dos seres vivos e dos materiais, por meio do microscópio (ESTON et al, 1962, p. 142).

Os radioisótopos permitiram seguir moléculas marcadas através de suas reações químicas, ou em sistemas biológicos, detectando a radiação emitida pelo seu decaimento. Nesse sentido, processos antes imperceptíveis e até mesmo considerados estáveis, passaram a ser rastreados, a serem compreendidos em movimento, causando um grande impacto, primeiramente nas áreas da bioquímica e fisiologia, mas também na medicina, agronomia, ecologia e biologia molecular. Como os exemplos acima deixam claro, isso levou a muitas comparações entre radioisótopos e microscópios, como argumenta Angela Creager (2013): “O relatório semestral da USAEC de 1948 enfatizou o caráter revolucionário dos radioisótopos: “Como rastreadores, eles estão se provando a nova ferramenta de pesquisa mais útil desde a invenção do microscópio no século XVII”.” (CREAGER, 2013, p. 4).

Servindo para revelar reações químicas no metabolismo, rastrear o movimento e a atividade dos hormônios, acompanhar a replicação e expressão dos genes, detectar tumores, ou entender a ciclagem de nutrientes e poluentes nas partes vivas e não-vivas de ambientes aquáticos ou terrestres, ou dando um significado concreto à noção de ecossistema, os radioisótopos são elementos bastante significativos para pensar no papel que objetos tecnológicos e instrumentos científicos têm na conformação de novos conhecimentos na história das ciências. Com os radioisótopos, ou mesmo os microscópios (ópticos ou eletrônicos), ultracentrífugas, raios X e muitos outros instrumentos, de períodos mais remotos à *Big Science*, aparentemente não faltam exemplos do papel fundamental que tiveram os objetos para a conformação de determinados conhecimentos, disciplinas e teorias. Por outro lado, apesar do crescimento de trabalhos que levam em consideração a materialidade presente nesses processos históricos, a dimensão material geralmente tende a ficar em segundo plano.

Um exemplo clássico dessa aparente contradição pode ser encontrado na história e historiografia da virologia. O pioneiro e clássico *An Introduction to the History of Virology*, de 1978, colaboração entre o virologista britânico Anthony Peter Waterson e a historiadora Lise Wilkinson, narra uma história da disciplina pautada essencialmente pela discussão sobre

os diferentes conceitos de vírus, entendendo a história da virologia como a “revelação progressiva” da natureza dos vírus. A abordagem hierarquizada de modo problemático conceito, técnica, prática e instrumento. Numa perspectiva mais recente, de acordo com Méthot (2016), o surgimento da virologia como disciplina na década de 1950 não é apenas o resultado da descoberta ou da visualização de novas entidades biológicas - notadamente, os vírus -, mas também é o produto de novas técnicas e aparelhos que passam a ser utilizados nos domínios biomédicos, além, é claro, de infraestruturas científicas, como a fundação de revistas especializadas, práticas sociais, comunidades de pesquisadores e instituições (MÉTHOT, 2016, p. 146).

Esse exemplo evidencia algo que as historiadoras Angela Creager e Hannah Landecker (2009) apontam: os avanços conceituais na ciência tendem a receber mais atenção do que sua dimensão material. Estudando a história da cultura de tecidos e do uso dos radioisótopos na biologia, as autoras afirmam que:

Essas técnicas tornaram-se tão básicas para a condução das ciências da vida que tendem a ser consideradas meramente parte da infraestrutura do laboratório. Nosso objetivo em recontar como os biólogos adotaram esses métodos foi colocar o lado material da ciência em primeiro plano, bem como apontar como os desenvolvimentos históricos contingentes, tanto globais quanto locais, deram origem a essas ferramentas e permitiram sua ampla circulação (CREAGER e LANDECKER, 2009, p. 705).

Esta tese fará, nesse sentido, uma reflexão sobre o papel dos instrumentos científicos e objetos tecnológicos na consolidação, transformação e reorganização de disciplinas científicas e agendas de pesquisa. De acordo com Silvia Figueirôa (2014), instrumentos científicos são objetos que desempenham a função de mediadores entre o mundo, nossa percepção e o conhecimento construído a partir disso. Em trabalho pioneiro sobre a história do microscópio eletrônico, Nicolas Rasmussen (1997) explora como esse objeto passou a ser considerado um instrumento experimental nos Estados Unidos e como sua adoção afetou o campo da biologia. O historiador fez isso a partir da formulação de questões que são fundamentais para a problemática desta pesquisa: como os novos dispositivos são considerados sistemas experimentais pelos cientistas? Como a adoção de novos instrumentos afeta o conhecimento científico? (RASMUSSEN, 1997). Assim como Rasmussen e o microscópio eletrônico, Angela Creager (2013) demonstra, num estudo também inovador, como os radioisótopos, a partir das diferentes possibilidades de pesquisa abertas com o seu uso, levaram a uma série de novas perguntas sobre a economia e a regulação da vida, informadas a partir de novos conceitos como o de cibernética. “Os radioisótopos eram ingredientes-chave de uma epistème

do pós-guerra para entender a vida em termos moleculares” (CREAGER, 2013, p. 5).

O caráter básico de técnicas, métodos, objetos e instrumentos científicos, embora muitas vezes leve os historiadores a enxergar a paisagem dos laboratórios apenas como um pano de fundo, uma infraestrutura isenta de qualquer análise histórica e crítica, é indissociável das dimensões conceitual e teórica das ciências, como também se liga diretamente a contextos políticos, econômicos e sociais. Esses pontos fazem com que repensemos a ideia de “passividade” desses objetos na conformação de conhecimentos. Como nos mostra Lorraine Daston e Peter Galison (2007), a própria noção de objetividade, implícita nessas infraestruturas, contém diferentes formas de ver que são sociais, epistemológicas e éticas. Nesse sentido, a busca consciente por formas ‘objetivas’ de produzir, por exemplo, imagens científicas, seja pelo aparato fotográfico, ou por técnicas microscópicas, leva, de acordo com os autores, à adoção de métodos automatizados que seriam, na visão dos cientistas, independentes da manipulação humana (DASTON e GALISON, 2007). Assim, os objetos, mais do que intermediar a relação “cientista-natureza”, servem como base para a objetividade ‘necessária’ na formulação de um conceito, na explicação de um fenômeno ou na sustentação de uma teoria. Podemos dizer, então, que os objetos carregam consigo não só rastros de eventos históricos como guerras, acordos diplomáticos, interesses econômicos e desenvolvimentos de indústrias, como também são preenchidos por anseios individuais e coletivos de cientistas na concretização de suas agendas de pesquisa.

Aqui é importante retornar ao início para fazer algumas ponderações. Eu poderia ter começado esta introdução dizendo prontamente minha relação com o tema desta tese, desde o momento em que passei a me preparar para a construção do primeiro projeto de pesquisa, ainda em 2019. Achei necessário, porém, antes disso, introduzir algumas das questões do trabalho para o leitor, como meus objetivos de pesquisa, além de explicar resumidamente o que são os radioisótopos e sua historicização enquanto objeto material. Posto isso, parece ser fundamental agora explicitar como eu, enquanto historiador, cheguei a este tema. Apesar desta pesquisa estar alinhada com os comentários de Angela Creager e Hannah Landecker (2009) acerca da dimensão material da ciência, diferentemente de ambas as autoras, biólogas de formação, minha graduação em história não me preparou exatamente para o trabalho com esses objetos. Dito de outra forma, enquanto Angela Creager, importante referência desta tese devido ao seu trabalho de fôlego traçando a história dos radioisótopos na pesquisa biológica

estadunidense (CREAGER, 2013), teve anos de treinamento com radioisótopos na prática¹, a primeira vez que ouvi falar desses elementos foi pouco tempo antes de iniciar os estudos para a construção deste projeto de pesquisa.

Isso significa que, para além de possíveis equívocos ou méritos de minha parte, ao tratar de um tema bastante árido para historiadores de formação sem possuir experiência prática de laboratório ou algum treinamento específico, a construção desta tese teve de passar por outras referências. Embora eu tenha, paralelamente ao trabalho de pesquisa do doutorado, cursado uma graduação em ciências biológicas durante 1 ano, o desenvolvimento deste projeto, desde a sua concepção inicial até a sua conclusão, deve-se principalmente ao contato com professores com grande experiência de pesquisa, desde a graduação em história. No mestrado, dentro do Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, na Fiocruz, tive uma imersão importante num universo rigoroso de pesquisa com características *sui generis*, como a proximidade da história com as ciências da vida e a presença de historiadores profissionais com um profundo conhecimento de temas de biologia e medicina.

Em 2018, durante uma de suas aulas na disciplina de História e Historiografia da Saúde, o professor Jaime Larry Benchimol comentou sobre a necessidade de o historiador das ciências e da medicina aprender o conteúdo de seus objetos de pesquisa tal como um novo idioma. Desde o início dos meus estudos em história, em 2014, eu já tentava suprir essa necessidade, talvez a partir de interesses e predileções pessoais. No mestrado, entretanto, estudando a história da dengue e da pesquisa com vírus no Brasil, encontrei um terreno bastante propício para expandir esses interesses, conhecendo novas abordagens, autores e discussões a enfrentar. Durante minha dissertação, por exemplo, passei a trabalhar com fontes orais, fazer entrevistas e escrever sobre múltiplos contextos históricos, às vezes bem diferentes entre si, para cumprir os objetivos de historicização de novas formas de conhecer o mundo biológico. A partir disso, então, e com o apoio de meu orientador André Felipe Cândido da Silva, dei início ao projeto que, agora chega a sua conclusão.

No trabalho com as fontes do mestrado, estudando as publicações de alguns virologistas, deparei-me com as pesquisas de José Guilherme Lacorte (1900-1983), um dos primeiros pesquisadores do Instituto Oswaldo Cruz (IOC) a trabalhar com vírus. Escrevendo sobre seus trabalhos, chamou-me atenção a forte presença de experimentos utilizando

¹ “Encontrei radioisótopos nos laboratórios de bioquímica e biologia molecular em que trabalhei durante a faculdade e a pós-graduação. Eles faziam parte rotineira de muitos procedimentos experimentais, desde ensaios enzimáticos e marcação de proteínas até sequenciamento de ácidos nucleicos e transferências de southern.” (CREAGER, 2013, p. ix). Ver mais em: CREAGER, Angela. *Life Atomic: A History of Radioisotopes in Science and medicine*. Chicago/London: The University of Chicago Press, 2013.

radiação, sobretudo para testar sua eficácia em diminuir a patogenicidade de certos vírus. A partir disso, conversei com meu orientador sobre a possibilidade de propor um projeto de pesquisa sobre a trajetória científica de Lacorte, mas ele me fez uma contraproposta, mencionando que, dado o meu interesse pelas pesquisas na chave radiação-vida, poderia ser mais pertinente entender o papel dos radioisótopos, a partir do pós-guerra, nas transformações ocorridas em âmbito global na pesquisa biológica. Nessa mesma conversa André Felipe me recomendou a leitura do livro *Life Atomic*, de Angela Creager (2013), que me acompanhou durante toda a tese. A partir de então, aproveitei a oportunidade e cursei, no segundo semestre de 2019, a disciplina ‘Saúde, Ciência e Guerra Fria na América Latina e Caribe’, ministrada pelo professor Gilberto Hochman, o que foi fundamental para a finalização do projeto de pesquisa com o qual ingressei no doutorado, em 2020.

De forma resumida, foi assim que os radioisótopos entraram em meu caminho. Restava, a partir de então, entender como esses objetos entraram no caminho de outros cientistas, e, com isso, operaram transformações não só de trajetórias científicas, mas também de um amplo quadro preenchido com disciplinas e agendas de pesquisa, agências multilaterais, interesses diplomáticos, debates políticos e problemas socioambientais. Esta tese tenciona, de alguma forma, dar conta da história de como os radioisótopos emergiram como objetos e instrumentos no contexto científico brasileiro, e da continuidade de sua presença e ausência nas ciências da vida, com ênfase na ecologia de ecossistemas.

Tendo até este ponto abordado alguns aspectos mais básicos para esta tese, bem como minha relação com o tema, cabe agora explicar mais algumas opções teóricas e metodológicas escolhidas para a realização deste trabalho. Para tanto, irei passar rapidamente por algumas discussões, fazendo comentários e balanços historiográficos, para, finalmente, mencionar algumas informações acerca da documentação da pesquisa, além de apresentar de forma mais específica cada capítulo.

A tecnologia nuclear marcou o início da Guerra Fria e estava no centro do conflito, não só pelos eventos das bombas atômicas e seus desdobramentos, como a corrida armamentista e as disputas pelo domínio da técnica para fins bélicos, mas também pela batalha pelo acesso a recursos energéticos, na qual a energia atômica constituía parte vital (WESTAD, 2000). No âmbito da ideologia, a Guerra Fria pode ser definida como uma disputa entre dois projetos de modernidade, sendo um deles, o soviético, marcado pela ênfase na justiça social e no papel do proletariado industrial, e o outro, o norte-americano, que enfatizava a individualidade e o papel da participação da classe média. Entretanto, os graus de modernidade eram medidos, sobretudo, em ambos os lados, pela produção de energia

(WESTAD, 2000; JOSEPH, 2008; MËHILLI, 2014). Logo, o surgimento de várias instalações nacionais de energia atômica, nesse período, proporcionou novas oportunidades para o desenvolvimento de diversas ciências.

Em artigo de 2000, o historiador norueguês Odd Arne Westad aponta uma espécie de reconceitualização – ainda em curso – dos estudos sobre Guerra Fria, que estaria deslocando a análise de uma história ‘meramente’ diplomática sobre um evento bélico bilateral, para diferentes abordagens – história política dos Estados Unidos, história da União Soviética, história das revoluções do Terceiro Mundo², história da integração europeia, história das relações de gênero, dentre outros - que levam em conta a complexidade do evento, como conflito global. Esse movimento levou os historiadores a repensar a própria validade do termo Guerra Fria, como evento, período e categoria analítica. É nesse sentido que Westad propõe uma reflexão sobre três paradigmas, ou áreas de investigação possíveis, para se interpretar o tema: a ideologia, a tecnologia e o Terceiro Mundo. Assim, pensando a Guerra Fria em termos de conflito global com desdobramentos complexos, é possível, como outros autores da história das ciências e da biologia já vêm fazendo, propor uma investigação sobre as transformações da biologia nesse contexto. Para tanto, é necessário pensar não só sobre o que teria sido a Guerra Fria na América Latina e, em especial, no Brasil, como também buscar entender os papéis da ciência na Guerra Fria e vice-versa.

A difícil periodização, desarticulada da cronologia geral da Guerra Fria, a validade do conceito no contexto latino-americano, e a redução da análise a certos arquivos - algo que tem sido modificado nos últimos anos - são alguns dos pontos do debate sobre a Guerra Fria na América Latina (HARMER, 2014). Segundo Harmer (2014), na América Latina a Guerra Fria não foi fria. Revoluções e contrarrevoluções marcaram o conflito no continente, que teve características internacionais, multidimensionais e transnacionais. Uma grande marca definidora desse processo foi a intervenção direta dos Estados Unidos em quase toda a região latino-americana. De acordo com Gilbert Joseph (2008), o que deu o “calor” para a Guerra Fria na América Latina foi a politização e a internacionalização da vida cotidiana. Mas, para o mesmo autor, ainda falta uma estrutura para compreender melhor as dinâmicas e os significados das bases da Guerra Fria latino-americana, permitindo integrar a análise interna e

² Para Westad, o conceito de Terceiro Mundo é frequentemente visto como um produto da Guerra Fria. Nessa visão, o primeiro mundo seria constituído pelos principais estados capitalistas, o segundo mundo formado pela União Soviética e o terceiro mundo representado por todo o resto. Mas o autor remete o surgimento do conceito ao economista francês Alfred Sauvy, que em 1952 o utilizou com o objetivo de sublinhar o potencial revolucionário que países da África, Ásia e América Latina teriam em relação ao sistema bipolar da época, estabelecendo um paralelo com o Terceiro Estado da Revolução Francesa (WESTAD, 2000, p. 561).

externa do conflito. Em consonância com Joseph, Harmer (2014) também considera esta uma tarefa ainda distante.

O tema do papel da ciência na Guerra Fria, ou mesmo o recente debate acerca da existência, ou não, de uma ciência *da* Guerra Fria, que teria particularidades atreladas ao conflito, vem sendo feito por autores como John Krige (2006, 2014), Naomi Oreskes (2014), Nils Gilman (2014), Angela Creager (2006a, 2013, 2014) e Elidor Mëhilli (2014). O debate em curso revela a dificuldade em delimitar as fronteiras entre como a ciência se comportou no período e o que de fato foi moldado institucional e epistemologicamente pela Guerra Fria.

Para Oreskes (2014), parece ser possível pensar em um perfil específico de ciência da Guerra Fria, a partir de suas considerações sobre as dramáticas alterações que a bomba atômica produziu na relação entre ciência e Estado e no próprio significado de ser cientista. Os cientistas e a ciência tiveram grande papel nas origens do conflito, não só por terem sido responsáveis por perceberem a possibilidade do uso de armas nucleares, mas também na própria construção dessas armas, nos testes, na detecção e na distribuição da tecnologia (ORESQUES, 2014, p. 11). Entretanto, a autora questiona a possibilidade de operar uma distinção entre a ciência durante a Guerra Fria e a ciência “em decorrência” do “conflito”. O que seria possível interpretar de avanços cognitivos no período?³

John Krige (2014) argumenta ser perigoso pensar na Guerra Fria em termos monolíticos, tanto geográfica e cronologicamente, quanto como um sistema social que “moldou a prática científica”, pois, historicamente, a ciência do período teria origem antes mesmo da Segunda Guerra Mundial (KRIGE, 2014, p. 437). O autor coloca a seguinte questão: teria sido a Guerra Fria um período excepcional de nacionalismo científico e autossuficiência, ou essa ideia foi criada no cerne do conflito? Para Krige, pensar em como as expectativas da Guerra Fria moldaram empreendimentos científicos é pensar na natureza do próprio conflito, bem como na dinâmica da ciência dentro deste. O principal argumento do autor, nesse sentido, é de que os pesquisadores posicionaram-se nesse período contra regimes opressores – capitalistas ou comunistas - e desenvolveram estratégias e disciplinas apropriadas aos seus contextos locais, com o objetivo de criar um espaço no qual condições mínimas sustentassem os valores tradicionais das ‘livres’ investigações científicas e do intercâmbio internacional, mesmo que construíssem desse modo mecanismos que acabavam

³ A discussão em questão remonta a famosa tese de *Forman*. “Em 1971, Paul Forman apresentou a sugestão polêmica de que o desenvolvimento da mecânica quântica – e especificamente a afirmação da acausalidade na mecânica quântica - foi um resultado direto da derrota devastadora da Alemanha na Primeira Guerra Mundial” (ORESQUES, 2014, p. 17).

por fortalecer o poder das elites dominantes (KRIGE, 2014, p. 438).

No âmbito da biologia, Keller (1990), Rasmussen (1997), Chadaverian (2006) e Strasser (2002) abordaram o significado da bomba para o surgimento da biologia molecular, as estratégias desta para angariar legitimação científica e cultural, se aproximando das ciências físicas, e as relações entre financiamento de órgãos de energia atômica na Europa e o desenvolvimento dos primeiros laboratórios de biologia a utilizar o termo ‘biologia molecular’, na década de 1950. Lenoir e Hays (2000) examinaram como a USAEC, nos Estados Unidos, e seus programas de distribuição e aplicação clínica de radioisótopos, baseavam-se no Projeto Manhattan para moldar o surgimento dos medicamentos nucleares, sondando o contexto político em relação ao uso de armas atômicas. Esses trabalhos deixam claro o papel da biologia e da medicina em representar o teor pacífico e benéfico da energia atômica, considerados estratégicos dentro dos planos norte-americanos da Guerra Fria.

Os trabalhos de Angela Creager (2006a, 2006b, 2013, 2014) sobre a radiobiologia na ‘era atômica’ e as pesquisas com radioisótopos na biologia e na medicina são referências incontornáveis para esta pesquisa. A radiobiologia hoje é definida como o ramo da ciência que estuda a ação da radiação ionizante sobre tecidos biológicos e organismos vivos, combinando a biologia com a física de radiações. Possui uma agenda de pesquisas ampla e interdisciplinar, congregando desde estudos *in vitro* sobre microrganismos em campo de radiação, investigações sobre tratamentos radioterápicos e drogas radiomodificadoras até estudos de proteção humana contra efeitos de síndromes causadas por radiação (ANDRADE e BAUERMANN, 2010) A partir da década de 1940, no entanto, o termo radiobiologia sinalizava, mais do que abordagens científicas, as várias ferramentas experimentais e o financiamento associado à radiação e aos reatores nucleares. Os principais campos de pesquisa biológica e médica do pós-guerra, como a bioquímica, a genética, a biologia molecular, a ecologia, a endocrinologia e a fisiologia se beneficiaram, de acordo com Creager (2013), diretamente dos programas de energia atômica.

Com relação ao papel de programas e agências no fomento à ciência e às aplicações dos radioisótopos, existe uma historiografia focada no programa Átomos para a Paz e na sua relação com demandas regionais. Mais do que ferramentas de pesquisa e de terapia biomédica que emergiram no pós-guerra, os radioisótopos que foram resultados da infraestrutura do projeto da bomba atômica e incorporados ao programa de distribuição da USAEC, nos Estados Unidos, também eram importantes para as relações externas. De acordo com Creager (2006b), os radioisótopos significaram o compromisso do governo norte-americano de “aproveitar os átomos para a paz” (CREAGER, 2006b, p. 651). Mas esse aproveitamento se

deu através de estratégias muito bem articuladas como a do programa Átomos para a Paz, que segundo John Krige (2006), foi uma tentativa de manter a superioridade nuclear dos EUA, garantindo que outros países, incluindo a União Soviética, “dedicassem seus recursos nucleares limitados a programas civis sob vigilância internacional (KRIGE, 2006, p. 165).

Mais do que um programa pacifista, foi uma peça essencial na estratégia de defesa da política externa norte-americana. O programa Átomos para a Paz teve como foco principal a América Latina, com ênfase para o Brasil, o México e a Argentina. Mas o programa não atuou isoladamente. Conforme foi sendo estabelecido, começou a contar com o apoio de agências multilaterais e regionais recém-criadas, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) das Nações Unidas, criada em 1957, e a Comissão Interamericana de Energia Nuclear (IANEC) da Organização dos Estados Americanos (OEA). No Brasil e na Argentina, antes da existência do programa Átomos para a Paz, comunidades de físicos nucleares já estavam consolidadas, e investimentos em programas nucleares já haviam sido feitos (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016, p.4). De acordo com Mateos e Suárez-Díaz (2016), o Átomos para a Paz, nesse sentido, atuou no redirecionamento dos programas nucleares já em andamento, os quais tinham como objetivos a produção de energia elétrica e os usos militares, e reforçou a pesquisa acadêmica nas ‘ciências nucleares’.

Ainda sobre o papel de especialistas nas dinâmicas da Guerra Fria na América Latina, Andra B. Chastain e Timothy W. Lorek (2018) afirmam:

Por trás dos conflitos travados por diplomatas e militares, afirmamos que a Guerra Fria Latino-Americana foi conduzida por especialistas. Cientistas e engenheiros, médicos e assistentes sociais, agrônomos e arquitetos — bem como as redes de conhecimentos que teciam — materializaram as ideologias políticas da época. Na verdade, os sonhos interligados de desenvolvimento e modernização que animaram a Guerra Fria na América Latina dependiam de um exército de especialistas altamente especializados cujo impacto repercute em todo o hemisfério e em todo o mundo (CHASTAIN e LOREK, 2018, p. 1).

Como pretendo evidenciar nesta tese, agrônomos, médicos, biólogos e ecólogos em geral foram os especialistas que, a partir de sua trajetória e atuação, concretizaram práticas diretamente ligadas à moldura da Guerra Fria. Dentre essas especialidades, a ecologia é a que possui, nos seus desdobramentos, em especial a partir da década de 1950, contornos históricos nos quais as fronteiras entre política e ciência se borram de forma mais explícita. Com relação à historiografia da ecologia, os trabalhos de Jean-Marc Drouin (1993), Anna Bramwell (1989), Pascal Acot (1990) e Jean-Paul Deléage (1991) são algumas das principais referências para refletir sobre o processo histórico de sua constituição como disciplina, entre o

pensamento ecológico mais alargado e o estabelecimento sociológico, institucional e epistemológico da ecologia como ciência no século XX.

Para refletir de modo mais específico sobre a emergência da ecologia de ecossistemas a partir da radioecologia e dos debates sobre a energia atômica, duas outras referências principais para esta pesquisa precisam ser mencionadas. Trata-se do artigo de Stephen Bocking (1995) e da tese de Brian Sewell Lindseth (2013). Em *Ecosystems, Ecologists, and the Atom: Environmental Research at Oak Ridge National Laboratory*, Bocking analisa a relação entre ecologia e proteção ambiental a partir da atuação dos ecólogos em Oak Ridge, laboratório ligado à AEC também analisado posteriormente por Creager (2013). No final dos anos 1960, Oak Ridge possuía um dos maiores programas de pesquisa em ecossistemas dos Estados Unidos. Através do estudo da conformação da radioecologia na USAEC, Bocking busca responder a uma questão cara a esta pesquisa, mas que também reflete alguns dos principais pontos discutidos pelos historiadores da ecologia: a ecologia enquanto disciplina científica deve fornecer base científica para a proteção do ambiente? A relação da ciência da ecologia com a preocupação com o meio ambiente passou pelo esforço de ecólogos em defender a relevância prática de suas pesquisas para justificar um aumento de financiamento e pelas origens das ferramentas de pesquisa ecológica relacionadas a novos problemas ambientais (BOCKING, 1995). Como argumenta Bocking:

Uma vez que os ecólogos se estabeleceram com segurança em Oak Ridge, eles tiveram liberdade considerável para estabelecer seus próprios objetivos de pesquisa específicos. A USAEC, como outras agências federais, deu a seus pesquisadores financiamento generoso e autonomia. Isso refletia uma visão amplamente aceita por pesquisadores e formuladores de políticas nas duas décadas após a Segunda Guerra Mundial: que os cientistas, se adequadamente financiados e dotados de autonomia, em troca forneceriam ideias e produtos benéficos para a nação. [...] Em Oak Ridge, o próprio ideal da AEC de uma nova tecnologia e organização para a sociedade, alimentado pela energia nuclear, moldou as opções de pesquisa disponíveis para ecólogos (BOCKING, 1995, p. 2-3).

De modo bem semelhante ao trabalho de Bocking mas apresentando outros detalhes e fontes, Lindseth (2013) busca analisar o tema do lugar da ciência (ecologia) na sociedade dividindo-o em duas partes: primeiramente, focando na utilidade da ecologia para o esforço da USAEC em gerenciar o problema da precipitação radioativa do ponto de vista epistêmico e político; e, num segundo momento, analisando a relação entre ecologia e ambientalismo como movimento social. “Com o movimento ambientalista surgiu um grande público interessado no que os ecólogos têm a dizer sobre questões de política e ética. Enquanto muitos ecólogos mantinham esse interesse à distância, outros viam nele a possibilidade de um novo lugar para

a ciência na sociedade” (LINDSETH, 2013, p. xvi). Lindseth (2013) argumenta, a partir da análise da atuação de diferentes ecólogos com posições distintas, que esses cientistas desafiaram as normas de ‘neutralidade’ associadas ao trabalho acadêmico em disciplinas especializadas desde o século XIX, enfrentando, com isso, desafios à sua autonomia profissional e epistemológica.

Esses trabalhos, ainda que circunscritos exclusivamente ao cenário norte-americano, fornecem vários elementos para pensar na constituição da ecologia de ecossistemas e radioecologia no Brasil. Como esses radioecólogos se articularam em relação ao programa nuclear brasileiro, aos projetos de construção das usinas nucleares e aos diferentes debates na esfera pública sobre radiação, poluição, escassez de água, e meio ambiente de um modo geral? Como, ao mesmo tempo, conformaram epistemologicamente e institucionalmente conceitos, técnicas, metodologias e agendas de pesquisa para sua disciplina? Essas questões não possuem respaldo numa literatura brasileira, devido à escassez de trabalhos que propuseram análises sobre o histórico da ecologia como disciplina acadêmica no Brasil (FERNANDES, 2016) ou que dialogaram de alguma forma com a história da ecologia como ciência (LIGNANI, 2018; SILVA e SÁ, 2019).

Um outro aspecto importante a ser abordado aqui é o da circulação do conhecimento e, em especial, dos instrumentos científicos. Analisando o uso do ‘maçarico’ (*blowpipe*) nas práticas mineralógicas, geológicas e químicas na Suécia do século XVIII e, a partir de 1810, na Grã-Bretanha, Brian Dolan (2003) aborda como um instrumento simples e portátil que tinha a potencialidade de contribuir para o isolamento de espécies químicas e, conseqüentemente, de uma série de reformulações na teoria da química, foi sendo implementado nas práticas científicas a partir do entusiasmo e do interesse de determinados cientistas viajantes que conheciam o uso correto do instrumento. Dolan questiona os motivos pelos quais o uso do maçarico ficou inicialmente restrito à Suécia e, a partir de 1810, repentinamente se disseminou pela Grã-Bretanha. De acordo com o autor, além do papel de determinados cientistas nessa circulação, os primeiros anos do século XIX foram marcados por uma série de mudanças na química, e as atenções estavam voltadas para possíveis revoluções químicas que poderiam ocorrer por meio do desenvolvimento na instrumentação e experimentação (DOLAN, 2003). O maçarico, assim, passou a atrair atenção nesse momento. O estudo de Dolan exemplifica como a circulação de instrumentos e práticas científicas passa por etapas complicadas que envolvem inúmeras variáveis, e que, portanto, não são nada homogêneas. “O que tradicionalmente chamamos de “ciência” não viaja; as pessoas que praticam a ciência o fazem. Tudo o que está envolvido nas práticas experimentais nem sempre

pode ser encadernado entre capas rígidas e encaminhado para diferentes áreas do mundo” (DOLAN, 2003, p. 135).

Ainda que o maçarico seja um instrumento científico, e os radioisótopos objetos tecnológicos inseridos numa dimensão material distinta, as conclusões tiradas por Dolan no estudo do uso e da circulação do maçarico podem também se estender a este caso. Esses objetos, como vimos, já eram de interesse de diversos grupos desde as décadas de 1920 e 1930, incluindo os biólogos, mas apenas após o fim da Segunda Guerra Mundial, em 1945, e do desmantelamento do Projeto Manhattan e criação da USAEC, é que os radioisótopos passaram a circular pelo mundo com mais intensidade (CREAGER, 2013). Mas essa circulação se deu através de acordos bilaterais ou multilaterais, envolvendo o lugar ocupado pelos diferentes países na questão nuclear. No caso do Brasil, que já possuía acordos bilaterais com os Estados Unidos para fornecimento de minérios radioativos (urânio e tório) desde o início da década de 1940, programas como o Átomos para a Paz, do presidente norte-americano Dwight Eisenhower, assim como o interesse pessoal da principal figura do CNPq, Almirante Álvaro Alberto e a criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) contribuíram, a partir da década de 1950, para o trânsito atômico. Isso se refletiu na criação de instituições como o Instituto de Energia Atômica (IEA, hoje IPEN-USP), em São Paulo, e no apoio a instituições que já possuíam interesse na utilização dos isótopos radioativos, como o Instituto de Biofísica liderado por Carlos Chagas Filho, no Rio de Janeiro.

Entre as décadas de 1950 e 1960, muitos manuais foram publicados e cursos ministrados sobre as aplicações dos radioisótopos em biologia e medicina. Junto da criação de institutos de pesquisa nuclear que passaram a fazer parte dos planos do programa nuclear brasileiro, os radioisótopos foram encarados como oportunidades por uma série de disciplinas científicas e agendas de pesquisas, que iam da geologia nuclear à agronomia, tendo uma grande presença na indústria e uma legitimação por parte dos usos clínicos na medicina nuclear. De 1970 a 2000, é possível evidenciar o processo de consolidação de disciplinas como a radioecologia ou ecologia aplicada, a radiobiologia e fotobiologia, e a genética de microrganismos, representando dois polos distintos da pesquisa biológica - um micro, o da biologia molecular, e um macro, o da ecologia de ecossistemas - que foram impactados profundamente pelos radioisótopos, reorientando as prioridades na biologia e o lugar ocupado pelos biólogos nas últimas décadas do século XX.

Aprofundando mais a discussão acerca da circulação de conhecimento, práticas, objetos e pessoas, é importante destacar aqui uma opção metodológica bastante significativa desta tese. Refiro-me ao trabalho com trajetórias individuais e científicas para, a partir delas,

enxergar a formação de redes mais amplas de conhecimentos e agenciamentos. Esse aspecto permeia toda a minha análise e se reflete inclusive na estruturação da pesquisa. Nesse ponto, relacionam-se micro-história e história global, duas abordagens historiográficas que nem sempre dialogam, mas que vêm sendo atritadas por nomes como Trivellato (2011) e o próprio Giovanni Levi (2018), um dos autores pioneiros na constituição da abordagem microhistórica italiana. Trivellato, por exemplo, criticou o potencial subexplorado da abordagem microhistórica para a história global. “Desde a década de 1980, o encontro entre a micro-história italiana e a história global limitou-se principalmente à forma narrativa” (TRIVELLATO, 2011, p. 1), com historiadores, geralmente de países anglófonos, utilizando escalas microscópicas e biográficas, porém, menos como análise científica e mais como escolha para narrar seus estudos. De acordo com Trivellato, essas incursões ficaram aquém das ambições metodológicas originais dos microhistoriadores italianos. Em um texto de Levi sobre micro-história e história global, o historiador defende a ideia de micro-história como uma ciência das questões gerais mas de respostas locais. Nesse sentido, não existe, de fato, um contraste entre global e local, ou coletivo e individual, pois:

A micro-história, embora utilize um lugar ou uma vicissitude individual ou um acontecimento particular, utiliza-os como aquilo que, reduzindo a escala de observação e concentrando a atenção através de um microscópio, identifica aspectos importantes invisíveis ao olhar e à leitura em grande escala (LEVI, 2018, p. 23).

Assim, apesar da história global ter surgido a partir de origens e exigências bastante distintas das da micro-história, como a crise dos Estados-nação, a crítica ao eurocentrismo, as ondas migratórias e a “busca arqueológica de relações e intercâmbios que fizeram parte de uma conexão progressiva e árdua que prefigurou o atual mundo globalizado” (LEVI, 2018, p. 24), existem inúmeros pontos de convergência entre ambas as abordagens. Entre eles, destaca-se a permeabilidade e a fragilidade dos limites, sejam eles geográficos, culturais, políticos, ambientais, individuais, coletivos e científicos⁴. “Evidenciar um mundo sempre conectado e cada vez mais rico em relações é uma proposta importante para a historiografia atual. A história não é feita de unidades isoladas que se transformam autonomamente” (LEVI, 2018, p. 24). Nesta tese, essa última máxima de Levi foi largamente explorada, seja ao tecer

⁴ Partindo da premissa de que a micro-história é uma prática historiográfica experimental, no sentido de que não possui textos programáticos em sua fundação e agrega historiadores de diferentes campos (FARIA, 2019), explorar na prática a abordagem micro-histórica numa tese de história das ciências é um caminho que considero pertinente, dada a aparente escassez de trabalhos propondo de modo claro essa relação. Sobre micro-história e história das ciências, ver a discussão proposta em: FARIA, Rodrigo Cristino de. Filosofia, história, astronomia: um estudo sobre Ptolomeu. Tese (Doutorado em Filosofia) – Departamento de Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP), São Paulo, 2019.

grandes redes de construção do conhecimento científico a partir de trajetórias individuais, seja na permeabilidade entre cientistas, objetos e outros organismos conectados em sistemas experimentais.

Quando falo em sistemas experimentais, refiro-me ao conceito de Hans-Jörg Rheinberger (1992a), que me acompanha ao longo desta tese. É a partir desse conceito que reflito sobre como os radioisótopos impactaram diferentes áreas do conhecimento da vida. Em um de seus textos onde formata esse conceito, Rheinberger recorre a um pensamento do biólogo francês François Jacob (1920-2013), que em sua autobiografia *The Statue Within* (1995 [1987]) comenta que qualquer estudo biológico se inicia a partir da escolha de um sistema, um pedaço do universo que é isolado de forma arbitrária pelo biólogo. Essa escolha levará a um conjunto de perguntas e respostas possíveis, ou seja, seu trabalho estará circunscrito ao sistema elencado, numa espécie de ‘restrição experimental’. Para Rheinberger (1992a), que entende a ciência a partir de sua dimensão prática, um sistema experimental é a unidade básica que constitui um raciocínio, um objeto científico dentro de um quadro de condições técnicas. Os sistemas experimentais, dizendo de outra forma, são constituídos através da interação entre condições de identidade tecnológica e a formação de um objeto científico. Um dos exemplos que o autor dá para clarificar sua teoria é sobre um objeto bastante próximo desta tese, o uso da radioatividade na pesquisa biológica.

Rheinberger (1992a) menciona que desde o final da década de 1940 a aplicação de aminoácidos radioativos como marcadores em estudos metabólicos de proteínas havia se tornado uma prática comum, com vários laboratórios tentando determinar sistemas de sintetização de diferentes proteínas em tecidos animais. Entretanto, o que apenas mais tarde se tornaria uma potente ferramenta analítica, inicialmente fazia parte do próprio programa de pesquisa, com inúmeras incertezas e falta de clareza nos experimentos. Não se sabia, por exemplo, quais aminoácidos deveriam ser utilizados nos experimentos e nem o que deveria se fazer para evitar o rastreamento de processos que não estivessem ligados ao objeto de estudo. Assim, os processos de absorção e adsorção da radioatividade se tornavam bastante inespecíficos, gerando inúmeras incertezas em relação ao método utilizado para se compreender a síntese das proteínas e os resultados que estavam sendo observados. Esse exemplo pode deixar mais clara a seguinte afirmação de Rheinberger:

Um sistema experimental com seu objeto científico sob investigação é uma estrutura inerentemente aberta e inacabada. Um objeto científico, e *a fortiori* sua transformação final em um objeto tecnológico, pode nem mesmo ser imaginado quando um arranjo experimental está em vias de ser estabelecido (RHEINBERGER, 1992a, p. 322).

Rheinberger traz a imagem de um sistema experimental como um labirinto, “cujas paredes, no curso de serem erguidas, em um mesmo movimento cegam e guiam o experimentador” (RHEINBERGER, 1992a, p. 322). Essa imagem mental é bastante pertinente para apresentar meu objetivo nesta tese. Entendendo os radioisótopos como objetos tecnológicos que passaram a integrar diferentes sistemas experimentais, como atores num quadro de condições tecnológicas, explorar o seu uso na pesquisa agrícola, medicina nuclear, radiobiologia ou ecologia, significa buscar compreender a diversidade de formas que esses átomos instáveis adquiriram. Ou seja, a partir da analogia de Rheinberger, explorarei como e quais paredes de labirintos os radioisótopos ajudaram a erguer, guiando ‘cegamente’ os cientistas que os utilizaram como ferramenta tecnológica em seus caminhos de experimentação. O principal ponto de todo esse arranjo teórico é entender que os radioisótopos fizeram parte de transformações ocorridas na pesquisa biológica de forma importante, mas que esses experimentadores não poderiam saber a quais destinos epistemológicos os sistemas experimentais formados por esses objetos chegariam. Essa incerteza, longe de ser marca exclusiva da história dos radioisótopos nas ciências biológicas, faz parte, como argumenta Rheinberger, de qualquer sistema experimental, que por sua vez constitui a unidade mais primária do que entendemos como ciência.

Minha abordagem nesta tese busca levar em consideração todos os possíveis agentes da construção do conhecimento científico, sejam eles cientistas (pessoas) e instituições, animais não-humanos e objetos inanimados, como os radioisótopos. Assim, quando recorro ao conceito de sistemas experimentais, o faço com o objetivo de pensar na ciência como o resultado de uma série de interações. “O saber sobre algo não pode ser uma atribuição estrita dos seres humanos, como se fosse uma atividade mental; o algo deve participar, o saber decorre do confronto de indivíduos com as coisas” (MAIA, 2017, p. 450). Entretanto, neste trabalho, a utilização da ideia de agências para além das humanas não tem a intenção de equivaler organismos vivos, que aparecerão neste trabalho como objetos científicos ou modelos experimentais, à matéria inanimada, como os radioisótopos. Esses agentes, assim como os humanos, se diferenciam, obviamente, em inúmeros aspectos, mas possuem suas agências caracterizadas pelo que Maia chama de agenciamento recíproco. A agência, nesse sentido, é um fenômeno causal e, sobretudo, relacional, definido por suas consequências, “pelos efeitos de sentido produzidos” (MAIA, 2017, p. 453).

A materialidade do mundo, objeto percebido historicamente, é responsável por apresentar limites e possibilidades ao agir humano. É assim que Maia constrói sua ideia de agência material recíproca.

Uma forma de vida sempre está inserida em algum ambiente e sofre as coerções e sugestões desse ambiente. Um grupo social passa de nômade a sedentário impulsionado por certas condições materiais. A pecuária e a agricultura são recomendações de possibilidades ofertadas pela natureza (MAIA, 2017, p. 453).

A ideia de agência material recíproca, assim, refere-se ao fato de que coisas e pessoas interagem de modo que acabam por atuarem umas sobre as outras. Essa atuação, ou agenciamento, se dá tanto física quanto simbolicamente. Os agenciamentos materiais, assim, são causais e relacionais, se configuram de forma recíproca. Uma agência material, desse modo, ocorre quando um objeto afeta uma pessoa. Assim, essa discussão filosoficamente densa se clarifica quando pensamos, por exemplo, na ideia de prática científica. A prática, de acordo com Maia (2017), nunca é um ato isolado e individual, “mas sempre atua em algo e situa-se em um contexto de ação” (MAIA, 2017, p. 456)⁵. O fazer científico se dá numa dimensão prática, e, ao mesmo tempo, resulta em um registro simbólico. É nesse sentido que seu arranjo teórico se aproxima de Rheinberger e dos sistemas experimentais. Tanto Rheinberger (1992a) quanto Maia (2017) utilizam as ideias de Jacques Derrida (1999) para pensar a relação entre físico e simbólico, prática e linguagem:

Vamos em busca da cena originária hipotética que envolve o encontro das coisas com as palavras, vamos para esse tempo anterior ao da palavra. Focalizemos a cena corriqueira na qual esse encontro misterioso ocorre. Esse evento se materializa em inúmeras situações em nossas práticas diárias, seja pelo impacto inesperado – antes de sua nomeação – de uma gota de chuva no rosto ou por um ruído súbito não identificável, ou por um aroma incógnito, ou pelo surgimento de uma sombra imprevista... Algo, ainda desconhecido e enigmático, aconteceu, mas aconteceu o quê? Ainda não se sabe; só se percebe que ocorreu um algo diferente. Esse algo é um simples “traço” perceptível (Derrida, 1999). Aquelas percepções são traços que afetam o sujeito. Eis aí e assim o momento em que o mundo real surpreende e invade a cena de vida de cada sujeito, eis como o real – não simbolizado, não verbalizado – mostra-se à realidade humana, histórica (MAIA, 2017, p. 458).

A diferença exposta por um “traço”, como diz Derrida (1999), se torna significativa quando é percebida e nomeada, vira um objeto perceptível, palpável. Para Rheinberger (1992a), um sistema experimental é marcado por uma reprodução “diferencial”, ou seja, seu desenvolvimento depende da obtenção de diferenças, através das percepções dos traços, sem que com isso se destrua a sua coerência reprodutiva. Um sistema experimental cria um espaço

⁵ Essa ideia se relaciona também com o pensamento da filósofa Vinciane Despret (2013). Em seu trabalho, a autora explora a ideia de que não há agência que não seja uma interagência, ou seja, sem uma relação de forças, sem dependências. Isso corresponde ao raciocínio apresentado por Maia (2017), de um agir sempre plural, conscientemente ou não.

de representações para coisas que, de outra forma, não seriam compreendidas como objetos científicos.

A representação bioquímica, em particular, cria um espaço extracelular para processos normalmente executados dentro das células. Normalmente, diz-se que tal representação apresenta um modelo do que está acontecendo "lá fora na natureza". Assim, "sistemas in vitro" seriam modelos para "situações in vivo". Mas o que se passa 'dentro da célula'? Você só sabe disso quando tem um modelo. Isso significa que 'a própria natureza' só se torna 'real', em uma perspectiva científica e técnica, como um modelo (RHEINBERGER, 1992b, p. 392).

Embora a ideia de Rheinberger pareça indicar, de forma simplista, que a realidade, nesse sentido, é algo construído pelos humanos, o autor recorre à ideia de traço de Derrida exatamente para pensar em como a prática se transforma em linguagem e, assim, em prática novamente. A relevância de traços produzidos num determinado experimento irá depender de sua transformação tecnológica “em entidades reproduzíveis e da sua capacidade de ser reinserido no arranjo experimental para produzir mais vestígios” (RHEINBERGER, 1992b, p. 393-4). Os radioisótopos, nesse sentido, não só foram sistemas experimentais, como também entidades reproduzíveis, se transmutando historicamente em diferentes arranjos de pesquisa. Seu histórico, seu impacto nas transformações de agendas de pesquisa, em trajetórias científicas e na construção de novos conhecimentos sobre a realidade biológica, é o objeto desta tese. Assim, este trabalho dará alguns exemplos de como esses átomos instáveis reconfiguraram sistemas experimentais na pesquisa biológica brasileira.

“Como uma regra, um sistema experimental começa como um dispositivo de pesquisa, se transforma em um dispositivo tecnológico, e finalmente é substituído” (RHEINBERGER, 1992a, p. 323). Esse é, em resumo, o movimento que os radioisótopos percorreram historicamente, o que justifica o uso do conceito de sistemas experimentais para pensar a sua trajetória. Com essa escolha teórica, é preciso entender a realidade histórica observada através da ideia de um agenciamento recíproco, como Maia propõe. “Falar de agência para as coisas é considerar que os elementos materiais são indispensáveis para a consecução integral do processo de conhecimento. Assim, ficam reunidas sociedade e natureza” (MAIA, 2017, p. 461). Farei, nesta análise, uma história das ciências com sujeitos, mas também com objetos. Ambos constituem uma ‘unidade interativa’ (MAIA, 2017), sem a qual não seria possível, na minha visão, compreender a complexidade presente nessa história.

Essa discussão se relaciona aos debates decorrentes da emergência do termo Antropoceno. Embora tenha nascido nas geociências, o termo tem permeado as ciências humanas e reorientado alguns de seus referenciais, levantando debates sobre a relação entre

humanos e o ‘mundo natural’ (SILVA e LOPES, 2021). Inclusive, devido a isso, muitas outras ‘contrapropostas terminológicas’ reativas circulam atualmente, como uma espécie de derivação do termo original, mas, ao mesmo tempo, negando a sua significância. Dentre os termos, para citar apenas alguns exemplos, tem-se Capitaloceno, Plantationceno e Chthuluceno (HARAWAY, 2016), cada um com suas particularidades. Apesar disso, esta tese foca apenas no termo Antropoceno, pois busca tratá-lo a partir da história das ciências, entendendo as possibilidades teóricas abertas com ele, mas situando-o enquanto conceito ou agenda científica.

Resumidamente, Antropoceno refere-se à existência de uma nova época geológica, na qual a ação humana adquiriu uma escala que interfere nos processos planetários. Dito de outra forma, os seres humanos, enquanto espécie, acabaram por causar, sobretudo a partir de um período histórico específico, mudanças de ordem permanente na Terra. De acordo com José Augusto Pádua (2017), até o acirramento do processo de industrialização e de mercantilização do trabalho e da natureza a partir do século XVIII, a presença das sociedades humanas no planeta era quase como uma abstração. Apesar das interações entre humanos, espaços, paisagens e outros seres, até séculos recentes, a exploração da natureza parecia ainda não ter causado nenhum impacto estrutural no planeta. A mudança nessas relações, assim, é um dos aspectos que caracteriza o Antropoceno, quando a ação humana passa a ser percebida numa escala planetária. O termo Antropoceno se popularizou a partir do ano 2000, quando Paul Crutzen e Eugene Stoermer publicaram na revista *Global Change Newsletter* um pequeno texto intitulado *The ‘Anthropocene’*. Rapidamente, a expressão passou a circular em agendas e projetos de pesquisa de envergadura global com foco no estudo das mudanças climáticas. Grande parte da “aceitação” da proposta de Crutzen e Stoermer deu-se pela projeção que Crutzen possuía nos meios científicos e políticos, como prêmio Nobel de química de 1995 pelo seu trabalho sobre a camada de ozônio, como veremos melhor no capítulo 4 desta tese, quando abordarei a trajetória científica do ecólogo Luiz Drude de Lacerda. Nesta tese, farei uma discussão, nesse sentido, acerca de como o Antropoceno foi incorporado na prática de cientistas brasileiros que tiveram como marca de suas histórias também os radioisótopos.

Em um artigo de 2016 intitulado *The Anthropocene as rupture*, o filósofo Clive Hamilton defendeu a ideia de que o conceito de Antropoceno está diretamente ligado às Ciências do Sistema Terra e que essas, por sua vez, representam uma mudança de paradigma científico, no sentido kuhniano (KUHN, 2013), nas ciências da terra e da vida. Hamilton aponta várias mudanças ocorridas entre a ecologia de ecossistemas, o pensamento ecológico dos anos 1960 e o novo paradigma da ciência do Sistema Terra, como a dinâmica de sistemas,

a hipótese Gaia, a modelagem biofísica da biosfera da Terra nos anos 1980, os resultados da perfuração de gelo da Antártica e as formações do Programa Internacional da Geosfera-Biosfera (IGBP) e do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Com isso, o filósofo tenta demonstrar, em seu artigo, sob qual “cenário científico” e a partir de qual “estilo de pensamento” (FLECK, 2010) o conceito de Antropoceno foi elaborado, e como ignorar isso leva cientistas de outras áreas a interpretações equivocadas do conceito.

Compreender a ideia do Sistema Terra enfatizando a coevolução da geosfera e da biosfera, e agora a tecno-antroposfera - requer uma espécie de mudança de gestalt [percepção da forma] [...] Sem ela, a Terra é entendida como o agregado de ecossistemas mais ou menos modificados pelo homem. [...] E assim, logo após o conceito ter sido proposto no ano 2000, vários cientistas e cientistas sociais começaram a apresentar interpretações do Antropoceno que, em sua maioria involuntariamente, esvaziam o significado da nova época e a ameaça que ela representa para a humanidade e para a Terra (HAMILTON, 2016, p.3).

Esse debate é bastante espinhoso, e, nesse sentido, me limitarei aqui a deixar claro que este trabalho busca contribuir para a discussão sobre Antropoceno, e não sobre qualquer apropriação feita sobre o conceito em questão. Assim, além da dimensão científica do debate, e da sua historicização, uma outra relação desta tese com o tema se dá através da chamada Grande Aceleração (MCNEIL e ENGELKE, 2014), na qual os radioisótopos e a energia nuclear estão envolvidos como demarcadores. O termo em questão, por sua vez, ficou conhecido a partir de gráficos gerados dentro dos projetos do IGBP, que tentavam dar conta de uma melhor compreensão da estrutura e do funcionamento do Sistema Terra como um todo, tendo a crescente pressão humana sobre as dinâmicas do Sistema Terra como um componente chave para a síntese do programa. Esses trabalhos em específico, realizados entre 1999 e 2003, foram influenciados pela proposta de Antropoceno de Crutzen, que era vice-presidente do IGBP (STEFFEN et al, 2015, p. 82). Nesta tese também tratarei dos projetos do IGBP.

Entretanto, o que gostaria de chamar atenção aqui é para a relação da emergência da energia nuclear, em 1945, com o marco da Grande Aceleração, a partir da década de 1950, juntamente de processos de “industrialização, crescimento populacional e econômico, uso de recursos como óleo, água e energia primária; consumo de fertilizantes químicos e pesticidas” (SILVA e LOPES, 2021, p. 349), dentre vários outros elementos. Tudo isso acabou por impactar profundamente os ciclos biogeoquímicos do Sistema Terra, causando também eventos catastróficos e efeitos como o aumento de gases-estufa, a acidificação dos oceanos e a degradação de ecossistemas em geral. Em seu trabalho sobre a Grande Aceleração, McNeil e

Engelke (2014) dão importante ênfase à questão energética:

Embora não se possa esperar desvendar todas as forças e processos que moldaram o Antropoceno, de quase todos os pontos de vista, a energia parece estar no centro da nova época. As quantidades de energia em uso depois de 1945 tornaram-se tão vastas que ofuscaram tudo o que existia antes. As qualidades específicas dos combustíveis fósseis, da energia nuclear e da hidroeletricidade gravaram-se na biosfera através da poluição, da radiação, dos reservatórios e assim por diante (MCNEIL e ENGELKE, 2014, p. 40).

Nesse sentido, como uma tese que se propõe a investigar os percursos dos radioisótopos, bem como a influência da energia nuclear na institucionalização das ciências da vida no Brasil, se faz relevante entender o recorte temporal desta pesquisa como um período marcado pela formação do Antropoceno, seja enquanto processo observável na materialidade das dinâmicas planetárias, seja como agenda científica operada na prática. A intenção é entender o Antropoceno como um efeito da presença e da larga reprodução da espécie humana no planeta, e, além disso, como qualquer outro conceito científico, sabendo, evidentemente, que isso não reflete neutralidade ou passividade, mas congrega elementos mais complexos. Assim, nesta tese, o conceito de Antropoceno serve também como um demarcador, tanto por se relacionar ao contexto do pós-Segunda Guerra Mundial, de emergência da energia nuclear, quanto por, posteriormente, ter se tornado uma agenda de pesquisa para cientistas treinados a partir dos radioisótopos.

No início de março de 2024, alguns dos maiores jornais do mundo noticiaram o resultado da votação da Comissão Internacional de Estratigrafia, que, após 15 anos de discussão, decidiu rejeitar o Antropoceno como época oficial na cronologia da Terra⁶. A decisão da comissão de geólogos, suas reações e desdobramentos são elementos que se somarão a uma história do Antropoceno como conceito científico, revelando desde já a necessidade de se enxergar esses processos do ponto de vista da História das Ciências, como esta tese busca fazer.

Em relação à documentação utilizada nesta pesquisa, elencarei agora alguns aspectos ligados ao seu mapeamento, à pesquisa arquivística e, por fim, à metodologia. As fontes desta tese possuem diferentes tipologias e suportes. Apesar disso, a maioria é de natureza textual e foi mapeada e organizada desde 2019. De modo geral, podemos dividi-las entre publicações científicas, relatórios institucionais, manuais, trabalhos acadêmicos, livros e anais de eventos.

⁶ Ver mais em: WITZE, Alexandra. Geologists reject the Anthropocene as Earth's new epoch – after 15 years of debate. *Nature*, 06 de março de 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-024-00675-8>. Acesso em: 11 de março de 2024.

Além disso, fontes jornalísticas, fontes memorialísticas, fontes orais e, em menor medida, filmes, letras de músicas e correspondências também compõem a base documental desta tese. O mapeamento da documentação envolveu inicialmente o acesso a repositórios digitais e bancos de dados, a busca por livros, informes e memórias que pudessem ser adquiridos em livrarias e antiquários, e a construção de um cronograma de visitas a arquivos e bibliotecas. Em paralelo, um outro cronograma para a realização de entrevistas de história oral foi feito, e o seu projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio (EPSJV/Fiocruz-RJ)⁷.

Os arquivos digitais consultados foram os repositórios digitais do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-SP), a Biblioteca Digital Memória da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o Repositório Digital do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP), a base de dados Zenith do Arquivo Histórico do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), o *International Nuclear Information System* da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), além da Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional e de bases próprias de periódicos como a do *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* e da Revista *Ciência Hoje*. Arquivos e livros institucionais ligados à *Atomic Energy Commission* (USAEC) dos Estados Unidos também foram encontrados para download, e os relatórios da comissão norte-americana podem ser acessados online pelo site do programa *The Technical Report Archive & Image Library* (TRAIL).

Os arquivos físicos e bibliotecas visitados foram a Biblioteca de História das Ciências e da Saúde e o Departamento de Arquivo e Documentação (DAD) da Casa de Oswaldo Cruz, Fiocruz, no Rio de Janeiro, trabalhando especialmente com os fundos arquivísticos do Instituto de Biofísica e de Carlos Chagas Filho; a Biblioteca do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba-SP, acessando sobretudo os relatórios de atividades da instituição de 1962 a 1983; a Biblioteca Central da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-USP), também em Piracicaba-SP, onde encontrei algumas teses acadêmicas datando da década de 1950; o acervo do Museu Histórico da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), no qual digitalizei tudo o que foi possível encontrar referente ao Centro de Medicina Nuclear (CMN); por fim, com o apoio de funcionários do Espaço Memorial Carlos Chagas Filho e de alguns cientistas entrevistados do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF-UFRJ), tive acesso a documentos que foram

⁷ O registro do projeto aprovado pelo CEP é CAAE: 47237621.3.0000.5241. No total, foram entrevistados nove cientistas previamente mapeados e que tiveram relação direta com a história dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, formando parte da geração de pesquisadores pós-década de 1970.

fundamentais para finalização deste trabalho. Nas dependências do IBCCF, situado no Centro de Ciências da Saúde (CCS), na Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro, apesar da inexistência de um arquivo organizado, foi possível acessar caixas contendo teses acadêmicas, memoriais de cientistas, artigos, correspondências, fax, recortes de jornais etc.

Além de toda a documentação e arquivos mencionados, a tese se valeu de vários documentos disponíveis online não dispostos num único repositório organizado, como artigos científicos e outros relatórios, e da contribuição dos próprios cientistas entrevistados, no fornecimento de alguns materiais para análise. É importante destacar que, apesar do cronograma de visitação a arquivos físicos ter sido devidamente cumprido, os dois primeiros anos de realização desta tese foram impactados logisticamente pela pandemia de Covid-19, fazendo com que, na organização da pesquisa, tenha se sobressaído um conjunto maior de acervos digitais.

No tocante ao entrecruzamento metodológico de fontes orais e artigos científicos, cabe por fim comentar alguns pontos. É importante mencionar a existência de um histórico de trabalhos de história oral no Brasil, levado a cabo por historiadores e sociólogos da ciência. Refiro-me aqui sobretudo ao Programa de História Oral da Casa de Oswaldo Cruz, que desde a sua criação, nos anos 1980, produziu uma larga quantidade de depoimentos de cientistas, técnicos e outros personagens importantes para a história das ciências e da saúde no Brasil. Trabalhos como o de Simon Schwartzman com o projeto “História da ciência no Brasil”, no qual o sociólogo entrevistou 77 cientistas brasileiros entre 1975 e 1978, também são grandes exemplos do encontro da história das ciências com a história oral no Brasil. Esses projetos servem, inclusive, como parâmetro metodológico para este trabalho, dado que não é tão fácil encontrar textos referenciais apontando especificidades metodológicas do trabalho de história oral na história das ciências (KAMENSKY e RIBEIRO, 2019).

Com relação às publicações científicas, de acordo com Hannah Landecker (2007), esse tipo de fonte acaba geralmente sendo considerado algo secundário, menos importante que entrevistas ou fontes de arquivo. Entretanto, a autora considera que a larga escala das publicações científicas a partir do século XX apresenta um grande desafio para antropólogos e historiadores, pois formam uma representação coletiva da comunidade científica, com massas de artigos adquirindo uma dinâmica própria:

Fiquei continuamente frustrada ao tentar compreender o movimento e a dinâmica dessa entidade por meio de interlocutores únicos, vivos ou mortos, principalmente porque estava tentando entender o movimento de um campo, uma massa de pesquisa, e não as ações de qualquer pessoa ou laboratório ou instituição. Na antropologia e na história da biotecnologia, existem muitos estudos de caso e poucos trabalhos sintéticos que nos dão maneiras de tecer

os estudos de caso em um relato mais abrangente do que aconteceu no século XX. Eu não queria fazer um estudo de caso e depois generalizar; eu queria fazer um trabalho empírico altamente específico em geral. Isso pode parecer uma contradição em termos, mas foi o que me levou a essa reversão na qual senti que a literatura era minha fonte principal e as entrevistas e o material de arquivo eram instâncias secundárias do processamento individual dessa literatura (LANDECKER, 2007, p. 23).

As considerações de Landecker sobre sua metodologia são úteis para a reflexão sobre o desenvolvimento desta pesquisa. Para dar conta de responder como as células se tornaram tecnologia, a autora analisou um amplo conjunto de publicações científicas. Só de 1884 a 1950, foram registradas 23 mil publicações sobre o tema da cultura de células (LANDECKER, 2007, p. 21). Com um trabalho focado na prática dos cientistas, ou seja, não só no que eles pensam e escrevem, mas também o que fazem e com quais materiais trabalham, Landecker buscou entender não a atuação de um laboratório, instituição ou personagem específico, mas todo um movimento de pesquisas que passaram a ter as células como objeto. Nesse sentido, seu trabalho pode se constituir como uma inspiração metodológica para esta pesquisa, assim como o de Angela Creager (2013), que ‘seguiu’ os radioisótopos em suas funções em diferentes sistemas experimentais de pesquisa do pós-guerra. Embora a intenção aqui não seja utilizar as publicações científicas como principal fonte, essa abordagem contribui para pensar em como relacioná-las às fontes orais e arquivísticas, na investigação sobre a conformação de novos campos de pesquisa da biologia brasileira no século XX.

Esta tese está dividida em quatro capítulos. O capítulo um, intitulado *Radioisótopos, Ciência e Guerra Fria*, oferece uma visão abrangente do papel dos radioisótopos na ciência e na política durante o período da Guerra Fria, tanto globalmente quanto no contexto brasileiro. Os tópicos desse capítulo condensam temas que vão desde a descoberta da radioatividade, no fim do século XIX, até a atuação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a circulação dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, a partir dos anos 1950. Entre esses aspectos desenvolveram-se pontos como o da relação entre o contexto das bombas atômicas, o Projeto Manhattan e as políticas nucleares do pós-guerra; o panorama histórico do programa nuclear brasileiro e seus desdobramentos, como o debate energético, de projetos a representações da energia nuclear; por fim, o capítulo um também abordou as relações Brasil-EUA durante a Guerra Fria, com foco para os radioisótopos na institucionalização das ciências no Brasil.

O capítulo dois, “*Um incremento extraordinário às ciências biológicas*”: *radioisótopos e ciências da vida no Brasil*, aborda o uso dos radioisótopos nas ciências da

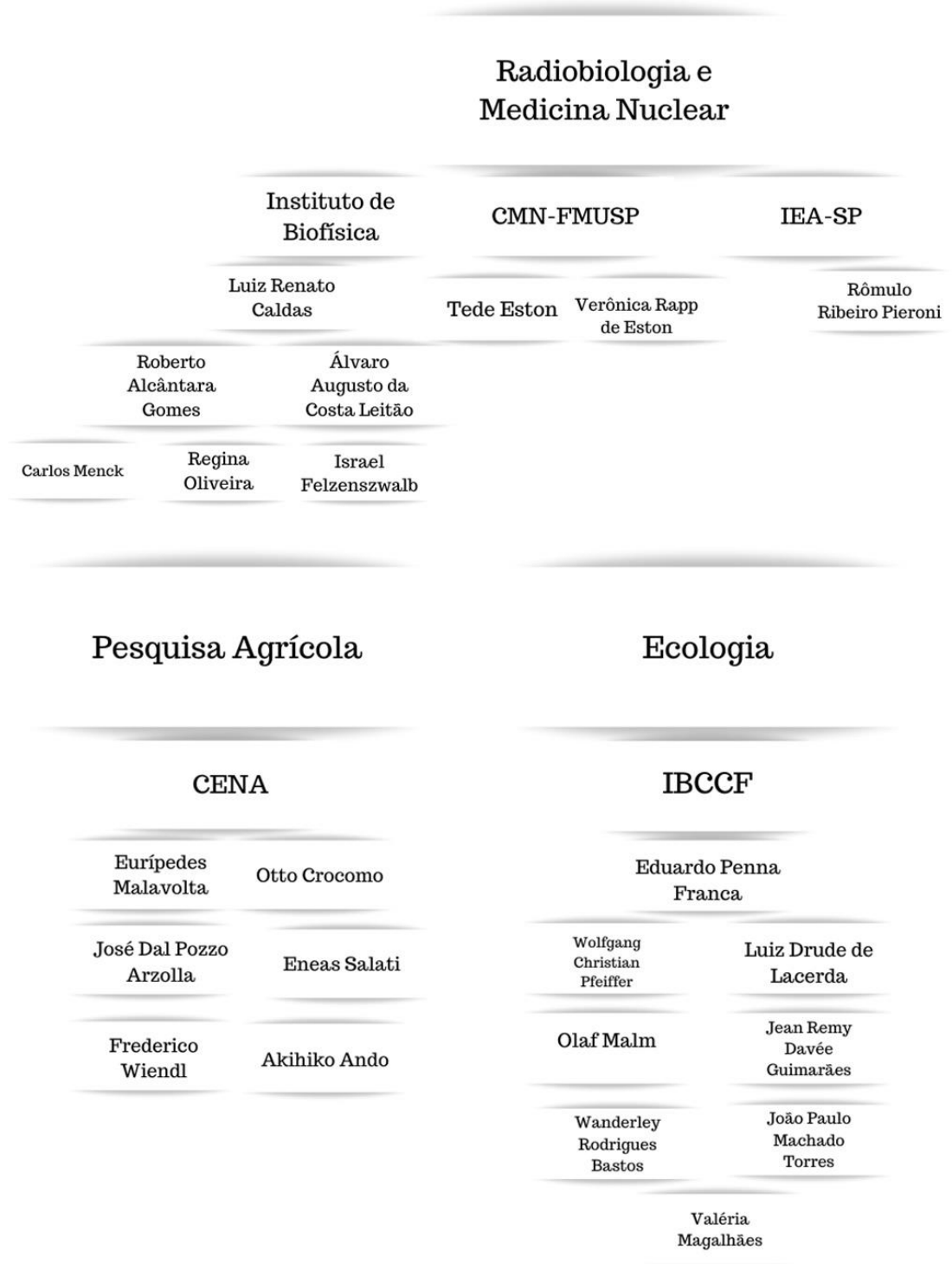
vida no Brasil, a partir de uma análise aprofundada sobre suas aplicações na agricultura, medicina e biologia, bem como as transformações de seus usos e a trajetória de personagens impactados por esse processo. O primeiro tópico aborda o emprego de radioisótopos na pesquisa agrícola, com foco no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP), desde a sua fundação até as pesquisas realizadas e os desafios enfrentados, incluindo projetos como o do Programa Nacional de Irradiação de Alimentos. O segundo tópico se debruça sobre a aplicação de radioisótopos na medicina, com ênfase no Centro de Medicina Nuclear (CMN-FMUSP) e no Instituto de Energia Atômica (IEA-USP), abrangendo as agendas de pesquisas levadas a cabo nesses centros, e a formação de novas especialidades como a medicina nuclear e a bioquímica; por último, examinou-se o desenvolvimentos de estudos radiobiológicos e fotobiológicos a partir do IBCCF, abordando sua relação com a radiação, a radiobiologia como disciplina científica a partir da atuação de Luiz Renato Caldas e a formação de uma escola de radiobiologistas no Brasil, seguindo as trajetórias de alguns pesquisadores.

O capítulo terceiro, *Os radioisótopos na trajetória científica de Eduardo Penna Franca e os estudos de radioatividade natural*, apresenta a trajetória científica de Eduardo Penna Franca, com destaque para o seu papel na formação dos estudos de radioatividade natural no Brasil e na sua atuação como articulador de redes científicas. Os tópicos deste capítulo abordam desde a formação inicial de Penna Franca até seus primeiros contatos com radioisótopos nos Estados Unidos e seu retorno ao Brasil, onde iniciou trabalhos no Instituto de Biofísica. Como coordenador do Laboratório de Radioisótopos, criado em 1956, Penna Franca foi um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento de um programa de pesquisa conectando radioisótopos, estudos ambientais e análises de ecossistemas no Brasil. O cientista teve um papel igualmente importante no estabelecimento de um programa de monitoração ambiental e de estudos radioecológicos na primeira usina nuclear construída em Angra dos Reis-RJ. O fato do terceiro capítulo desta tese focar na trajetória desse cientista em específico justifica-se pela centralidade de Penna Franca como principal ponte entre o contexto mais exploratório de radioisótopos no Brasil, sobretudo a partir da década de 1950, e a formação de estudos ecossistêmicos mais especializados decorrentes desse amplo processo.

Por fim, o capítulo quatro desta tese, *Dos radioisótopos aos metais pesados: estudos de ecossistemas no Brasil*, faz uma análise dos estudos de ecossistemas no Brasil, com foco na transição dos estudos com radioisótopos e radiação para estudos mais abrangentes com metais pesados, destacando os seguintes pontos: 1) A "virada" para os estudos com metais pesados, liderada por Wolfgang Christian Pfeiffer e Carlos Costa Ribeiro, que trouxeram

novas feições ao Laboratório de Radioisótopos e iniciaram projetos sobre poluição atmosférica, poluição dos sistemas hídricos e ecossistemas aquáticos no Rio de Janeiro; 2) O desenvolvimento de agendas de pesquisa na ecologia de ecossistemas, com agendas de pesquisas desenvolvidas na Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e Rio Paraíba do Sul, além do estudo dos impactos do mercúrio proveniente do garimpo na Amazônia, que trouxe à tona questões sobre a "ecologia do ouro" e suas implicações para o ambiente e as comunidades locais; 3) O papel dos radioisótopos na constituição de uma ecologia de ecossistemas no Brasil e suas transformações, destacando as trajetórias científicas e identidades profissionais de pesquisadores como Jean Remy Davée Guimarães, Luiz Drude de Lacerda e outros membros do Laboratório de Radioisótopos, que, a partir dos radioisótopos, engendraram diferentes linhas de pesquisas em ecologia aplicada, impactos ambientais e Antropoceno.

Figura 1: Diagrama dividindo por área os principais personagens abordados nesta tese.



1 - Radioisótopos, Ciência e Guerra Fria

Os isótopos abriram novos horizontes nas pesquisas biológicas e médicas, possibilitando a solução de inúmeros problemas científicos e modificando diversos conhecimentos já existentes, como por exemplo: o mecanismo da fotossíntese clorofiliana; o mecanismo das proteínas, gorduras, hidratos de carbono e substâncias minerais; o metabolismo das bactérias; a permeabilidade celular aos íons; a fisiologia da tireoide e de outras glândulas etc. (SOUZA, 1958, p. 71).

No ápice do século XIX, a descoberta da radioatividade lançou uma sombra luminosa sobre a ciência, desencadeando uma série de eventos que reverberam até os dias atuais. Este capítulo desvela a tapeçaria intrincada da história da energia nuclear brasileira, um mosaico complexo onde se entrelaçam ciência, política e sociedade. Abrimos as páginas deste capítulo explorando a fascinante descoberta da radioatividade e suas primeiras incursões no campo médico e biológico. Desde os mistérios dos raios X até as aplicações variadas no Brasil, das terapias médicas ao 'radium'. O cenário se amplia para abranger o mundo dos radioisótopos, das bombas atômicas ao surgimento da radiobiologia. Do Projeto Manhattan às políticas do pós-guerra, investigo os primórdios dos radioisótopos no Brasil e suas primeiras implicações científicas. Adentro, em seguida, o terreno delicado da energia nuclear brasileira, explorando sua história desde o programa nuclear até os debates sobre sua relevância na matriz energética. Entre projeções, anseios e a persistente neurose antinuclear, delineamos as representações da energia nuclear no Brasil.

Em um dado momento, o texto culmina no programa "Átomos para a Paz", onde a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) emerge como protagonista. Comento também as relações Brasil-EUA durante a Guerra Fria e a institucionalização das ciências no Brasil através da energia atômica. Este capítulo serve como portal para uma narrativa multifacetada, preparando o terreno para uma análise aprofundada nos capítulos subsequentes. Cada seção, uma peça do quebra-cabeça, contribui para a compreensão abrangente da trajetória das ciências no Brasil, em especial àquelas ligadas ao mundo vivo, em contraste com a polissêmica questão nuclear. Apesar da diversidade de fontes, temas, contextos e personagens, a coesão do capítulo se encontra na tentativa de introduzir as primeiras relações entre radioisótopos, Guerra Fria e ciências da vida no Brasil. Como ficará evidente, não será possível, entretanto, esgotar a análise desses entrelaçamentos, mas esta análise se seguirá, nos outros capítulos, aprofundando a natureza das transformações ocorridas na pesquisa biológica brasileira com o advento desses novos objetos.

1.1 A descoberta da radioatividade e suas primeiras aplicações médicas e biológicas

1.1.1 Os raios X e a radioatividade natural: uma introdução

A história da descoberta dos raios X e do fenômeno da radioatividade é bem documentada e conhecida, ainda que não exista uma quantidade significativa de trabalhos críticos acerca desses eventos na historiografia contemporânea. Desde a primeira metade do século XX, esse tema suscitou o interesse de muitos cientistas e historiadores das ciências (DAVIS, 1924; MANES, 1956; BADASH, 1966; TRENN, 1976), incluindo nomes como George Sarton, considerado um dos responsáveis pela institucionalização da disciplina história das ciências e pela fundação da revista *Isis*, em 1913 (OLIVEIRA, 2016). Nessa mesma revista, em 1937, o historiador publicou o artigo *The discovery of X-Rays*, com uma reprodução fac-similar do primeiro relato de Wilhelm Röntgen anunciando sua descoberta entre 1895 e 1896. De acordo com Sarton, a descoberta de Röntgen foi “verdadeiramente sensacional”, e, atrelado a isso, o histórico do trabalho de gerações de físicos com tubos de vácuo e raios catódicos acabou preparando a audiência científica para a apreciação quase imediata das constatações do físico alemão (SARTON, 1937, p. 356). Isso também explicaria o motivo pelo qual a descoberta dos ‘raios de Röntgen’, ou raios X, suscitou quase que instantaneamente muitos trabalhos, não só na Europa, mas também no Brasil, como veremos adiante.

No dia 8 de novembro de 1895, os raios X foram descobertos pelo físico e engenheiro alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). Röntgen os denominou como ‘X’ pelo fato desses raios representarem algo ainda desconhecido. A descoberta deu-se a partir da observação de Röntgen de que uma placa coberta com material fluorescente (platinocianeto de bário) se tornava luminescente quando um tubo de raios catódicos (tubo de Crookes ou de Lenard) era ligado próximo. Em pouco tempo, o físico conseguiu identificar várias das propriedades dessas irradiações, publicando seu primeiro relato no final de 1895. Enquanto os raios catódicos⁸, que já eram conhecidos, eram luminosos e não ultrapassavam outros corpos, se extinguindo após alguns centímetros de distância, os raios descobertos por Röntgen eram capazes de atravessar grandes distâncias pelo ar, não eram visíveis e não tornavam o ar luminoso, embora pudessem excitar a luminosidade de materiais fluorescentes e sensibilizar chapas fotográficas. Os raios de Röntgen também eram capazes de atravessar vários objetos,

⁸ Hoje entendidos como raios constituídos por um fluxo de elétrons (MARTINS, 1990).

como madeiras, livros e placas metálicas⁹. Entretanto, a grande repercussão e popularidade da descoberta, tanto no âmbito científico quanto na imprensa popular, pode ser atribuída à possibilidade de observação dos ossos de seres vivos, através da radiografia (MARTINS, 1990, p. 27-28). Ainda em 1895, Röntgen expôs a primeira radiografia da história, produzida a partir da mão de sua esposa, Anna Bertha Röntgen. Essa imagem, intitulada “Hand mit Ringen” (mão com anéis), contribuiu para visualizar o achado que conferiu ao físico alemão o primeiro prêmio Nobel de física, em 1901.

No Brasil, já em 1896, um artigo da seção de ‘variedades’ do periódico *O Brazil-Médico* avaliava a descoberta de Röntgen

Afirma-se hoje, até que a descoberta do professor alemão nos veio revelar a existência de uma nova força, prenhe de consequências inesperadas e de surpreendentes novidades para a ciência. [...] A imprensa brasileira vai reproduzindo diariamente as aplicações práticas que têm sido feitas da descoberta Röntgen. Um entusiasmo digno de nota produz-se mesmo no nosso meio, geralmente apático, e mais de um médico tem procurado repetir as experiências de Röntgen (DR. C. S., 1896, p. 83-84).

Na Academia de Ciências de Paris, vários outros trabalhos surgiram a partir da publicação de Röntgen, fomentando o interesse de grandes matemáticos e físicos do período, como Henri Poincaré (1854-1912), que analisou detalhadamente todos os pontos identificados por Röntgen e outros cientistas da Academia, e considerou de fato tratar-se de um agente novo (MARTINS, 1990). Nesse contexto, surge também a figura de Henri Becquerel (1852-1908), creditado posteriormente na história como o descobridor da radioatividade. Estudando os sais de urânio, o físico francês teria chegado à conclusão de que eles também emitiam radiações semelhantes aos raios X, capazes de impressionar chapas fotográficas e de ionizar gases. Investigando substâncias fosforescentes e fluorescentes em relação aos raios X, Becquerel teria, por acidente, descoberto um novo fenômeno: a radioatividade natural ou gama. Entretanto, como apontam os trabalhos de Roberto de Andrade Martins (1990, 2012), Becquerel não estabeleceu de imediato nem a natureza dessas radiações emitidas pelo urânio, nem a natureza subatômica de todo o processo. Se analisadas em seu contexto de produção, pesquisas como as de Becquerel, na verdade, apresentavam resultados de difícil interpretação,

⁹ Os raios X são considerados hoje radiações eletromagnéticas de alta frequência, produzidas a partir da colisão de feixes de elétrons com metais. “As radiações eletromagnéticas podem ser consideradas sob o seu aspecto ondulatório e caracterizadas pelo seu comprimento de onda. Esta varia consideravelmente segundo o tipo de radiação: ondas hertzianas (rádio, televisão), luz visível entre 350 e 800nm (ou nanômetro ou milésimo de milionésimo de metro), ultravioletas entre 100 e 350 nm” (TUBIANA e BERTIN, 1990, p. 13). No caso dos raios X e gama, o comprimento de onda são inferiores a 1 nm, e podemos considerá-los também em seu aspecto corpuscular, como feixes de partículas de energia, os fótons.

e não tiveram o mesmo impacto que a descoberta dos raios X (MARTINS, 1990). Poucos pesquisadores se dedicaram a investigar as conclusões do físico francês até o início de 1898.

Martins (2012) considera equivocada a interpretação comumente aceita de que a descoberta de Becquerel teria se dado ao acaso, exigindo perspicácia do físico para chegar às conclusões ‘corretas’, e que isso desencadearia um conjunto de estudos que levaria linearmente ao surgimento da física nuclear. Nesse sentido, esse autor analisa os achados experimentais de Becquerel à luz do contexto científico de sua época, levando em conta tratar-se de eventos que suscitam questões epistemológicas interessantes. Pelo fato de que “não havia nenhuma previsão teórica do fenômeno, ele permite analisar como os pesquisadores se comportam nas pesquisas experimentais em um contexto pré-teórico” (MARTINS, 2012, p. 8). Voltando-se para a dimensão prática, experimental e material desses processos, o que Martins considera algo pouco explorado pela historiografia, o exame da história das pesquisas com radiações evidencia como uma visão nova sobre o mundo físico foi sendo formada entre o fim do século XIX e o início do século XX. Novos conceitos, métodos de observação e unidades de medidas tiveram de ser criados para que as energias, até então não conhecidas, capazes de desintegrar, transformar a matéria e produzir novos elementos químicos, pudessem ser apreendidas em novos campos de estudo (MARTINS, 2012).

Em 1898, o casal Marie Skłodowska-Curie¹⁰ (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) chegou à conclusão de que os raios de urânio eram um fenômeno físico característico do próprio elemento, não sendo relacionado com as suas condições físicas ou químicas. Para tanto, denominaram esse fenômeno de radioatividade. Ainda nesse mesmo ano, Marie Curie na França, e G. C. Schmidt na Alemanha, concluíram que os compostos do tório também emitiam radiações semelhantes às dos raios de urânio. O método utilizado por ambos os pesquisadores foi o uso de uma câmara de ionização, observando a corrente elétrica que era produzida no ar, entre duas placas eletrizadas, quando eram inseridos materiais que emitiam radiação. Enquanto Schmidt observou a refração dos raios do tório, mas não conseguiu notar reflexão ou polarização nesses raios, Marie Curie, estudando dois minerais de urânio (pechblenda, UO_2 , e calcolita ou torbernita, $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_8-12$), percebeu que o

¹⁰ Nascida em Varsóvia, capital da Polônia à época ocupada pela Rússia, Maria Skłodowska estudou em centros clandestinos de ensino para mulheres e, em 1891, se mudou para Paris, na França, para estudar na Universidade de Sorbonne, graduando-se em física e matemática. Nesse contexto, a cientista conheceu e se casou com o físico Pierre Curie, em 1895. Marie Curie escolheu o tema dos ‘raios de Becquerel’ para se aprofundar, e passou a trabalhar em parceria com o seu marido, trabalhos esses que lhe renderam dois prêmios Nobel. Curie foi a primeira mulher a ganhar um prêmio Nobel, e a primeira pessoa e única mulher a ganhá-lo duas vezes. Desse modo, a figura de Marie Curie ficou conhecida como uma das mulheres mais importantes da história das ciências (PUGLIESE, 2012).

urânio e o tório eram elementos de maior peso atômico do que outros já conhecidos. O fato de uma alta carga de energia e da longa duração da radiação ser proveniente do próprio material parecia algo novo. Marie Curie logo entendeu que esse fenômeno era algo mais geral, não sendo específico apenas do tório ou do urânio.

Pouco tempo depois, a cientista franco-polonesa passou a se dedicar a um trabalho de química analítica, buscando isolar uma possível substância radioativa que acreditava estar contida na pechblenda (UO_2). Separando os seus constituintes e utilizando métodos elétricos, Marie Curie dissolveu o mineral em ácido. O material ativo que ficou unido ao bismuto (Bi) não parecia ser nenhum elemento já conhecido. Sendo assim, o casal propôs que, se a existência de um novo metal fosse confirmada, desejavam-se que seu nome fosse polônio, em alusão ao país de origem de Marie Curie (MARTINS, 1990). Inicialmente, a comunidade científica não considerou que se tratava de um novo elemento, justamente pelo fato de que o novo metal se comportava de forma muito semelhante ao bismuto (Bi). Ainda em 1898, o casal Curie, junto do químico Gustave Bémont, apresentou evidências de que um outro novo elemento radioativo poderia ser extraído da pechblenda (UO_2). Esse material seria 900 vezes mais ativo que o urânio, e através de uma análise espectroscópica, foi possível notar uma raia espectral não conhecida. Devido a característica altamente radioativa do novo elemento, os três cientistas o denominaram de “rádio”. Nesse contexto, Marie Curie passaria a defender que a radioatividade era uma propriedade atômica (MARTINS, 1990).

Embora o termo radioatividade tivesse sido cunhado, e o trabalho dos Curie tivesse trazido à tona a existência de novos elementos radioativos, inúmeras questões seriam colocadas a partir daí, e respondidas ao longo dos primeiros anos do século XX.

O que eram as radiações emitidas: iguais aos raios X, ou não? Até essa época, parecia que sim. De onde saía a energia desprendida desses materiais? Por que alguns elementos são radioativos e outros não? Nada disso havia sido esclarecido. Não havia, também, suspeita de que a radioatividade acarretava transformações de um elemento químico em outro (MARTINS, 1990, p. 41).

Esse último ponto, por exemplo, foi sendo investigado e resolvido aos poucos. Em 1899, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) observou que o tório emanava uma outra substância radioativa, enquanto o físico alemão Friedrich Ernst Dorn (1848-1916) identificou que uma emanção semelhante ocorria no rádio. Em pouco tempo, chegou-se à conclusão da existência de um novo elemento químico, dessa vez gasoso, o radônio. Ao mesmo tempo, o casal Curie constatou, no fim do ano de 1899, que o rádio acabava tornando radioativos os corpos que estivessem próximos. A partir desses novos fatos, Rutherford

descobriu que tanto a emissão quanto o depósito desses novos elementos perdiam rapidamente o seu caráter radioativo, evidenciando uma mudança atômica gradual. Desse modo, entre 1902 e 1903, Rutherford, em conjunto com o químico inglês Frederick Soddy (1877-1956), apresentou uma teoria na qual era defendida a existência das transformações radioativas (MARTINS, 1990). Os dois cientistas verificaram que as propriedades empíricas da radioatividade poderiam ser explicadas objetivamente, a partir da consideração de que os átomos radioativos não seriam estáveis, pois sofriam desintegrações com velocidades determinadas, se transformando, com isso, em átomos de outros elementos (PENNA FRANCA, 1961).

Em dezembro de 1903, a Academia Real Sueca de Paris concedeu a Marie Curie, Pierre Curie e Henri Becquerel o prêmio Nobel de física, pelos estudos feitos sobre o tema da radioatividade. Já no ano de 1911, Marie Curie ganhou o prêmio Nobel de química, não só pelos seus trabalhos sobre radioatividade, mas, sobretudo, pela descoberta dos elementos polônio e rádio, e por ter conseguido isolar este último. Marie Curie, hoje certamente a figura mais popularmente conhecida dentre todos os personagens citados dessa história, recebeu de seu marido tanto o apoio científico quanto a legitimidade, difícil naquele contexto, de uma mulher perante a comunidade científica. Seu primeiro Nobel só foi adquirido mediante mobilização e articulação de Pierre Curie. De toda essa primeira geração de pesquisadores da radiação, Marie Curie, embora hoje consagrada, foi a que teve a trajetória mais difícil (PUGLIESE, 2012). Ainda assim, a cientista deixou um importante legado na história das pesquisas com radioatividade.

1.1.2 Raios X no Brasil: de força misteriosa às mais diversas aplicações

As descobertas dos raios X e da radioatividade tiveram um efeito, como já mencionado, não apenas na comunidade de físicos, mas, sobretudo, uma grande repercussão nos círculos médicos e biológicos. As pesquisas com os raios X, seus efeitos em diferentes organismos e suas potencialidades terapêuticas tiveram início no Brasil ainda no final do século XIX. De acordo com a dissertação de mestrado de Ulisses Rodrigues Dias (2006), o médico Álvaro Freire de Villalba Alvim (1863-1928) foi um dos pioneiros nos estudos de física médica e radiologia no país, tendo sido o primeiro médico no mundo a radiografar um caso de xipofagia, em 1897, após sua viagem à França, na qual trabalhou na equipe da cientista Marie Curie, podendo se especializar nesses novos estudos (DIAS, 2006). Entretanto, existem informações desconhecidas a esse respeito. Enquanto algumas notícias

do periódico *O Brazil-Médico* discorrem sobre o caso de xipofagia sem mencionar Álvaro Alvim (ROCHA, 1900), citando apenas os cirurgiões Álvaro Ramos, Chapot Prévost e o médico Camillo Fonseca, que teriam radiografado as gêmeas xipófagas Rosalina e Maria¹¹ no *Gabinete Clínico de Radiografia, Endoscopia e Bacteriologia* dos médicos Araujo Lima e Camillo Fonseca, e do engenheiro e físico Henrique Morize, outras apontam a relação de Álvaro Alvim com o caso:

A menina Rosalina - Acompanhada pelo cirurgião dentista Chapot Prévost e pelo Sr. Chaves Campello veio visitar-nos em nosso escritório de redação a menina Rosalina, que acaba de chegar da Europa, a bordo do *Chili*, em companhia do distinto colega, Dr. Álvaro Alvim. Esta interessante criança é bastante conhecida dos leitores do *Brazil Médico*, que sabem perfeitamente a sua história, quer quando unida à sua irmã Maria, constituindo um monstro xifópago, quer depois de separada, graças à perícia do ilustre cirurgião Chapot Prévost. Na Europa foi examinada pelos mais eminentes sábios, que ouviram e aplaudiram, com entusiasmo, a comunicação do prof. Chapot Prévost, cercado este distinto patricio das maiores provas de atenção e apreço pelo seu grandioso feito cirúrgico (A MENINA..., 1900, p. 414).

Um texto escrito pelo médico Lourival Ribeiro, em 1971, também não faz referência ao fato de que a radiografia das gêmeas xipófagas teria sido feita por Álvaro Alvim¹². Entretanto, independentemente da autoria da radiografia, o caso das gêmeas Rosalina e Maria evidencia como, já em fins do século XIX, essas imagens possibilitadas pelo uso dos raios X levaram a novos eventos, agendas e estudos no campo da medicina, cirurgia e mesmo na experimentação biológica.

A descoberta dos raios X por Röntgen, também levou os médicos Francisco Pereira

¹¹ O caso das irmãs Rosalina e Maria ficou muito famoso na comunidade médica. As irmãs, nascidas unidas de parto normal no dia 21 de maio de 1893, em Cachoeiro do Itapemirim, Espírito Santo, começaram a andar aos 5 anos de idade. Em pouco tempo, foram enviadas pela família ao Rio de Janeiro, e submetidas à avaliação clínica do cirurgião Álvaro Ramos. Depois da radiografia, a qual de acordo com Dias (2006) foi feita por Álvaro Alvim, mas o texto de Ribeiro (1971) e algumas notícias não deixam isso claro, as irmãs foram submetidas a uma laparotomia exploradora, em 23 de julho, de 1899, que constatou a união dos dois fígados, o que foi considerado como fator impeditivo para a operação. Entretanto, Chapot Prévost, à época professor da Faculdade Nacional de Medicina, assumiu o caso e fez a operação no dia 30 de maio de 1900. Depois de 134 horas de cirurgia, Maria faleceu. Rosalina se recuperou completamente (RIBEIRO, 1971).

¹² Nesse seu artigo mencionado, no entanto, Ribeiro reproduz uma fotografia de Álvaro Alvim, mesmo sem tê-lo citado no corpo do texto. O artigo em questão foi consultado na Biblioteca de História das Ciências e da Saúde (COC-Fiocruz), e finaliza justamente com a foto de Álvaro Alvim, sem dar continuidade ao texto (RIBEIRO, 1971). Embora seja possível encontrar em sites e reportagens a associação de Álvaro Alvim com o feito da primeira radiografia de xipofagia do mundo, pela análise da documentação e das notícias do periódico *O Brazil-Médico*, que acompanhou o caso na época, não é possível ter certeza disso. Ver mais em DIAS, Mateus; COSTA, Wing. Primeira separação de gêmeos siameses do mundo foi realizada em capixabas em 1900. *Gazeta Online*, publicado em 22/10/2016. Disponível em: <https://www.gazetaonline.com.br/especiais/capixapedia/2016/10/primeira-separacao-de-gemeos-siameses-do-mundo-foi-realizada-em-capixabas-em-1900-1013988395.html> [Acesso em: 15/04/2021]. No site da Sociedade Paulista de Radiologia e Diagnóstico por Imagem, Álvaro Alvim também aparece como o pioneiro a instalar um aparelho de raios X no Rio de Janeiro, em 1897, e o primeiro a radiografar um caso de xipofagia no mundo.

das Neves e Martins Teixeira, aos trabalhos com o novo ‘elemento’. Uma série de objetos, tais como pássaros, rãs, macacos, membros de cadáveres humanos, projéteis de armas de fogo, fragmentos de vidro, moedas e agulhas foram experimentalmente radiografados no gabinete de Física Médica da Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro. Em 22 de setembro de 1896, a primeira radiografia a serviço da medicina clínica foi realizada (RIBEIRO, 1971). Nas escolas politécnicas do Rio de Janeiro, São Paulo e na Escola de Engenharia de Ouro Preto, vários ensaios e experimentos também foram feitos nesse período.

Os raios X, ainda no ano de 1896, foram tema da tese de doutoramento do médico Adolfo Carlos Lindenberg (1872-1944), na Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro. Em *Dos Raios X no ponto de vista médico-cirúrgico*, Lindenberg apresentou as teorias sobre os raios catódicos estudados pelos físicos Michael Faraday, Johann Wilhelm Hittorf e outros considerados precursores de Röntgen; a história da descoberta dos raios X, sua natureza e aplicação; práticas de radioscopia, a radiografia na clínica, a diferença radiográfica dos tecidos e órgãos e as experiências feitas na Faculdade. No Boletim Bibliográfico do *O Brazil-Médico*, o trabalho de Lindenberg foi considerado “um dos melhores trabalhos deste gênero aparecidos na Faculdade de Medicina no ano que findou [...] explana a questão dos raios Röntgen com a maior proficiência [...]” (DOS RAIOS X..., 1897, p. 118).

É difícil apontar com certeza, tanto pela documentação quanto pela escassa literatura existente sobre o tema, onde foram instalados os primeiros aparelhos de raios X no Brasil, quem foram os primeiros personagens a se debruçar sobre o tema da radioatividade, e a experimentar as novas ferramentas possibilitadas pela descoberta de Röntgen. Nesse sentido, o objetivo aqui não será determinar e analisar em profundidade os personagens envolvidos nesse processo, mas apresentar um panorama geral de como esse tema foi recebido no Brasil, e de seus primeiros desdobramentos no âmbito da experimentação médica e biológica. Para tanto, operou-se um mapeamento a respeito das menções aos raios X e ao rádio, sobretudo no periódico *O Brazil-Médico*. A intenção de mostrar esse panorama no início deste capítulo se deve à tentativa de evidenciar a natureza do trabalho desses primeiros pesquisadores que se interessaram pelo tema da radiação na vida e na terapêutica, e não necessariamente estabelecer uma linha cronológica evolutiva orientada para a emergência dos radioisótopos. Entretanto, é evidente, a partir da abordagem dos sistemas experimentais proposta por Rheinberger (1992), e utilizada nesta pesquisa, como também, nos usos iniciais dos raios X e de outros elementos radioativos, está presente uma dinâmica complexa entre objetos científicos e tecnológicos, na qual se percebe novas potencialidades experimentais, mas ainda não se sabe ao certo quais são as perguntas a serem feitas e quais respostas poderão ser

respondidas.

Em maio de 1896, por exemplo, uma notícia sobre a possibilidade de aplicação dos raios de Röntgen no tratamento de doenças infecciosas, sugeria que talvez os raios X pudessem ser utilizados no tratamento da tuberculose, febre tifóide, cólera e erisipela. Isso porque um cientista alemão, citado como Dr. F. Minck, de Munique, estaria testando as propriedades bactericidas dos raios X, que seriam análogas às que possuem a luz solar e a luz elétrica:

O Dr. Minck já iniciou algumas experiências tendentes a verificar a ação dos raios Röntgen sobre os microrganismos. Os resultados até agora obtidos, apesar de negativos, não permitem formular ainda conclusão alguma fundada, visto não terem sido as experiências feitas além de 35 minutos, quando a sua duração mínima deverá ser de 5 horas, para que um efeito qualquer dos raios X possa produzir-se sobre os micróbios (POSSIBILIDADE..., 1896, p. 146).

A notícia, além de explorar a relação dos raios com os microrganismos, dá a entender que já era conhecido o tempo necessário para modificar, com o uso da radiação, uma estrutura viva em laboratório. Essa chave de pesquisa será largamente explorada nesta tese, devido ao fato de que esse tipo de estudo posteriormente se configuraria como um grande campo do conhecimento, ligado ao que se convencionou chamar de radiobiologia. Mas, nesse contexto, pesquisas como essa, na verdade, possuíam um caráter basicamente exploratório, aliado ao interesse médico. Assim como explorar imagens radiografadas de macacos a projéteis, bactérias também já eram alvos dos raios X.

É comum, para o ano de 1896, encontrar notícias sobre as “photographias de Roentgen”, que indicam não só esse caráter exploratório, mas também como as radiografias pareciam circular e impressionar aqueles que começavam a ter contato com elas:

Fotografias de aves, de peixes, de um pé calçado de botinas, são de uma nitidez incomparável. Há um interessante estudo sobre vários tecidos, a fim de mostrar a transparência de cada um. Não deixaremos de assinalar um outro fato interessantíssimo. Sabe-se que o brilhante e a esmeralda são completamente transparentes aos raios de Röntgen. Ora, o Dr. Pereira das Neves obteve uma fotografia do anel de um distinto colega, mas nem a esmeralda nem o brilhante manifestaram-se transparentes. Interpelado o ourives que vendeu a joia, este confessou que, em verdade, ambas as pedras eram falsas (PHOTOGRAPHIAS..., 1896, p. 342).

Um efeito não menos impressionante, mas certamente preocupante, eram as dermatites que logo foram relacionadas ao uso dos raios X. Em notícia de clínica dermatológica reproduzida no *O Brazil-Médico* em agosto de 1897, um caso grave de dermatite consecutiva a duas aplicações de raios X, estudado pelo Dr. G. Apostoli e apresentado na Academia de

Ciências de Paris pelo professor D'Arsonval, foi tratado como “o caso mais grave e mais rebelde de dermatite conhecido até a presente data” (APOSTOLI, 1897, p. 259). O estudo chegou à conclusão de que a dermatite havia sido de fato causada pelos raios X, e que ocorrera devido a um descuido operatório, “quer pela duração muito longa de uma só sessão quer, enfim, devido às sessões muito repetidas e pouco espaçadas” (APOSTOLI, 1897, p. 260). O tratamento proposto pelo médico francês era a utilização de corrente elétrica, por ‘eflúvio estático’ e por ‘aplicação polar de uma corrente galvânica’.

Na edição de 15 de abril de 1904, o trabalho de um médico de Porto Alegre, Victor de Britto, sobre o tratamento do câncer, expunha essa outra possibilidade de utilização dos raios X. A ansiedade pela cura do câncer através da radiação possui um percurso histórico de continuidade, constituindo parte importante das discussões sobre o tema, desde os primeiros anos dessas pesquisas até a criação de programas de pesquisa financiados pelas políticas de energia nuclear no contexto pós-Segunda Guerra Mundial. Em seu trabalho publicado no *O Brazil-Médico*, Victor de Britto comentava sobre como a comunidade médica “foi impressionada por uma outra novidade, que surgia com aspirações mais elevadas em relação ao tratamento de câncer” (BRITTO, 1904, p. 143). Entretanto, embora Britto tenha feito alguns comentários otimistas sobre as possibilidades oriundas da radioterapia, seu trabalho apontava para o fato de que havia casos no qual os raios X não eram eficazes, ou até mesmo causavam lesões graves nos pacientes, e apontou que outros métodos ainda poderiam ser utilizados com sucesso para o tratamento do câncer. Britto considerava que a falta de meios seguros para a aplicação da radioterapia poderia causar “reações intensas, abalando o moral dos pacientes e chegando mesmo a infundir-lhes sérias dúvidas sobre a inocuidade da radioterapia” (BRITTO, 1904, p. 144).

A análise ponderada do médico é interessante pois, se por um lado, a radioterapia já mostrava resultados positivos com relação ao tratamento do câncer e de outras doenças, por outro lado, ela poderia facilmente ser a causa de várias outras doenças e complicações médicas. Alguns anos depois, o médico Lafayette Freitas, em um trabalho sobre “A radioterapia no tratamento das linfomatoses e dos linfomas tuberculosos”, comentava, já com certo distanciamento, das condições iniciais nas quais se trabalhavam com os raios X:

Agiam todos, porém, sem o menor critério científico; as condições de experimentação eram aferidas tão somente pela bobina e pela intensidade da corrente primária. O tempo de exposição, a distância a observar entre a lesão e o anticatode [sic], a proteção do operador e das partes sãs nas proximidades da região irradiada, o número de sessões e o intervalo delas, tudo era inteiramente desconhecido (FREITAS, 1910, p. 7).

Na década de 1910, aparecem no periódico *O Brazil-Médico* menções aos raios X e seus efeitos sobre as articulações traumatizadas (DODSWORTH, 1911), o uso dos raios X e das radiografias no serviço de clínica médica da Faculdade de Medicina da Bahia (FRÓES, 1912), os raios X na cardiopatologia (DODSWORTH, 1912), no tratamento do ‘granuloma venéreo’ (SOUZA ARAÚJO, 1915); um trabalho de medicina legal sobre a “röntgendatilosopia onicográfica” (FRÓES, 1919), e a reprodução da sessão de 27 de abril de 1919 da Sociedade Médica dos Hospitais da Bahia, na qual discutiam-se “Sobre um caso de sopor palustre curado pelos raios X” (SOBRE..., 1919, p. 197).

As primeiras máquinas de raios X em circulação no âmbito médico, de acordo com o interessante trabalho de Matthew Lavine (2012), eram grandes, barulhentas, fedorentas, faiscantes, sujeitas a acidentes e ferimentos. Sua presença crescente na clínica acabou por reforçar a compreensão pública de que os raios X eram realmente potentes e eficazes. Considerados um novo ícone da medicina científica, os raios X alimentaram expectativas e ansiedades do público acerca de sua grande inovação tecnológica, o que foi reforçado por seus efeitos práticos e visíveis sobre o corpo. De acordo com Lavine, os raios X sugeriam “uma onisciência quase mágica e, frequentemente, uma onipotência sinistra” (LAVINE, 2012, p. 624). Embora fossem considerados uma ‘tecnologia milagrosa’, de acordo com Warwick (2005), suas aplicações médicas iniciais eram bastante irregulares. Os raios X, nesse sentido, acabavam permanecendo subsidiários aos métodos já existentes de terapêutica e diagnóstico, e possuíam um valor controverso (WARWICK, 2005). Estudando o caso da cirurgia ortopédica na Alemanha, com foco no tratamento de luxações congênitas do quadril, um problema muito comum, Warwick argumenta, entretanto, que os raios X não foram utilizados apenas como ferramenta diagnóstica, mas passaram a constituir parte do próprio processo terapêutico. Ou seja, de acordo com o historiador, embora a aplicação imediata dos raios X e o seu poder efetivo devam ser mais bem ponderados, seu estudo de caso revelou como em determinadas áreas do conhecimento médico e, nesse caso, cirúrgico, os raios X se tornaram indispensáveis como evidência nos embates científicos e como ferramenta na constituição de um tratamento satisfatório (WARWICK, 2005, p. 3).

Nas décadas que se seguiram, adentrando a primeira metade do século XX, trabalhos em radiologia vascular, radiologia gástrica, radiologia de fraturas e corpos estranhos, estudos radiológicos de mediastino de crianças, estudos radiológicos de tuberculoses, dentre outros foram publicados como artigos ou livros por diferentes pesquisadores brasileiros (ABREU, 1927, 1930; PONDÉ e SILVEIRA, 1931; SILVEIRA, 1939; MACEDO, 1943). Também é

possível encontrar alguns trabalhos mais detalhados sobre o uso dos raios violetas e ultravioletas no tratamento de doenças (CARVALHO, 1922). Esses trabalhos já demonstram uma complexidade radiológica maior que os até aqui mencionados, evidenciando, com o passar das décadas, a consolidação do uso dos raios X (e de outras irradiações) no meio médico e clínico.

Analisando teses da Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro, Carmen Barguil (2011) aponta a presença de vários trabalhos datados das primeiras décadas do século XX que, dentro do campo da terapêutica e do diagnóstico, utilizavam a tecnologia dos raios X e do rádio¹³. A autora afirma que médicos como Toledo Dodsworth e Álvaro Alvim, já mencionados neste tópico, tornaram-se especialistas em radiologia, e podem ser considerados expoentes desses estudos, sobretudo a partir de sua atuação multifacetada em periódicos, pesquisas clínicas e experimentais, formação de grupos de alunos e correspondência com especialistas estrangeiros. Outros nomes que surgiram nesse contexto de início da formação de uma especialização em estudos radiológicos são os de Roberto Duque Estrada (1887-1966), que a partir de 1916 passou a ministrar um curso teórico-prático de radiologia na mesma Faculdade, e Manoel de Abreu (1892-1962), que trabalhou em Paris, chefiando o Laboratório de Radiologia do Hôtel Dieu, em 1922. Em 1936, o médico obteve um écran fluoroscópico, técnica radiológica de baixo custo, e, com isso, inaugurou o que Lourival Ribeiro (1907-1992), importante médico fisiologista que escreveu notas sobre história da medicina, chamou de ‘radiologia social’, que tinha como base o diagnóstico precoce de doenças do tórax (BARGUIL, 2011, p. 82). Em 1929, esses personagens todos se uniram na criação da Sociedade Brasileira de Radiologia e Eletrologia, no Rio de Janeiro, que funcionaria apenas até 1932. Como argumenta Barguil (2011), essa sociedade foi um primeiro esforço pela institucionalização da eletrologia e da radiologia no Brasil, vistas pela autora como áreas vinculadas à fisioterapia. Desse modo, a radiologia era usada para a diagnose e tratamento juntamente com as técnicas de eletricidade. Já em 1943, um grupo de 96 médicos ‘reabriu’ a sociedade, dessa vez como Sociedade Brasileira de Radiologia¹⁴ (BARGUIL, 2011, p. 82).

Com relação à experimentação biológica dessas novas ferramentas, não foi possível

¹³ Alguns dos trabalhos citados pela autora são “Roentgendiagnóstico do estômago no adulto” (1912) de Jorge Dodsworth, “Radiodiagnóstico dos tumores da hipófise” (1916), de Jayme da Silva Rosado e “Sobre a ossificação da mão e seu valor semiótico (pelos raios Roentgen)” (1912), de Arnaldo Campello (BARGUIL, 2011, p. 80).

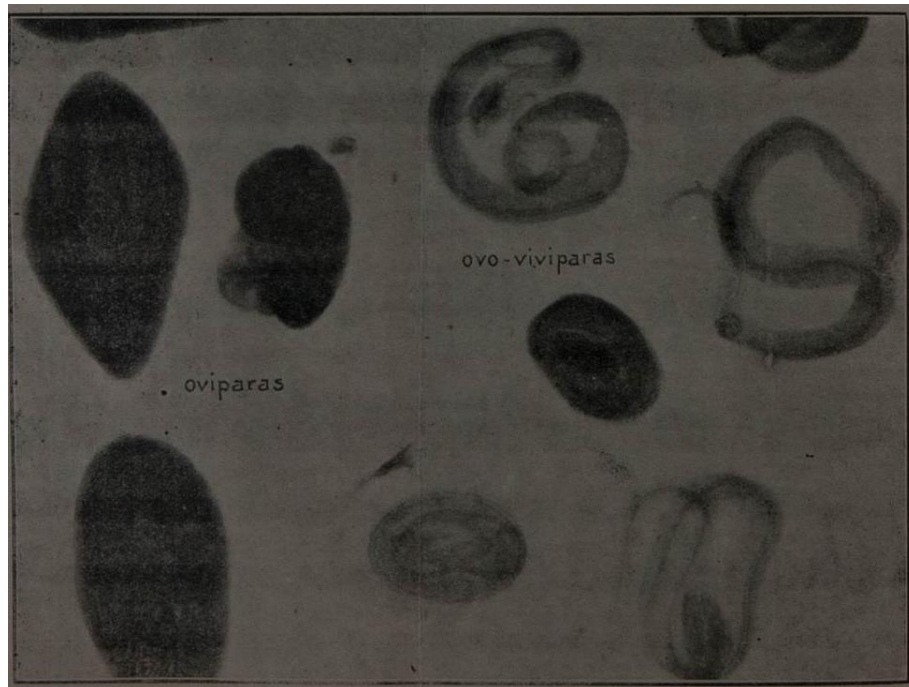
¹⁴ Para mais detalhes sobre as técnicas radiológicas na clínica entre as primeiras décadas do século XX, consultar o trabalho de Carmen Barguil (2011). Sua tese de doutorado, que analisa a medicina prática do início do século até a década de 1930, busca investigar o lugar da fisioterapia na terapêutica médica, e possui informações sobre a atuação de médicos e a natureza de alguns trabalhos envolvendo os raios X e o rádio.

encontrar uma quantidade significativa de trabalhos nas primeiras décadas do século XX. Há, para além dos já mencionados experimentos com bactérias, parasitas e agentes infecciosos, experimentos utilizando os raios X para visualizar o interior de animais, e para averiguar o efeito da radiação nas plantas. Entretanto, em *O Brazil-Médico*, por exemplo, esses trabalhos só aparecem a partir da década de 1920. Em 1923, o Dr. Max Rudolph, do Instituto Butantan, publicou uma comunicação de pesquisa intitulada ‘Estudos sobre a digestão de animais, no estômago de serpentes, com os raios X’. Segundo o cientista, esses estudos foram realizados pelo mesmo, por iniciativa do Dr. Rudolf Kraus¹⁵ (1868-1932), à época diretor do Instituto Butantan, com a justificativa de que não existiam trabalhos sistemáticos na literatura acerca desse tema. Pelo fato de as serpentes não mastigarem e sim deglutirem por inteiro os animais dos quais se alimentam (ratos, coelhos, pássaros, rãs, lagartos, cobras etc.), ao fazer a autópsia de uma serpente é possível encontrá-los ainda inteiros em seu estômago. Entretanto, dados sobre o tempo da digestão e o mecanismo da decomposição desses animais ainda eram desconhecidos, de acordo com Rudolph. “Por isso se compreende bem que não estava muito longe a ideia de se aplicar os raios X para estudar os animais comidos e sua sorte no estômago das serpentes” (RUDOLPH, 1923, p. 33).

Nesse sentido, o objetivo da comunicação do cientista era demonstrar como que a fotografia radiológica era um “método excelente para estudar este problema” (RUDOLPH, 1923, p. 33). Nas radiografias publicadas junto com o texto, é possível ver esqueletos de animais comidos, ratos e cobras, e diferenciar os detalhes de cada um. Radiografias de ovos de serpentes ovíparas e ovovivíparas, e da cabeça de uma *Lachesis muta* (surucucu) também são expostas junto ao texto. De acordo com Rudolph, era a primeira vez que o método do uso dos raios X era empregado na herpetologia, e, devido aos resultados positivos, poderia ser aplicado no estudo de outros problemas biológicos.

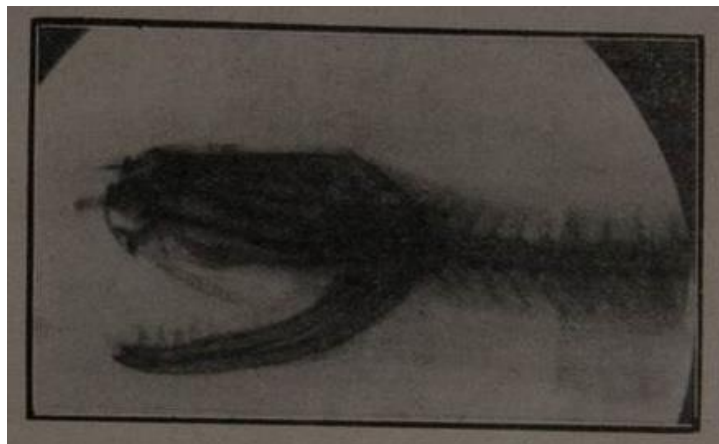
¹⁵ Rudolf Kraus nasceu em Mladá Boleslav (Jungbunzlau) na Boêmia (atual República Tcheca), em 1868, e formou-se em medicina na Universidade Alemã de Praga, em 1893. Teve passagem, a partir de 1894, por várias instituições de pesquisa europeias, estudando reações sorológicas e imunizações. Entre 1912 e 1913 participou de uma expedição bacteriológica a pedido do rei da Bulgária, devido a uma epidemia de cólera que atacava seu exército. Entre 1913 e 1921 foi diretor do Instituto Bacteriológico de Buenos Aires, realizando trabalhos de medicina tropical. Em 1921, foi convidado pelo governo de São Paulo para dirigir o Instituto Butantan, que à época vivia uma grande crise. Ocupou o cargo de diretor por pouco tempo (até julho de 1923), pois não tinha o apoio de seu superior e nem dos funcionários da instituição. Além disso, Kraus ainda esteve envolvido com o tema da produção e padronização de produtos biológicos, trabalhou num dos mais altos cargos da administração da saúde no Chile, publicou diversos manuais de imunologia e microbiologia, fundou e foi editor de várias revistas científicas (CAVALCANTI, 2013, p. 7-10).

Figura 2: radiografia de ovos de serpentes ovíparas e ovovivíparas



In: RUDOLPH, Max. Estudos sobre a digestão de animais, no estômago de serpentes, com os raios X. **O Brasil-Médico**, ano 37, v. 1, n. 3, 1923, p. 34.

Figura 3: radiografia da cabeça da serpente *Lachesis muta* (surucucu).



In: RUDOLPH, Max. Estudos sobre a digestão de animais, no estômago de serpentes, com os raios X. **O Brasil-Médico**, ano 37, v. 1, n. 3, 1923, p. 35.

Dois elementos interessantes podem ser destacados do uso dos raios X nesses estudos, considerado por Rudolph bem-sucedido: o primeiro é o teor de novidade que essas imagens representavam, pela possibilidade de averiguar, pela primeira vez, algo não antes observado; o segundo é que, com o uso dos raios X, surge também um horizonte de caminhos de pesquisa a ser explorado. Ainda que muitos venham a se tornar improfícuos ou se mostrar inacessíveis, a operação de uma nova metodologia na biologia realçava alguns interesses dos pesquisadores, como é o caso desse estudo herpetológico. Enquanto a radiografia dos ovos

das serpentes levou ao interesse de tentar “resolver o assunto da possibilidade de, com este processo, seguir-se a evolução dos embriões nos ovos” (RUDOLPH, 1923, p. 35), a radiografia da cabeça da surucucu, embora evidenciasse os seus dentes venenosos e o seu canal mostrando sua característica de serpente solenóglifa¹⁶, talvez não permitisse tantos novos ensaios.

De qualquer modo, o texto de Rudolph, na intenção do próprio autor, servia como exemplo prático para outros pesquisadores explorarem as possibilidades dos raios X: “Esta comunicação não tem outro objetivo senão demonstrar que a radiologia pode ser aplicada também às ciências naturais, especialmente à herpetologia, para resolverem-se problemas biológicos” (RUDOLPH, 1923, p. 35).

Outras menções mais rápidas aos raios X, para resolução de questões de caráter fundamental da biologia, são mais escassas e suscintas. É possível encontrar, entretanto, trabalhos de biologia preocupados com a ação de outras radiações¹⁷ e efeitos fotodinâmicos¹⁸ em diferentes organismos. Contudo, não abordaremos esses outros estudos agora, pois o foco

¹⁶ A dentição solenóglifa é uma característica de serpentes da família Viperidae. É constituída por dois dentes retráteis, que são inoculadores de peçonhas neurotóxicas, hemotóxicas ou citotóxicas, localizadas na parte anterior do maxilar superior. Durante o ataque, os dentes inoculadores se projetam para fora, permitindo a inoculação de uma quantidade maior de peçonha, diferente do que acontece no caso das dentições proteróglifas.

¹⁷ Algumas notícias interessantes sobre pesquisas com radiações UV também são encontradas. É o caso de uma nota de 1926, da Academia de Medicina de Paris, que reproduzia um experimento feito com uma ninhada de cinco coelhos nascidos no escuro do subterrâneo, e posteriormente irradiados. O objetivo do estudo era verificar os efeitos dos raios UV e da carência solar. “Na sexta semana, três desses animais, menos pesados e menos desenvolvidos, foram irradiados (14 sessões em doses progressivamente crescentes) e todos eles experimentaram, desde o começo, surto notável no seu desenvolvimento geral, peso e vitalidade. Os outros dois, que eram mais vigorosos, escolhidos como testemunhas e submetidos à carência solar absoluta, apresentaram atraso de crescimento, estabilização e, depois, diminuição de peso, acabando por sucumbir com uma paralisia do quarto posterior” (DA AÇÃO..., 1926, p. 324). A explicação para esse experimento foi a seguinte: “É, de um lado, a pressão osmótica que regula a penetração, nas células do organismo, do número das moléculas cuja fixação representa a intensidade do movimento de crescimento, e, de outra parte, a produção da eletricidade intra-orgânica” (DA AÇÃO..., 1926, p. 324). Os resultados do experimento foram relacionados à opinião clínica, existente na época, de que os raios ultravioletas eram importantes para a nutrição e o desenvolvimento das crianças.

¹⁸ Em 1929 o parasitologista Samuel Pessoa, junto do Dr. Jayme Pereira, publicou o artigo ‘Contribuição para o estudo da ação fotodinâmica da eosina’ no *O Brasil-Médico*. O estudo, inserido num contexto de vários outros que estavam investigando a ação fotodinâmica em diferentes sistemas sensíveis (bactérias, cogumelos, ovos, espermatozoides, plantas, venenos de animais), visou a ação fotossensibilizadora específica para o corante eosina. Utilizou-se como ‘materiais sensíveis’ culturas de Paramecia, larvas de mosquito e de strongilóides intestinais, girinos de sapo, minhocas e peixes, com o objetivo de entender se o contato direto da eosina com esses sistemas era uma condição necessária para a ação fotodinâmica dessa substância. Outra questão era: “Se esta ação se estendia também a organismos multicelulares, isto é, aos metazoários, e se os raios ultravioletas, de ação bactericida notável, seriam os responsáveis pelos resultados já observados” (PESSOA e PEREIRA, 1929, p. 117). Com relação especificamente aos raios ultravioleta, a pesquisa concluiu: “Não são responsáveis pela ação tóxica do conjunto luz-eosina; primeiro, porque esses raios fornecidos por uma lâmpada de mercúrio foram insuficientes para matar os materiais vivos estudados, que morreram sob a ação da luz solar e, segundo, porque esses sistemas quando expostos à luz solar filtrada através da água e do vidro comum, que retêm os raios ultravioletas, morrem como se fossem expostos diretamente à luz solar” (PESSOA e PEREIRA, 1929, p. 118).

deste tópico é o uso dos raios X, e pelo fato de que posteriormente, ainda nesta tese, o tema da fotobiologia será aprofundado. Em 1934, uma notícia sobre experimentos com cães normais, utilizando os raios X para entender a motilidade do esôfago, foi publicada. A notícia, embora de caráter mais veterinário, pode mostrar como os estudos com raios X para entender aspectos fisiológicos de determinados organismos continuavam sendo desenvolvidos (VASCONCELLOS, 1934, p. 215). Dois anos depois, uma notícia sobre a ação dos raios X sobre as plantas, afirmava que as possíveis alterações hereditárias, consideradas limitadas pelo autor, não eram visíveis de imediato (AÇÃO DOS..., 1936, p. 147). A nota de pesquisa, ainda que pequena, serve para evidenciar como, na segunda metade da década de 1930, começavam a aparecer as primeiras considerações sobre o efeito genético dos raios X¹⁹.

Ainda no ano de 1936, *O Brazil-Médico* noticiava a ocorrência do ‘II Congresso Nacional dos Núcleos Italianos de Radio-Biologia’. Realizado em Modena, nos dias 20 e 21 de setembro do mesmo ano, o congresso discutiu os temas da radiogenética, os efeitos dos raios UV no soro sanguíneo, os ultrassons na biologia e a ação biológica à distância dos metais (II CONGRESSO..., 1936, p. 873). Foi a primeira vez que o termo radiobiologia apareceu nas páginas do periódico.

1.1.3 Entre minerais radioativos e terapias médicas: o ‘radium’ no Brasil

É interessante notar que a primeira menção ao rádio no periódico *O Brazil-Médico*, datada de 8 de junho de 1905, é, na verdade, uma chamada. Publicado na seção de trabalhos originais pelo Dr. Paulo Garnault, francês e ex-chefe dos trabalhos de anatomia comparada da Faculdade das Ciências de Bordeaux, a publicação se destinava a “despertar no Brasil a procura e a descoberta do rádio e dos minerais radioativos, que parecem existir em grande quantidade neste país” (GARNAULT, 1905, p. 211). A justificativa de uma publicação como essa estar sendo feita num periódico médico se dava pela já conhecida importância terapêutica do rádio. Entretanto, mais do que isso, Garnault buscava alertar sobre o valor mineralógico do Brasil, tanto devido às areias monazíticas, que seriam de grande interesse décadas depois para o programa nuclear brasileiro e suas relações com outros países, sobretudo os Estados Unidos, quanto devido a outros possíveis minérios radioativos encontrados em território brasileiro:

¹⁹ Falaremos, ainda neste capítulo, sobre o desenvolvimento dessas pesquisas, sobretudo a partir do trabalho do geneticista Hermann Joseph Muller com as drosófilas, publicado em 1928, que confirmou o caráter mutagênico das radiações.

Já sabia, antes de chegar ao Brasil, que havia neste país areias monazíticas, isto é, minerais de tório, que é um mineral por si mesmo um tanto radioativo. [...] Estou há três meses somente neste país e há dois já tive ocasião de observar e estudar minerais radioativos de poder e origem muito diversos. [...] Qual é o elemento de sua radioatividade? Embora muito variáveis, algumas areias monazíticas são muito mais ativas do que as observadas por Schmidt, Mme. Curie, Rutherford, Debierne etc. Contém o rádio, o polônio e o actínio, ou algum outro elemento radioativo? Não sei ainda. Não posso, por falta de aparelhos e de laboratório, resolver esta questão (GARNAULT, 1905, p. 211-212)²⁰.

Garnault ainda assume que havia começado seus estudos no Brasil de ‘modo silencioso’, mas depois resolveu comunicar-se com o governo brasileiro a respeito de seu plano de investigação e pesquisa. O médico francês, assim, além de demonstrar um grande interesse pelos minérios brasileiros, busca divulgar a centralidade das características geológicas brasileiras para o estudo da radioatividade. A dimensão material do rádio e sua obtenção, nesse sentido, fica evidente inclusive em tom de denúncia. Nas notas ao final do artigo, Garnault expõe como uma memória recentemente publicada pelo Dr. Gustave Le Bon acabou esclarecendo a dúvida de que a Alemanha estaria explorando clandestinamente as areias monazíticas brasileiras para extrair o tório:

São conhecidas as dificuldades que tiveram M. et Mme. Curie para encontrar as pechblendes [sic], que só obtiveram graças à generosidade do governo austríaco [...] Parece impossível dizer quais os minerais, afora as monazitas brasileiras, que poderiam ter fornecido esta matéria radioativa [...] A ser exata a minha suspeita (e tem bastante importância para que o Brasil procure certificar-se), grande parte, senão a maior parte, da matéria radioativa vendida na Alemanha, desde alguns anos, proveria das areias monazíticas brasileiras (GARNAULT, 1905, p. 212).

Embora o autor tenha escrito essas informações na nota final, e não no corpo do texto, afirmando ter chegado de maneira mais clara às constatações de uso internacional e clandestino de minérios brasileiros apenas após já ter composto o artigo, o fato é que a denúncia, correta ou não, fundamentava ainda mais a motivação de Garnault em ressaltar a importância do Brasil para a pesquisa do rádio. Aproximando esses minerais radioativos do trabalho pioneiro de Pierre e Marie Curie, Garnault reforçava o seu chamado.

Embora não fosse geólogo ou mineralogista, o médico francês tinha boas razões para se preocupar com esse tema. Afinal, assim como no caso dos raios X, o rádio e outros minerais radioativos que começavam a ser estudados pelo mundo todo, possuíam grande

²⁰ As areias monazíticas já haviam sido descritas por outro francês, o mineralogista Claude-Henri Gorceix, não citado e provavelmente desconhecido de Garnault.

interesse médico e científico e, conseqüentemente, um valor de mercado. “A medicina tem colhido já resultados importantes para fundadas esperanças na ação terapêutica do rádio. [...] Há, pois, enorme interesse para a medicina, ao mesmo tempo que para a ciência, em possuir por preço íntimo um metal cujo grama vale atualmente 400.000 francos” (GARNAULT, 1905, p. 211). Em seu plano de pesquisa, Garnault disse que ainda entregaria um relatório técnico ao Sr. Ministro das Obras Públicas. É importante, nesse sentido, observar o estado de órgãos dessa natureza no período, como por exemplo a Secretaria da Agricultura, Comércio e Obras Públicas e a Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo. De acordo com Silvia Figueirôa (1997), em 1904, o orçamento estipulado dessa comissão havia sido o mais baixo até então, o que significava uma redução de 40% em relação ao ano anterior:

[...] Essa redução praticamente inviabilizava seu funcionamento, dado os já minguados vencimentos de seu pessoal (inferiores aos da maioria das outras repartições públicas) e a necessidade intrínseca de trabalhos de campo, que agora dificilmente poderiam ser conduzidos (FIGUEIRÔA, 1997, p. 189).

Por outro lado, nesse mesmo contexto, estava sendo criado o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, em 1907, que tinha por objetivo estudar a estrutura geológica, a mineralogia, os meios e recursos minerais do território brasileiro (FIGUEIRÔA, 1997). Figueirôa aponta duas características ligadas à nova instituição criada: o cuidado do governo em focar nas pesquisas com aplicação prática imediata, e a abertura de um mercado de trabalho para os técnicos existentes no país. Embora um dos motivos para a criação do novo serviço fosse fazer a propaganda sistemática das riquezas minerais do Brasil, devido ao fato constatado de que o desconhecimento das jazidas brasileiras seria um obstáculo à sua exploração, o serviço atuou de forma mais específica no problema das secas no Nordeste e nas possibilidades de irrigação (FIGUEIRÔA, 1997, p. 221). Além disso, ainda de acordo com Figueirôa, em 1908, por exemplo, o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, realizou um grande levantamento das reservas de ferro e manganês de Minas Gerais, concluindo que “as reservas brasileiras eram da ordem de quatro milhões de toneladas de minério com teor de 65% de ferro, e 1,7 milhões de toneladas com teor de 50%, significando um quarto total das reservas mundiais até então conhecidas” (FIGUEIRÔA, 1997, p. 224). Nesse sentido, pelo trabalho de Silvia Figueirôa, não é possível ter certeza se os minerais radioativos brasileiros, já visados internacionalmente, receberam alguma atenção das instituições responsáveis no período próximo à publicação do texto de Garnault. O que pode ser afirmado, entretanto, é que, do ponto de vista geológico ou econômico, eram outros os

minérios na ordem do dia.

No âmbito das aplicações médicas ou biológicas, comparando os resultados das buscas feitas no periódico *O Brazil-Médico*, o rádio parecia ocupar um espaço menor em relação aos raios X, a não ser pela criação de institutos que levariam o seu nome, na década de 1920. É também a partir da década de 1920 que trabalhos utilizando rádio se tornam mais frequentes nas páginas do periódico. Artigos sobre a aplicação de rádio no tratamento do câncer (GRAÇA, 1929, p. 1358), como um dos métodos possíveis de esterilização de animais fêmeas (VOGT, 1927, p. 1329), como um tratamento para a ‘leishmaniose externa’ (TRATAMENTO..., 1926, p. 24), ou ainda como um antídoto para o rejuvenescimento, em estudos experimentais que constatavam estímulos produzidos pelo rádio sobre as células testiculares (REJUVENESCIMENTO..., 1924, p. 183). Nesses estudos ou tratamentos, o rádio era empregado ou sob a forma de emanção, ou dentro de agulhas, que perfuravam os tecidos doentes, ou ainda no interior de tubos de platina, ouro, alumínio ou ouro platinado (GRAÇA, 1929).

Em uma pequena nota publicada no dia 20 de março de 1920, era comentado no periódico o apelo da Sociedade de Medicina e Cirurgia de São Paulo para que a população fizesse doações para a instalação de um “Instituto de Radium”. A notícia destacava o “mais belo movimento de geral solidariedade”, que estaria ocorrendo devido a iniciativa da Sociedade (INSTITUTO..., 1920, p. 195). Meses depois, uma outra nota comentava não sobre o “Instituto de Radium” de São Paulo, mas sobre o recém-criado “Instituto do Radium” de Minas Gerais. Mencionava o pedido do Dr. Theophilo de Almeida para que fossem noticiados os objetivos do novo Instituto de Belo Horizonte, ressaltando que “o Instituto terá fiscalização oficial muito limitada e que, além do tratamento do câncer, ocupa-se o novo instituto do estudo do rádio e do câncer e difundirá conselhos de ordem higiênica relativos à questão do câncer” (O INSTITUTO..., 1920, p. 875). De acordo com Cuperschmid e Martins (2014), a luta contra o câncer existente na Europa, nas primeiras décadas do século XX, incentivou brasileiros a pesquisar temas relativos à radioterapia e a criar institutos que tinham como objetivo o tratamento dessa doença (CUPERSCHMID e MARTINS, 2014, p. 1237).

Um ano depois, em São Paulo, o Instituto de Radium estava “definitivamente organizado”, e passaria a se chamar Instituto Arnaldo Vieira de Carvalho. Com personalidade jurídica, a primeira diretoria composta e os estatutos já publicados, o instituto aguardava a chegada de seu principal personagem: “O rádio para o Instituto já foi encomendado, devendo ser fornecido pela ‘Radium Chemical Corporation’, de Nova York, na quantidade de um grama e quarenta miligramas de brometo de rádio hidratado” (INSTITUTO..., 1921, p. 305).

Mas foi de fato o ‘Instituto de Radium de Belo Horizonte’ aquele que, alguns anos depois, em 1927, já seria considerado “estabelecimento científico modelar”, e onde se cogitava a instalação de novos pavilhões “para atender às múltiplas necessidades do serviço interessando-se vivamente o governo estadual e a população pelo utilíssimo empreendimento” (INSTITUTO..., 1927, p. 106).

Várias tentativas de criação de institutos voltados às aplicações médicas do rádio surgiram até o final da década de 1920. É o caso do Instituto Álvaro Alvim, criado no Rio de Janeiro em 1908, ou o Instituto de Radiologia da Faculdade de Medicina, da mesma cidade, criado em 1919. No caso do instituto paulista mencionado acima, suas atividades só foram iniciadas de fato em 1929, nas instalações do hospital central da Santa Casa da Misericórdia (CUPERSCHMID e MARTINS, 2014).

O Instituto de Radium de Belo Horizonte foi inaugurado no dia 07 de setembro de 1923, e teve grande apoio de recursos estaduais. Em 1921, o Banco Hipotecário e Agrícola do Estado de Minas Gerais financiou a compra de rádio da Société Française d’Énergie et de Radio Chimie, “com certificados de dosagem assinados por Marie Curie” (CUPERSCHMID e MARTINS, 2014, p. 1240). Essa mesma cientista, em agosto de 1926, no contexto de sua viagem ao Brasil, visitou o Instituto de Radium, junto de sua filha Irène Joliot-Curie, e doou duas agulhas de rádio para as curieterapias, outra expressão surgida para as terapêuticas utilizando este elemento. Marie Curie fez também uma conferência na Faculdade de Medicina, no dia 18 de agosto, sobre a radioatividade e suas aplicações na medicina. Na plateia estavam os estudantes Pedro Nava, Juscelino Kubischek e João Guimarães Rosa. A visita de Curie teve grande repercussão na imprensa local e influenciou não só vários jovens alunos de medicina como também a continuidade dos trabalhos no Instituto (NASCIMENTO e BRAGA, 2011, p. 1889).

O instituto configurou-se como o primeiro centro brasileiro dedicado à pesquisa e ao tratamento do câncer (SIMAL e PARISOTTO, 2011). Entre 1923 e 1935, 28,30% dos pacientes do instituto buscavam tratamento para o câncer. Nesse mesmo período, 1.653 entradas no livro de registros do instituto revelam diagnóstico de câncer, sendo que 215 desses pacientes foram submetidos várias vezes ao tratamento. A maior incidência era de câncer na face (39,5%): “Dos pacientes com câncer na face, 97 indivíduos voltaram ao hospital várias vezes; 67 deles receberam radiação, 43 foram operados e receberam radiação e 14 desses apresentaram metástases” (CUPERSCHMID e MARTINS, 2014, p. 1256). A segunda maior incidência era de câncer uterino. Do total de mortes do período estudado por Cuperschmid e Martins, 481 óbitos foram registrados no Instituto, sendo 45,32% de pacientes

oncológicos.

Nesses dois últimos subtópicos, tentei mostrar resumidamente como, nas primeiras décadas do século XX, o tema e as técnicas da radiação chegavam no campo médico e científico brasileiro. Embora em menor escala do que em países da Europa e nos Estados Unidos, é perceptível através da análise das páginas de periódicos médicos e da atuação de novas instituições, como os raios X ou o rádio passaram a frequentar o leque de opções tecnológicas e as ferramentas de pesquisa disponíveis para cientistas e médicos desse período. Desde o tratamento estabelecido com a radioterapia a várias doenças, mas em especial ao câncer, ou a utilização das radiografias para uma série de novos problemas, é possível enxergar a organização de novas agendas de pesquisa, instituições e cientistas preocupados com o tema da radiação como ferramenta terapêutica e para compreensão dos fenômenos da vida. Elementos interessantes desse momento também puderam ser observados, como o não aproveitamento por parte do governo brasileiro de suas reservas já conhecidas de minerais radioativos, e a exploração, ainda que muito incipiente, dessas novas ferramentas em pesquisas fundamentais.

1.2 Radioisótopos, bombas atômicas e a energia nuclear em questão

1.2.1. O surgimento de uma ‘radiobiologia’ e os primeiros usos dos radioisótopos

Enquanto no Brasil o uso da radiação em pesquisas de caráter fundamental era pouco expressivo, em âmbito internacional, a década de 1920 viu uma expansão desses estudos. Nessa década, dois personagens se destacaram por suas contribuições para a formação do campo da radiobiologia e para o uso dos radioisótopos como uma nova ferramenta de pesquisa: refiro-me ao geneticista estadunidense Hermann Joseph Muller (1890-1967) e ao químico húngaro George de Hevesy (1885-1966).

Nascido em Nova York no dia 21 de dezembro de 1890, Muller formou-se na Universidade de Columbia, onde desde o início passou a se interessar por biologia, com a atenção voltada principalmente ao campo da genética. Iniciou seus trabalhos sob orientação de um dos mais importantes nomes da citogenética, Edmund Beecher Wilson (1856-1939). Muller permaneceu na mesma universidade de 1912 a 1916, e entre 1918 e 1920 tornou-se assistente de Thomas Hunt Morgan (1866-1945), passando a integrar um grupo de geneticistas que estavam explorando a teoria cromossômica da hereditariedade (MORGAN et al., 1915). O grupo de Morgan, que contava também com nomes como Alfred Sturtevant (1891-1970) e Calvin Blackman Bridges (1889-1938), fez uma série de experimentos

cruzando moscas das espécies *Drosophila ampelophila* e *Drosophila melanogaster*, o que serviu de base não só para a formulação da teoria cromossômica, de que os genes eram corpusculares e estavam localizados nos cromossomos, como também para estabelecer as drosófilas como modelos animais experimentais²¹. No livro *Lords of the Fly: Drosophila genetics and the experimental life* (1994), Robert Kohler argumenta que a mosca da fruta selvagem foi transformada em um animal artificial com uma história natural distinta a partir dos trabalhos em laboratórios de drosófilas²². Nesse ‘nicho ecológico’ controlado, as drosófilas se tornaram uma ferramenta que possibilitou a abertura de uma série de novas linhas de pesquisa em genética (KOHLE, 1994). O trabalho de Muller, que, como já foi mostrado, participou do grupo de Morgan, pode ser considerado um exemplo disso.

Ainda na década de 1910, enquanto trabalhava na Universidade de Rice, em Houston, Muller iniciou seus estudos sobre mutação. Entre 1918 e 1926, período no qual também trabalhou como professor na Universidade do Texas, em Austin, Muller formulou alguns dos principais aspectos da mutação genética espontânea, incluindo mutações prejudiciais e recessivas, como as causadas por agentes físico-químicos. Nesse mesmo contexto, o geneticista propôs a ideia do gene como base da vida e da evolução (KELLER, 1990). No final do ano de 1926, Muller obteve evidências conclusivas de suas pesquisas a respeito da produção de mutações genéticas e alterações cromossômicas causadas pelos raios X. As pesquisas de Muller incluíam estudos sobre os mecanismos dos efeitos da mutação gênica e sobre os papéis que cada tipo de mutação desempenha na evolução e nas propriedades dos genes e cromossomos. Objetivamente, Muller investigou as características hereditárias das drosófilas e, em 1927, chegou à conclusão de que o número de mutações genéticas observadas aumentava quando as moscas eram expostas aos raios X. Ele descobriu que quanto maior a dose de irradiação (raios X e radiações ionizantes), maior era o número de mutações ocorridas (MULLER, 1928). Em 1946, Muller ganhou o prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina “pela

²¹ As drosófilas são pequenos dípteros que podem ser encontrados sobre frutas fermentadas. São insetos abundantes em climas tropicais. Em *Introdução ao Estudo da Drosófila*, publicação de cunho didático de 1950 assinada pelos geneticistas brasileiros Newton Freire-Maia e Crodowaldo Pavan, os autores comentaram: “A genética de *Drosophila*, dentro da qual Morgan, Bridges, Sturtevant, Muller, Dobzhansky e tantos outros lançaram as bases gerais da ciência Genética, iniciada há quarenta anos atrás, vem oferecendo, cada vez mais, contribuições de ordem geral capazes de elucidar os mecanismos de transmissão hereditária em toda a sorte de animais e plantas. É realmente inestimável, neste ponto, a contribuição que a genética de *Drosophila* trouxe principalmente para a análise e solução de inúmeros problemas humanos, não só em relação à descoberta de fatos capazes de elucidar seus aspectos teóricos, como também no terreno das aplicações práticas (medicina, agricultura, zootecnia etc.)” (FREIRE-MAIA e PAVAN, p.6).

²² Entre 1910 e 1940, o grupo de Thomas Morgan tornou-se um grande centro de cultura de drosófilas. Eles criaram sua mosca modelo por meio da endogamia e organizaram uma rede de trocas de estoques de drosófilas entre outros laboratórios (KOHLE, 1994).

descoberta da produção de mutações por meio da irradiação de raios X” (HERMANN..., n.p., c2021a).

O trabalho de Muller se desdobrou em várias outras pesquisas, e foi feito em diferentes lugares. Na década de 1930, Muller migrou dos Estados Unidos para a Alemanha, para trabalhar no Instituto Oscar Vogt, em Berlim. Pouco tempo depois, entre 1934 e 1937, Muller, um crítico do capitalismo, mudou-se para Leningrado (atual São Petersburgo), na Rússia, a pedido do botânico Nikolai Vavilov (1887-1943), para trabalhar no Instituto de Genética da Academia de Ciências da União Soviética (URSS). O geneticista estadunidense também trabalhou em Moscou e, com o fortalecimento do chamado lisenkismo²³, movimento liderado por Trofim Lysenko que negava a genética mendeliana e se baseava na teoria da herança de caracteres adquiridos, mudou-se novamente, dessa vez para a Escócia, para trabalhar no Instituto de Genética Animal da Universidade de Edimburgo, onde ficou até 1940 (HERMANN..., n.p., c2021b). Entre 1940 e 1945, Muller trabalhou no Amherst College, em Massachusetts, retornando assim aos Estados Unidos e, no final de 1945, passou a trabalhar como professor no Departamento de Zoologia da Universidade de Indiana. Na década de 1960, Muller²⁴ se aposentou nessa mesma universidade, e faleceu em 5 de abril de 1967.

O estudo de Muller com as induções de mutagênese a partir de irradiações o levou, como já mencionado, à compreensão do gene como base da vida. Para Muller, o gene seria uma estrutura unitária, o “átomo do biólogo”, responsável por manter as propriedades fisiológicas e morfológicas e por causar as suas diferenças, variações, mutações e evolução. Anos depois das considerações de Muller acerca do gene, o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) publicou seu famoso livro intitulado ‘O que é vida? O aspecto físico

²³ Em “A Herança e sua variabilidade”, livro lançado pelo Editorial Vitória no Brasil provavelmente na década de 1940, com traduções dos escritos do polêmico geneticista Trofim Denisovich Lysenko e com um anexo sobre o tema da biologia na URSS, a definição ‘soviética’ de herança aparece como “a propriedade que possui um corpo vivo de requerer condições definidas para sua existência, seu desenvolvimento e sua propriedade de reagir de um modo definido ante as diferentes condições” (LYSSENKO, [s.d.], p. 10). Em uma entrevista replicada no mesmo livro, Lysenko também comenta que “A humanidade inteira pertence à mesma espécie biológica. Eis porque a ciência burguesa foi conduzida a imaginar a existência numa luta no interior das espécies. [...] Nós, homens soviéticos, sabemos bem que a opressão das classes trabalhadoras, o reinado da classe capitalista e as guerras imperialistas nada têm a ver com as leis da biologia quaisquer que elas sejam. [...] A concorrência no interior das espécies não existe, porém, na natureza. Existe uma concorrência entre as espécies” (LYSSENKO, [s.d.], p. 140).

²⁴ Um fato curioso a respeito de Muller é que o geneticista foi um dos mentores do divulgador científico e cientista Carl Sagan (1934-1996), conhecido pelas pesquisas em astrobiologia e pela famosa série televisiva ‘Cosmos’, de 1980. Eles se conheceram na Universidade de Indiana, onde Sagan trabalhou por um algum tempo como assistente no laboratório de Muller. “Sagan e Muller tinham muitas coisas em comum. Como fãs mútuos de ficção científica, eles uma vez foram juntos a uma convenção de ficção científica em Chicago. O trabalho de ativismo político de Muller para reduzir as possibilidades de uma guerra nuclear na década de 1950 foi provavelmente formativo no ativismo antinuclear posterior de Sagan” (SAGAN’S SCIENCE..., n.p., c2021).

da célula viva' (1944), no qual especulava sobre qual seria a base física da vida. Assim como Muller, embora provavelmente sem conhecer seu trabalho, Schrödinger identificou a “fibras cromossômica” como “a parte mais vital do organismo”, o “veículo material da vida” (KELLER, 1990, p. 404). Embora o livro de Schrödinger tenha de fato influenciado, em alguma medida, os rumos da biologia (SCHRÖDINGER, 1997[1944]; MURPHY e O'NEILL, 1997), seja por seus aspectos teóricos e especulativos ou pelo interesse causado em físicos que passaram a migrar para as ciências da vida (KELLER, 1990), de acordo com Evelyn Fox Keller (1990), seu livro não trouxe contribuições originais, dado que os detalhes demonstrados a respeito da estrutura gênica foram baseados nos estudos já desacreditados de Max Delbrück (1906-1981), e que Muller já havia definido o gene em seus termos fundamentais. Além disso, Schrödinger não refletiu sobre as questões práticas envolvendo a unificação entre conhecimentos físicos e biológicos:

Em retrospecto, seria necessário dizer não apenas que Schrödinger não resolveu o problema da vida, mas que o paradoxo que ele identificou como o cerne do problema se dissolveu efetivamente diante dos desenvolvimentos subsequentes. [Entretanto], foi creditado pela maioria dos físicos que se voltaram para a biologia molecular após a guerra como um fator crítico, se não decisivo, em sua mudança para a biologia (Gunther Stent, Maurice Wilkins, Francis Crick, Seymour Benzer, ...); e muitos dos biólogos que chegaram a estrelar a revolução molecular (James D. Watson, Salvador Luria, Alfred Hershey, François Jacob, ...) também citaram a influência deste livro. A única pergunta é: que tipo de influência? (KELLER, 1990, p. 403-4).

A relação entre conhecimentos e interesses de físicos e biólogos por objetos, agendas de pesquisa ou instrumentos científicos comuns, nesse sentido, esteve não só presente no cerne da formação da radiobiologia, e no trabalho de nomes pioneiros do campo, como Muller, mas também se estenderia para o surgimento da biologia molecular. Essa interação sociocognitiva e disciplinar entre físicos e biólogos será aprofundada ao longo da tese. Entretanto, é importante comentar aqui a existência de uma continuidade de influências mútuas entre esses cientistas e suas técnicas, desde pelo menos a década de 1920. Seja na radiobiologia, no uso pioneiro dos radioisótopos em objetos orgânicos, como veremos adiante a partir dos trabalhos de Hevesy, ou mesmo na biologia molecular, essas trocas constituíram partes fundamentais desse corpo conhecimentos biofísicos.

Hermann Joseph Muller ainda foi um defensor de uma série de mudanças norteadoras na compreensão dos fenômenos biológicos que levaram à emergência da biologia molecular,

termo creditado ao matemático Warren Weaver (1894-1978)²⁵, diretor da *Natural Science Division* da Fundação Rockefeller, que teria o cunhado em 1938 (KELLER, 1990). Essas mudanças envolveram uma realocação da essência (ou base) da vida, que agora deveria ser buscada no gene; uma redefinição de “vida”, que passaria a ser pensada em termos de código, ou “script” a ser decodificado; e uma reformulação dos objetivos da própria ciência biológica, com foco na dimensão experimental e na intervenção controlada em laboratório (KELLER, 1990, p. 392).

Com relação ao uso dos raios X, instrumento este que acabou por contribuir de maneira central para todos esses desdobramentos, uma série de outras pesquisas entre as décadas de 1910 e 1930 tinha por objetivo averiguar seus efeitos em uma gama variada de objetos científicos. Essas pesquisas, seguindo Creager e Santesmases (2006a), constituíram a radiobiologia, termo que nesse período anterior à Segunda Guerra Mundial era usado para se referir diretamente aos estudos dos efeitos dos raios X nos processos biológicos. No pós-guerra, entretanto, a radiobiologia adquire um novo significado, e se torna um termo ‘guarda-chuva’, associado tanto ao desenvolvimento de reatores nucleares, radioisótopos artificiais, quanto aos riscos de radiação para a saúde (CREAGER e SANTESMASES, 2006a, p. 637).

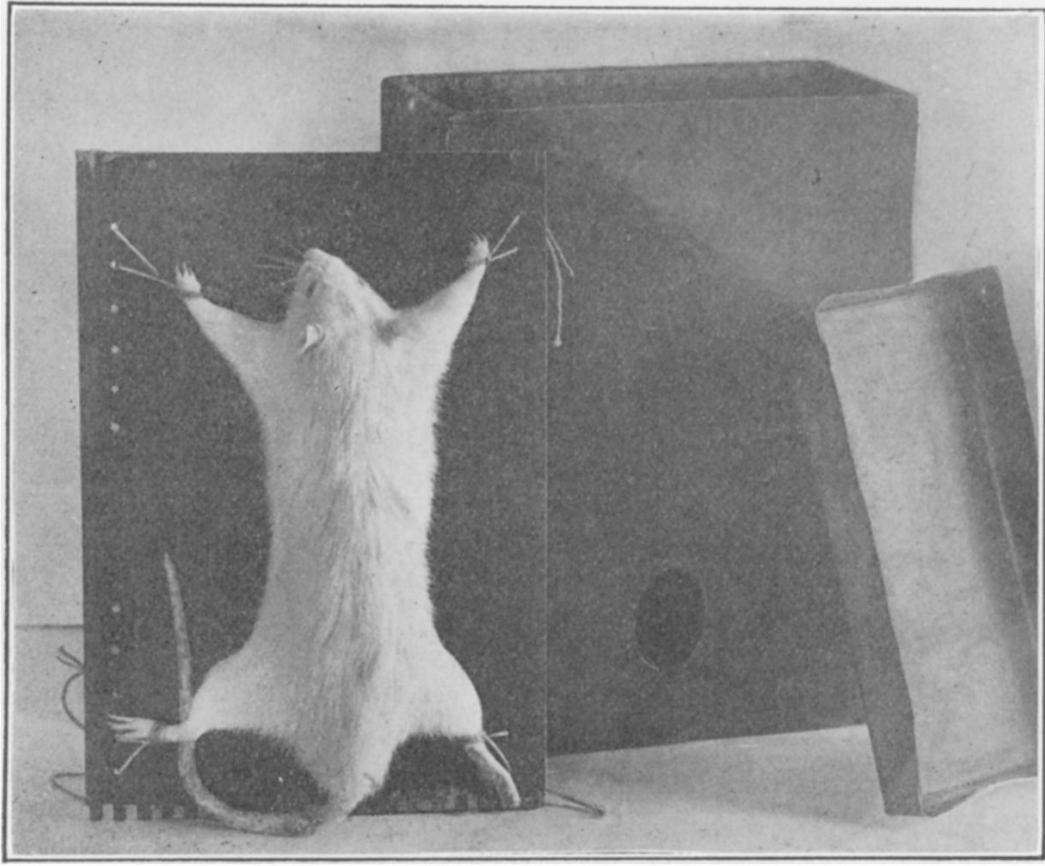
Assim, as pesquisas desse período “pré-energia nuclear”, eram estritamente ligadas ao uso dos raios X, como instrumento científico e, nesse sentido, epistemológico (RHEINBERGER, 2010). Trabalhos investigavam, por exemplo, o efeito dos raios X sobre a taxa de divisão celular em caracóis *Planorbis* (RICHARDS, 1914), na fertilidade de camundongos (SNYDER, 1925), no metabolismo gasoso de um ‘cladocerano’ (OBRESHKOVE e KING, 1932), no controle da taxa de divisão de ovos de *Arbacia* (HENSHAW e FRANCIS, 1936), na fisiologia da *Euplanaria dorotecephala* (STRANDSKOV, 1937), no ciclo reprodutivo de faisões de pescoço anelado (CLARCK e BUMP, 1944), e, é claro, na genética das drosófilas (MULLER, 1928, 1930; MULLER e PAINTER, 1929; MOORE, 1932). A importância dos raios X para essas pesquisas pode ser evidenciada no clássico trabalho de Muller, no qual o geneticista se questiona sobre o fato dos efeitos mutagênicos obtidos nas drosófilas serem realmente exclusivos dos raios X, e compara os resultados com outros tipos de radiação:

O efeito é único? - Antes de encerrar, podemos levantar a questão: em que medida os raios X são únicos em seus efeitos? Não podem outros maus-tratos também produzir mutações? É de se esperar que a radiação de rádio,

²⁵ Warren Weaver teria cunhado esse termo para descrever o uso de técnicas das ciências físicas (raios X, radioisótopos, ultracentrífugas, matemática etc.) no estudo da vida (WEAVER, 1970).

devido à semelhança física de seus efeitos com os dos raios X, produziu resultados semelhantes também a este respeito, e os resultados obtidos nesta primavera por Hanson (usando o método de CI) são claramente positivos em este ponto. Em um de seus experimentos, os raios gama sozinhos foram autorizados a atingir as moscas e, também nestes, as mutações foram produzidas em abundância. Seguindo para baixo no espectro na outra direção, Altenburg, na primavera de 1927, tentou doses de tolerância máxima de raios ultravioleta de um arco de mercúrio, em escala extensa, e os resultados aqui foram definitivamente negativos, no sentido de que poderia ter havido nenhum efeito quase da mesma ordem que é produzido por doses máximas de tolerância de raios-x. Claro, comprimentos de onda individuais ainda merecem ser testados separadamente (MULLER, 1928, p. 723).

Figura 4: Caixa de raios-X, vista frontal mostrando abertura oval no revestimento de chumbo e rato amarrado à porta deslizante. A tampa para a caixa é mostrada à direita.



In: SNYDER, Laurence. The effect of X-Rays on the fertility of rats. **The American Naturalist**, v. 59, n. 660, 1925, p 88.

Embora os raios X fossem predominantes nas atividades radiobiológicas nesse contexto, ainda na década de 1920²⁶, seriam iniciados trabalhos utilizando isótopos

²⁶ Embora não tenha sido mencionado no primeiro tópico e nem nesta pequena exposição dos trabalhos com raios X feitos a partir da década de 1920, há um trabalho de um médico brasileiro, feito nos Estados Unidos entre

radioativos, os radioisótopos. Os radioisótopos são elementos quimicamente idênticos aos seus análogos estáveis, dos quais diferem justamente em estabilidade e em peso atômico. Sua utilização é possível e pertinente devido ao fato de que se comportam da mesma forma que os elementos encontrados na natureza. Seu diferencial, porém, está na radiação emitida, podendo ser rastreados com a ajuda de métodos de detecção da radioatividade. Os radioisótopos oferecem, assim, a possibilidade de acompanhar a absorção e o trajeto de materiais em diferentes organismos (MALAVOLTA e CROCOMO, 1968, p. 59). E foi exatamente nessa chave de pesquisa que estes elementos começaram a ser utilizados na ciência. George de Hevesy é creditado como o primeiro cientista a utilizar radioisótopos em um experimento biológico (CREAGER, 2014). Seu trabalho mais influente, realizado no ano de 1922, e publicado em 1923, acompanhou a absorção do chumbo em tecidos vegetais (HEVESY, 1923). Antes disso, porém, o químico húngaro já havia estudado, juntamente com o químico Friedrich Paneth (1887-1958), o cromato e o sulfato de chumbo, a partir do uso do radiochumbo como marcador para determinar suas solubilidades.

George de Hevesy (1885-1966) nasceu em Budapeste, Hungria, no dia 1º de agosto de 1885. Estudou química e física na Universidade de Budapeste e na Universidade Técnica de Berlim e em 1908 obteve seu diploma de doutor na Universidade de Freiburg. Trabalhou como assistente no Instituto de Físico-Química da Universidade Técnica da Suíça por dois anos. Em 1910, Hevesy viajou para a Inglaterra, para trabalhar com o físico Ernest Rutherford (1871-1937), em Manchester. Nesse contexto, o químico recebeu a tarefa de separar o chumbo do “rádio D”, substância de interesse para Rutherford. Os resultados de seus experimentos foram negativos. Entretanto, esses estudos permitiram pensar que o “rádio D” seria uma ótima opção para marcar os átomos de chumbo, os quais poderiam ser detectados por aparelhos de medição radioativa. Em 1913, juntou-se com Paneth num primeiro estudo experimental utilizando um traçador radioativo, no Instituto de Pesquisa de Rádio de Viena, na Áustria:

Havia ele descoberto uma técnica para colocar marcas em certos átomos. Bastaria misturar à solução em que se encontrasse um certo elemento um isótopo radioativo deste. Esse isótopo não se distinguiria em nada do elemento, e tomaria parte em todas as combinações e reações em que este entrasse; como átomos seriam iguais, o elemento e seu isótopo, mas poderiam identificar este último facilmente como radioativo (ARGENTIÈRE, 1957, p. 84).

1921 e 1922, que segue a mesma lógica de pesquisa dos citados aqui. Falarei mais à frente do trabalho do baiano Antonio Luis Cavalcanti de Albuquerque de Barros Barreto.

Após ser convocado para a Primeira Guerra Mundial, Hevesy estabeleceu-se no Instituto Niels Bohr, em Copenhague, a partir de 1920. Trabalhou também novamente em Freiburg, na Universidade de Cornell, em Ithaca, Nova York e teve passagens por várias outras instituições (GEORGE..., n.p., c2021). As primeiras pesquisas de Hevesy, assim, abordaram o comportamento químico de sais fundidos e, a partir de seu contato com Rutherford e com outros espaços de pesquisa com radiação, Hevesy continuou trabalhando sobretudo com radioisótopos, em especial o rádio e o chumbo. Em 1923, além do seu trabalho pioneiro com o uso de radioisótopos como sinalizadores, o químico descobriu o elemento háfnio:

Naquela época, os únicos elementos radioativos de que se dispunham eram os que assim ocorriam naturalmente. Os experimentos de Hevesy (1923) foram feitos com tório B (Pb^{212} , meia vida 10,6 horas) cujo nitrato foi diluído convenientemente com nitrato de chumbo ordinário. As raízes de feijoeiro foram mergulhadas em solução de nitrato de chumbo assim marcado; a localização do chumbo foi encontrada na raiz que, em 24 horas, absorveu e fixou mais da metade do chumbo contido em 200ml duma solução de nitrato de chumbo $NX10^{-6}$ [...] concluiu daí que o elemento em questão não se combina com nenhum composto da planta, mas permanece em forma ionizável (MALAVOLTA e CROCOMO, 1968, p. 60).

Hevesy envolveu-se também com o uso de radioisótopos na clínica. Demonstrou a formação de isótopos artificialmente radioativos e introduziu um novo método de análise de ativação, baseado no bombardeio de nêutrons do elemento em questão. Esse método de trabalho serviria como um substituto para análise por raios X. Na década de 1930, muitas pesquisas em fisiologia vegetal e animal passaram a utilizar os átomos marcados. Essas pesquisas foram apoiadas por instituições como a Fundação Carlsberg, a Fundação Rask-Ørsted e a Fundação Rockefeller (GEORGE..., n.p., c2021). Em 1943, o prêmio Nobel de química foi concedido a Hevesy, “por seu trabalho sobre o uso de isótopos como traçadores no estudo de processos químicos” (PRÊMIO..., n.p., c2021). George de Hevesy recebeu seu prêmio um ano depois, em 1944. O químico húngaro faleceu em 5 de julho de 1966.

Embora as obras de Hermann Joseph Muller e de George de Hevesy sejam fundamentais para a compreensão do trabalho com radiação e do início das pesquisas com radioisótopos nesse contexto “pré-atômico”, muitos outros personagens, instrumentos, técnicas e eventos poderiam ser mencionados. Concentrei-me apenas em algumas figuras e eventos principais ilustrativos de todo esse processo. Entretanto, cabe citar aqui alguns elementos presentes ainda no período anterior ao desenrolar da Segunda Guerra Mundial, do Projeto Manhattan, das explosões nucleares e de seus desdobramentos políticos e científicos.

Em 1924, por exemplo, a técnica da radioautografia²⁷ foi demonstrada por Antoine Lacassagne e Jeane Lattès, a partir de um estudo sobre a distribuição do polônio no coelho²⁸. Essa técnica permitiu localizar os radioisótopos em tecidos ou órgãos inteiros (MALAVOLTA e CROCOMO, 1968, p. 60). Nesse mesmo ano, o médico Hermann Blumgart e sua equipe da Harvard Medical School injetaram bismuto-24 no braço de um paciente para determinar em quanto tempo o elemento radioativo demorava para atingir o outro braço. A radiação foi detectada com a utilização de uma câmara de neblina de Wilson²⁹ (CREAGER, 2014, p. 34).

Já na década de 1930, uma série de avanços ocorreria tanto no âmbito da pesquisa fundamental com radioisótopos e sua aplicação clínica, quanto em relação aos estudos físico-químicos sobre radioatividade e o desenvolvimento de outros instrumentos. Em 1934, Frédéric Joliot-Curie e Irène Joliot-Curie publicaram na revista *Nature* o artigo *Artificial Production of a New Kind of Radio-Element*, no qual anunciavam a descoberta de transmutações artificiais ocorridas de diferentes reações nucleares com partículas de bombardeio:

A transmutação das partículas-alfa de berílio, magnésio e alumínio deu origem a novos elementos de rádio que emitem pósitrons. Esses radioelementos podem ser considerados como um núcleo conhecido formado em um determinado estado de excitação; mas é muito mais provável que sejam isótopos desconhecidos, sempre instáveis. [...] Esses experimentos fornecem a primeira prova química da transmutação artificial, e a prova da captura da partícula-alfa nessas reações. Propomos para os novos elementos radioativos formados por transmutação de boro, magnésio e alumínio, os nomes radionitrogênio, radio silício, radiofósforo (JOLIOT e CURIE, 1934, p. 202).

Embora as transmutações artificiais já fossem conhecidas desde 1919, quando Rutherford observou que o nitrogênio capturava uma partícula alfa e emitia um próton, transformando-se em oxigênio (reação alfa-próton), a descoberta da radioatividade induzida artificialmente pelo casal Joliot-Curie foi importante, pois, dentre outras coisas, resolveu a dificuldade inicial de se usar apenas os isótopos ‘naturalmente’ radioativos.

²⁷ A técnica da radioautografia permite explorar processos biológicos de tecidos pelo uso da radioatividade que sensibilizam emulsões fotográficas. A técnica se assemelha ao meio pelo qual é atribuída à Becquerel a descoberta da radioatividade.

²⁸ De acordo com Malavolta e Crocomo (1968), a radioautografia só foi utilizada em plantas em 1949, quando Arnon, Stout e Sipos estudaram a localização do radiofósforo em órgãos do tomateiro.

²⁹ Método inventado pelo físico escocês Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) em 1897 para identificação de partículas subatômicas.

Além disso, ainda em 1929, o físico nuclear estadunidense Ernest Lawrence³⁰ inventou o ciclotron, um dispositivo que servia para acelerar partículas nucleares a altas velocidades sem a utilização de altas tensões. Com a possibilidade de um movimento dessa natureza, as partículas foram usadas para bombardear átomos de diversos elementos, o que causava a sua desintegração e transmutação, criando com isso novos elementos. Desta forma, vários radioisótopos foram descobertos e produzidos. Ernest Lawrence trabalhou nisso junto de seu irmão John Lawrence (1904-1991), médico pioneiro no desenvolvimento do campo da medicina nuclear, que colaborou diretamente nos estudos das aplicações médicas e biológicas a partir do ciclotron. Trabalhando também no laboratório de radiação da Universidade de Berkeley, o ‘Rad Lab’, John Lawrence começou estudando os efeitos biológicos da radiação de nêutrons produzidos no dispositivo criado por seu irmão, com o objetivo de desenvolver novas terapias contra o câncer (CREAGER, 2013).

Outras versões do ciclotron foram construídas por Ernest Lawrence posteriormente³¹, e, como mostra Creager (2013), esse acelerador foi peça central no estudo e nas aplicações dos radioisótopos até pelo menos a emergência dos reatores nucleares. Mas, além do ciclotron e outros aceleradores de partículas, aparelhos como os contadores Geiger-Muller³² e os eletroscópios foram importantes balizas no processo de consolidação das técnicas nucleares no estudo e no emprego da radiação e dos radioisótopos. Embora a produção e circulação de radioisótopos não fosse tão intensa como ocorreria a partir da Segunda Guerra Mundial e, sobretudo, no contexto pós-guerra, a partir do trabalho de Creager (2013) e da análise de algumas fontes primárias, é possível ter um panorama dos trabalhos feitos com radioisótopos (geralmente produzidos em ciclotrons) entre as décadas de 1930 e 1940.

De acordo com Creager (2014), o primeiro uso clínico de um radioisótopo artificial ocorreu no ano de 1936, quando Joseph Hamilton (1907-1957) e Robert Stone (1895-1966) administraram sódio-24 a dois pacientes com leucemia. Embora os pacientes não tivessem

³⁰ Ernest Orlando Lawrence (1901-1958) foi um físico estadunidense conhecido principalmente por sua invenção, o ciclotron. Trabalhou na Universidade da Califórnia e na Universidade de Berkeley, tornando-se diretor do laboratório de radiação (Rad Lab) dessa mesma universidade em 1936, cargo que ocupou até sua morte. Lawrence fez contribuições vitais para o desenvolvimento da bomba atômica durante a Segunda Guerra Mundial. Em 1939, ganhou o Prêmio Nobel de Física por sua invenção.

³¹ Em 1941, uma das outras versões mais potentes do ciclotron de Ernest Lawrence gerou artificialmente partículas cósmicas chamadas de mésons. O trabalho da historiadora Ana Maria Ribeiro de Andrade, ‘Físicos, mésons e política: a dinâmica da ciência na sociedade’ (1999) aborda a descoberta dos mésons- π , que teve como um dos personagens principais o físico brasileiro César Lattes (1924-2005). A partir da análise dos trâmites envolvendo físicos, espaços de pesquisa e relações diplomáticas, a autora concebe a existência de uma ‘rede de energia atômica’, na qual objetos como os próprios ciclotrons estavam presentes como parte do anseio de cientistas, políticos e agências como o CNPq pela construção de uma ciência brasileira (ANDRADE, 1999).

³² Instrumento que serve para medir radiações ionizantes, criado em 1928 pelos físicos alemães Hans Geiger (1882-1945) e Walther Müller (1905-1979).

apresentado alguma melhora, o experimento foi importante para verificar a não toxicidade do procedimento. Com isso, outros experimentos foram feitos por Joseph Hamilton, visando entender a taxa de absorção de sódio em humanos. Os testes eram feitos com um sujeito colocando a mão esquerda em um contador Geiger-Müller envolto em chumbo, enquanto sua mão direita seria utilizada para beber uma solução salina radioativa (CREAGER, 2014, p. 35). Minutos após a ingestão, o contador detectava a radiação na mão, e isso foi pensado como um indicador da absorção. Do mesmo modo, em 1935, o uso do fósforo radioativo também ilustrava a sinergia entre pesquisa biológica e os usos clínicos da radiação. Nesse ano, Otto Chiewitz e George de Hevesy demonstraram que o radiofósforo ingerido se concentrava principalmente nos ossos e, em escala menor, nos músculos dos ratos. John Lawrence acompanhou esse estudo em particular investigando o metabolismo do radiofósforo em camundongos utilizando o fósforo-32 produzido no ciclotron da Universidade de Berkeley (CREAGER, 2006b, p. 666).

Tendo também como ferramenta o fósforo-32, K. G. Scott e S. F. Cook, em São Francisco, alimentaram pintos com esse radioisótopo para averiguar se a sua localização seletiva no osso poderia torná-lo útil no tratamento de leucemia, linfoma e outras doenças das células sanguíneas. Nesse mesmo contexto, John Lawrence, em Berkeley, depois de administrar pequenas doses de radioisótopos como “marcadores” a dois grupos diferentes de ratos, descobriu que camundongos cancerígenos concentravam mais radioatividade em suas glândulas linfáticas e baços do que ratos saudáveis. Essa conclusão alimentou a esperança de que os radioisótopos pudessem ser absorvidos de modo seletivo por organismos doentes, e, portanto, que pudessem ser usados para irradiação de tumores (CREAGER, 2014, p. 37).

Detendo a capacidade produtiva de radioisótopos a partir do ciclotron de Berkeley, a maioria dos pedidos que Ernest e John Lawrence recebiam vinha de médicos que desejavam usá-los em aplicações clínicas. Além do fósforo-32, outro radioisótopo muito visado era o iodo-128 e, posteriormente, o iodo-131. O iodo-128 foi desenvolvido com a utilização de uma fonte de nêutrons de rádio-berílio, criada a partir de agulhas e placas médicas descartadas. O físico Robley D. Evans, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) foi o responsável por esse feito, e, após a realização de vários experimentos de rastreamento biológico com esse radioisótopo, juntamente com seus colaboradores da Clínica da Tireoide do Hospital Geral de Massachusetts, Saul Hertz e Arthur Roberts, publicaram um artigo em 1938 no qual foi relatada a concentração rápida e seletiva desse isótopo na tireoide de 48 coelhos que haviam recebido injeções radioativas (CREAGER, 2014). Embora de meia-vida curta (cerca de 25 minutos), esse radioisótopo poderia, na conclusão desse estudo, ter um significado clínico e

terapêutico, dado o importante poder de concentração da tireoide hiperplásica e neoplásica para o radioiodo. Pouco tempo depois, ainda em 1938, J. J. Livingood e Glenn T. Seabord, em Berkeley, anunciaram a descoberta do iodo-131, um radioisótopo mais duradouro. Com isso, o radioiodo passou a ser amplamente utilizado, como no caso do tratamento do hipertireoidismo. Entretanto, as mais importantes aplicações clínicas, tanto do fósforo-32 quanto do iodo-131, os principais radioisótopos disponíveis nesse contexto, foram para doenças não malignas, como policitemia vera³³ e hipertireoidismo, e não para a cura do câncer, como se esperava (CREAGER, 2014, p. 39).

Essa pequena incursão nas pesquisas com radioisótopos do período anterior à Segunda Guerra Mundial, ainda que não seja o foco deste trabalho, é fundamental para compreender a existência de uma continuidade de tecnologias, técnicas, usos e abordagens de pesquisas com radiação e com radioisótopos, como argumenta Angela Creager (2013). Nesse sentido, o período chamado de Era Atômica, no pós-Segunda Guerra, não pode ser visto como originário do processo deflagrado pelo conflito mundial - teria começado pelo menos na década de 1920. No âmbito das pesquisas que podem ser enquadradas como "básicas" ou mais teóricas, grandes avanços foram feitos, ainda antes de 1945, a partir do uso dos radioisótopos. No estudo do metabolismo, pesquisas sobre a absorção e excreção, a capacidade de troca das moléculas dos tecidos (chamada de *turnover*) e sobre o trajeto metabólico dos elementos e compostos no organismo passaram a dominar os laboratórios de bioquímica. Estudos de permeabilidade celular e sobre a avaliação do volume dos compartimentos líquidos do organismo foram outros temas de pesquisa desenvolvidos antes da Guerra Fria (SOUZA, 1958).

Além de George de Hevesy, outro nome fundamental para a pesquisa com radioisótopos em bioquímica foi o do bioquímico alemão/americano Rudolf Schoenheimer (1898-1941), que, junto de seus colaboradores, fez algumas das principais descobertas no âmbito da bioquímica entre 1930 e 1940. Schoenheimer ficou conhecido por ter desenvolvido a técnica de marcação de isótopos de biomoléculas, o que permitiu esses novos estudos do metabolismo mencionados acima. Em 1933, o bioquímico emigrou da Alemanha para os Estados Unidos devido à ascensão do Partido Nazista ao poder. Nos EUA, Schoenheimer trabalhou com David Rittenberg (1906-1970) no laboratório de radioquímica de Harold Urey (1893-1981) e posteriormente com Konrad Bloch (1912-2000), todos cientistas que estavam

³³ 'Doença do sangue', caracterizada por uma expansão clonal de células hematopoiéticas pluripotentes e proliferações desreguladas de células sanguíneas de outras linhagens (granulocítica, megacariocítica, eritrocítica).

aplicando radioisótopos em suas pesquisas. A obra de Schoenheimer e de seus colaboradores estabeleceu, sobretudo, que todos os constituintes de um organismo estão em constante estado de renovação química e molecular.

É impossível dar conta da pesquisa desenvolvida com radioisótopos em todos os países nos quais se existia atividade científica nesse período. Nesse sentido, o objetivo aqui foi apenas citar algumas dessas pesquisas, sobretudo aquelas desenvolvidas nos Estados Unidos. A razão de circunscrever esta exposição quase que totalmente aos EUA, ao menos nesse trecho da pesquisa, não se deve só ao fato da influência global das pesquisas estadunidenses no âmbito dos radioisótopos, e do desenvolvimento naquele país de instrumentos como os cíclotrons e outros aceleradores de partículas. Pois, além dos EUA terem um papel central nesse processo, e na relação posterior estabelecida com cientistas brasileiros, o exame historiográfico mais completo do tema foi realizado pela historiadora estadunidense Angela Creager, em seus vários trabalhos (2006a, 2006b, 2013, 2014), sendo assim a principal referência disponível na história dos radioisótopos e no seu desenvolvimento como ferramenta de pesquisa na bioquímica, medicina e ecologia.

Por fim, embora as pesquisas realizadas entre 1920 e 1940 tenham estabelecido muito dos fundamentos para o trabalho posterior com os radioisótopos, constituindo sua função como ferramenta útil para marcar, medir e seguir moléculas e organismos, e sendo base para seus usos posteriores no pós-guerra, uma diferença marcante ocorreu após o fim da Segunda Guerra Mundial. Em termos de escala, com a ampla distribuição de radioisótopos e a criação de agências voltadas para pensar, controlar ou promover os usos da radiação e da energia nuclear, novos horizontes foram abertos em diferentes linhas da pesquisa biológica, assim como na medicina. Nesse sentido, as bombas nucleares que atingiram violentamente Hiroshima e Nagasaki, no Japão, trouxeram consigo novos recursos para a pesquisa científica, enquanto todos os olhares estavam voltados para a questão nuclear.

1.2.2. “Aberto um campo inteiramente novo de investigações científicas”: o Projeto Manhattan e as explosões nucleares

Em 2 de agosto de 1939, uma carta redigida pelo físico nuclear húngaro Leo Szilárd e assinada pelo físico Albert Einstein foi endereçada ao presidente dos Estados Unidos, Franklin Roosevelt (ANDRADE, 2006). A carta alertava sobre a possibilidade de a Alemanha nazista dominar a técnica da recém-descoberta fissão nuclear e desenvolver bombas atômicas, dado que a reação em cadeia, necessária para a produção dessa fissão, já havia sido

comprovada pelo grupo do físico italiano Enrico Fermi, da Universidade de Chicago, e era de conhecimento de todos.

Enquanto se iniciava a Segunda Guerra Mundial, em setembro de 1939, com a invasão dos nazistas à Polônia, a equipe do físico Ernest Lawrence mobilizou seus esforços científicos em favor da guerra anunciando um plano para construção de seu maior ciclotron até aquele momento, de 100 milhões de elétron-volts (CREAGER, 2013, p. 50). A nova máquina de Lawrence iria permitir a descoberta de novos radioisótopos, sobretudo aqueles gerados por fissão de urânio. Nesse mesmo contexto, Ernest Lawrence ainda recebeu seu prêmio Nobel de física e mais 1.150.000 dólares da Fundação Rockefeller. Em colaboração com outros grupos de cientistas de Columbia e Chicago, que também estavam explorando as aplicações militares da fissão atômica, o 'Rad Lab' de Berkeley iniciou estudos sobre as propriedades do urânio e do plutônio.

Durante os primeiros anos da Segunda Guerra Mundial, cientistas norte-americanos se juntaram a cientistas canadenses, ingleses, franceses e refugiados da Alemanha para trabalhar no secreto *Manhattan Engineer District*, o Projeto Manhattan. Além de desenvolver métodos para o enriquecimento de urânio e de outros minerais nucleares, o que já estava sendo estudado por diferentes grupos nos EUA, o Projeto Manhattan tinha como objetivo principal a construção das primeiras bombas atômicas. A aproximação, nesse sentido, entre objetivos militares e grupos de cientistas que já se dedicavam ao estudo da radiação e da energia nuclear, gerou uma série de novos elementos. No caso do Rad Lab, lar dos ciclotrons, esse trabalho conjunto aprimorou largamente os recursos disponíveis. O que começou como uma colaboração informal entre o laboratório de Lawrence e o governo, foi formalizado em 16 de junho de 1941 pelo Comitê de Pesquisa em Defesa Nacional, visando a produção de elementos pelos ciclotrons para outros laboratórios militares. A produção de plutônio no Rad Lab foi importante, nesse sentido, para os primeiros trabalhos científicos do Projeto Manhattan (CREAGER, 2013, p. 53).

O Manhattan Engineer District foi estabelecido no dia 13 de agosto de 1942, na cidade de Nova York. Pouco tempo depois, no dia 17 de setembro, o exército dos EUA nomeou o coronel (depois promovido a general) Leslie R. Groves para chefiar o projeto. Em dezembro do mesmo ano, o primeiro reator nuclear artificial, batizado de Chicago Pile-1, foi construído na Universidade de Chicago por uma equipe liderada pelo físico Enrico Fermi³⁴. Trabalhando durante 1 mês no estádio de esportes da universidade, uma armação de madeira foi construída,

³⁴ O Chicago Pile-1 atingiu sua criticalidade em 2 de dezembro de 1942.

contendo no seu interior pilhas de tijolos de grafite, em camadas superpostas. Nos blocos, foram abertos orifícios que receberam vinte mil cilindros curtos de urânio metálico e óxido de urânio. O experimento liderado pela equipe de Fermi conseguiu, pela primeira vez, realizar a liberação e o controle da energia contida no núcleo do átomo (LEÃO, 1997). Os reatores nucleares, construídos nesse contexto, substituiriam, sobretudo após o término da Segunda Guerra Mundial, a produção de radioisótopos feita nos ciclotrons, contribuindo para a modificação da escala de produção.

Em 1943, o Projeto Manhattan desenvolveu outros reatores e contratou a Universidade da Califórnia para administrar o Laboratório de Los Alamos, no Novo México, que teve como diretor científico o físico teórico Robert Oppenheimer (1904-1967). Em pouco tempo um outro contrato alistou o Rad Lab de Berkeley como uma das instalações centrais do Manhattan Engineer District (CREAGER, 2013). Além de físicos e químicos, o projeto mobilizou médicos e biólogos, como foi o caso de Joseph Hamilton³⁵, que começou seu trabalho investigando o metabolismo e os efeitos biológicos do plutônio e outros produtos de fissão em animais experimentais, com o objetivo de estabelecer os ‘perigos ocupacionais’ para os funcionários do Projeto Manhattan (CREAGER, 2013, p. 53). Estima-se que o projeto tenha empregado ao todo mais de 13 mil pessoas, muitas das quais, trabalhadores que tinham um contato próximo com os materiais radioativos.

O Projeto Manhattan durou até o ano de 1946, quando foi “convertido” na Atomic Energy Commission (USAEC) dos EUA³⁶. Ao longo desses anos, o projeto também absorveu o Tube Alloys, programa de pesquisa e desenvolvimento britânico com apoio do Canadá que tinha o mesmo objetivo de construir armas nucleares. Os cerca de 2 bilhões de dólares gastos com o Projeto Manhattan, entretanto, não foram destinados apenas para a construção das bombas. A maior parte da verba serviu para a construção de fábricas de produção de materiais físséis e, é claro, grande parte também se destinou à pesquisa científica e tecnológica. Compreender o tamanho do Projeto Manhattan, nesse sentido, é importante para entender por que seu impacto posterior, em termos infra estruturais, nas ciências, foi tão significativo, como argumenta Creager (2013). Além do desenvolvimento das duas bombas durante a

³⁵ De acordo com Creager (2013), além do interesse em investigar os riscos ocupacionais para os trabalhadores do Projeto Manhattan, Joseph Hamilton também possuía interesse no uso de produtos de fissão para a guerra radiológica. Pesquisas utilizando plutônio em cobaias humanas também foram feitas e aprovadas pela liderança do Projeto Manhattan. A premissa era de que o plutônio, assim como o rádio, era um bom candidato a causar câncer. Para mais informações sobre a experimentação humana com plutônio ver WELSOME, Eileen. *The Plutonium Files: America's Secret Medical Experiments in the Cold War*. The Dial Press: Nova York, 1999.

³⁶ Falarei sobre isso no próximo subtópico.

guerra, a batizada de *Little Boy*³⁷, uma arma nuclear de fissão feita a partir de urânio-235, e a chamada de *Fat Man*, arma nuclear de implosão, o programa também estabeleceu trabalhos de caráter secreto investigando projetos nucleares como o da Alemanha nazista, e depois do fim da guerra ainda desenvolveu outras armas, testes³⁸ e a promoção de laboratórios nacionais.

A primeira bomba nuclear da história, uma bomba de implosão, foi detonada com sucesso no teste ‘Trinity’, ocorrido em Alamogordo, no Novo México, no dia 16 de julho de 1945. Pouco tempo depois, em 6 de agosto, o avião de bombardeio B-29 batizado de *Enola Gay* lançou a bomba Little Boy sobre a cidade de Hiroshima, no Japão, e três dias depois, o B-29 *Bockscar* lançou a arma nuclear Fat Man, devastando a cidade de Nagasaki³⁹. Esses eventos resultaram não só na destruição total dessas cidades, deixando aproximadamente 80 mil mortes imediatas em Hiroshima e 40 mil em Nagasaki, como também na rendição forçada do Japão aos Estados Unidos. As bombas nucleares, nesse sentido, foram emblemáticas por sinalizar o fim da Segunda Guerra Mundial⁴⁰ e o início da chamada ‘Era Atômica’ e da Guerra Fria, além de evidenciar a contribuição da atividade científica em todo esse processo.

No Brasil, um ano antes das explosões nucleares estadunidenses de 1945, uma série de notícias foi veiculada anunciando a “Atomb – nova arma de Hitler”, “uma bomba atômica de terríveis efeitos” (O JORNAL, 1944, s.p.). Vários jornais, como *O Jornal* (RJ), *A Noite* (RJ), *Correio da Manhã* (RJ), *Jornal do Brasil* (RJ) e *Correio Paulistano* (SP), a partir de informações oriundas de Estocolmo enviadas pelo correspondente especial Ralph Hew do “Daily Mail” da Reuters, noticiaram o que seria a bomba atômica alemã, chamada também de “V-3”. As notícias ponderavam, entretanto, o verdadeiro poder da suposta bomba:

Os efeitos da bomba-atômica são considerados como notáveis, mas estritamente limitados – o que significa em linguagem corrente que a desintegração dos átomos esmorece depois do choque. Muitas informações indicam que as pesquisas sobre a bomba-atômica estão sendo realizadas no norte da Alemanha e principalmente nas áreas costeiras e na ilha de

³⁷ A maior parte do trabalho de enriquecimento do urânio (eletromagnético, gasoso e térmico) foi feito pelo Laboratório de Oak Ridge, no Tennessee, peça central para o desenvolvimento dos estudos com radioisótopos no pós-guerra.

³⁸ Um exemplo disso é a Operação Crossroads, uma série de dois testes nucleares (atmosférico e aquático) realizados no verão de 1946, com o objetivo de testar possíveis danos a navios bombardeados por armas atômicas.

³⁹ O primeiro alvo dessa bomba era a cidade de Kokura, mas devido às condições climáticas a bomba foi lançada em Nagasaki.

⁴⁰ Nas demarcações da historiografia mais tradicional sobre o tema (HOBSBAWM, 1995; MAZOWER, 2001), para além dos bombardeios em Hiroshima e Nagasaki, a derrota do Eixo (Itália, Japão e Alemanha) e vitória dos Aliados (Grã-Bretanha, França, EUA e URSS) é marcada pelas batalhas de Stalingrado, Kursk e Berlim.

Mecklenburg. Acredita-se que importantes desastres já foram provocados pelas referidas bombas, que mataram centenas de operários (*O JORNAL*, 1944, s.p.).

A bomba alemã era vista como o último recurso dos nazistas antes da iminente derrota. A mesma notícia reproduzida pelos jornais brasileiros também expunha a opinião de um “conhecido cientista” britânico sobre a *Atomb*, sem mencionar seu nome:

‘Li o que disse um observador neutro sobre os característicos dessa bomba’ – declarou o cientista – ‘a sua descrição do dano causado em uma experiência. E o que li carece de qualquer sentido comum e de tudo isso não creio em uma única palavra. Não quero dizer que não acredito na possibilidade da bomba descrita nas informações publicadas aqui, mas porque sou cético’. O trabalho desse conhecido cientista é conhecido em todo o mundo (*JORNAL DO BRASIL*, 1944, p. 7).

É possível perceber, nessas notícias, o imaginário existente sobre a bomba, que embora parecesse ser algo distante, estava mais perto do que se imaginava, e não seria lançada pela Alemanha. Quase um ano depois dessas notícias, os jornais brasileiros noticiaram, no dia 7 de agosto, ou seja, entre as duas explosões nucleares, o bombardeio atômico em curso. “‘Bomba atômica’, a mais poderosa do mundo, está sendo empregada contra o território japonês. Sensacional revelação de Truman...Encurtará a guerra com o inimigo amarelo”, era a manchete do *Correio Paulistano* (*CORREIO PAULISTANO*, 1945, p. 1). O *Jornal do Brasil*, por sua vez, conectou diretamente a notícia da primeira explosão, em Hiroshima, não com o terror causado, mas com o seu potencial para a ciência, num movimento de representar o horror nuclear em termos de possibilidades de uso pacífico da energia empregada. Não é pouco significativo, nesse sentido, a escolha pela frase em letras garrafais da manchete “aberto um campo inteiramente novo de investigações científicas”, tanto na primeira página do jornal, quanto depois, na notícia de uma página inteira:

ABERTO UM CAMPO INTEIRAMENTE NOVO DE INVESTIGAÇÕES CIENTÍFICAS. A mais terrível força destruidora já dominada pelo homem – a energia atômica – está sendo lançada contra o Japão pelos bombardeios norte-americanos – A nova bomba que retira sua energia da mesma fonte do sol, tem uma força explosiva duas mil vezes superior às “arrasa-quarteirão” dos britânicos. A existência dessa nova e poderosa arma foi anunciada pessoalmente pelo Presidente Truman – O governo dos EUA já estabeleceu um sistema para promover o emprego do princípio da desintegração atômica para os propósitos construtivos de paz (*JORNAL DO BRASIL*, 1945, p. 7).

É interessante como, numa notícia sobre a explosão nuclear estadunidense em

Hiroshima, o *Jornal do Brasil* escolheu, ainda na manchete e na chamada principal, falar de ciência e de paz. Outros jornais brasileiros, como *O Jornal* (RJ) e o *Correio da Manhã* (RJ), em suas notícias do dia 7 de agosto, também ressaltaram não exatamente o morticínio atômico, mas sim o feito tecnológico dos estadunidenses. “Fantástico engenho de destruição”, era a manchete no *Correio da Manhã* (CORREIO DA MANHÃ, 1945, p. 1), enquanto *O Jornal* mencionava em sua chamada a “prodigiosa realização da técnica norte-americana” (O JORNAL, 1945, p. 1). Essas notícias, além de demonstrarem o alinhamento brasileiro com a política externa do governo dos Estados Unidos, também são muito significativas de como as bombas atômicas foram representadas a partir do viés do científico e do técnico desde as primeiras notícias sobre as explosões. É interessante poder verificar, também, a partir dos jornais brasileiros, não só a influência imediata das estratégias diplomáticas norte-americanas no Brasil, mas também a sua rapidez.

Esse recurso de falar em usos pacíficos da energia atômica enquanto nuvens radioativas em formato de cogumelo ainda não tinham sequer arrefecido, é muito sintomático de como, nos próximos anos, as relações Brasil-Estados Unidos se dariam, no âmbito da ciência e da questão nuclear. Por outro lado, como demonstra Jayme Ribeiro (2008), no início da década de 1950, os militantes comunistas brasileiros estabeleceram uma grande campanha pela paz e contra as armas atômicas. Utilizando uma série de fontes, tal como a própria imprensa nacional, mas também dados científicos e depoimentos de sobreviventes, os comunistas promoveram palestras, comícios e panfletos buscando alertar para as consequências de uma guerra nuclear. “Em um panfleto intitulado, “Já pensou bem o que significa uma guerra atômica? Então medite no seguinte”, procuravam esclarecer o poder de destruição da bomba atômica, comparando as cidades japonesas [...] com cidades brasileiras” (RIBEIRO, 2008, p. 268). As diferentes representações e posições a respeito das bombas atômicas não poderão ser devidamente exploradas nesta pesquisa. Entretanto, apontar o seu impacto, na ciência, política e relações internacionais, é importante para compreender o fazer científico no pós-guerra.

Como atesta Naomi Oreskes (2014), a historiografia em geral considera, sem grandes ressalvas, que de fato houve impacto da ciência nas guerras e, em especial, no desfecho da Segunda Guerra Mundial e início da Guerra Fria. O contrário também ocorreu, ou seja, a Segunda Guerra Mundial, tal como a Primeira Grande Guerra ou as guerras de um modo geral, foram um “grande mecanismo para acelerar o progresso técnico, ‘carregando’ os custos de desenvolvimento de inovações tecnológicas que [...] não teriam sido empreendidos por ninguém que fizesse cálculos de custo-benefício em tempo de paz” (HOBSBAWM, 1995, p.

44). Embora Oreskes (2014) considere que exista menor atenção da historiografia para esse movimento contrário, ou seja, de como, por exemplo, a Guerra Fria impactou empreendimentos científicos – ainda que essa agenda de pesquisas agora já esteja muito mais robusta (KRIGE, 2006; CREAGER, 2013; ORESKES, 2014) -, é possível evidenciar com clareza a influência de todo esse contexto beligerante nas agendas da ciência e da política. O caso mais exemplar disso é o estudado por Angela Creager (2013), e que aqui nos serve de base para pensar nos desdobramentos disso no Brasil.

Se até a efetivação do Projeto Manhattan e de seus produtos, eram os irmãos Lawrence em Berkeley, e, em especial, Ernest Lawrence, que forneciam radioisótopos produzidos por seus cíclotrons, constituindo uma rede de circulação dessas novas ferramentas de pesquisa ainda bastante circunscrita aos EUA e a alguns grupos de pesquisa na Europa, a militarização da energia atômica na década de 1940 colocou o governo dos Estados Unidos como produtor e regulador desse processo. Os trabalhos com radiação, energia nuclear e radioisótopos assumiram, nesse sentido, uma nova dimensão, com outras linhas de pesquisa que exploravam mais o uso de produtos de fissão nuclear, seja para a guerra radiológica ou em experimentos com elementos rastreadores, o que implicou em uma disponibilidade muito maior de radioisótopos. Ainda durante a guerra, os líderes do Projeto Manhattan lançaram as bases para a produção em massa de radioisótopos. A construção, por parte do exército estadunidense, do reator nuclear de Oak Ridge, no Tennessee, visto como uma planta piloto para outros reatores produtores de plutônio como o de Hanford, foi um exemplo disso. Com o término da Segunda Guerra Mundial, muitos cientistas defenderam Oak Ridge como um lugar para a produção de radioisótopos para usuários externos com o objetivo de beneficiar a ciência feita por civis e justificar a existência desse laboratório nacional (CREAGER, 2013, p. 61).

Figura 5: Reatores nucleares construídos até o ano de 1949, em ordem cronológica. Tabela retirada do livro 'Átomos para a Paz', publicação de 1957 da coleção Ciência e Divulgação das Edições "PINCAR", de São Paulo. O livro, assinado por R. Argentière, de mesmo nome do programa do presidente estadunidense Dwight Eisenhower, é uma tentativa de divulgar os usos pacíficos da energia nuclear.

REATORES CONSTRUIDOS ATÉ 1949

Local	Designação	Data	Combustível	Neutrons (fluxo em $n/cm^2/seg$)	Potência	Moderador
Chicago	CP — 1	2-12-42	46 t U natural	4×10^6	100 w	grafita
Chicago	CP — 2	1943	52 t U natural	1×10^8	2 kw	grafita
Oak Ridge	X — 10	1943	35 t U natural	5×10^{11}	3 800 kw	grafita
Argone	CP — 3	1944	3 t U natural	5×10^{11}	300 kw	D ₂ O
Los Alamos	LOPO	1944	0,5 kg U enriquecido		< 1 w	H ₂ O
Los Alamos	HYPO	1944	0,8 kg U enriquecido	1×10^{11}	6 kw	H ₂ O
Hanford	3 pilhas	1944-45	Urânio natural		~ 1 000 mw	grafita
Los Alamos	Los Alamos Fast Reactor	1945	Plutônio	5×10^{12}	10 kw	
Chalk River	Zeep	1945	Urânio natural	$5,7 \times 10^{18}$	3,5 w	D ₂ O
Harwell	GLEEP	1947	33 t U natural	3×10^{10}	100 kw	grafita — D ₂ O
Chalk River	NRX	1947	10 t U natural	2×10^{18}	30 000 kw	D ₂ O
Harwell	BEPO	1948	40 t U natural	10^{12}	4 mw	grafita — D ₂ O
Chatillon	ZOÉ	1948	30 t U natural	$2-3 \times 10^{10}$	50 kw	D ₂ O
URSS	HWRR	1949	U natural	2×10^{12}	0,5 mw	D ₂ O

28

R. ARGENTIÈRE

In: ARGENTIÈRE, R. **Átomos para Paz**. São Paulo: Edições PINCAR, 1957, p. 28.

Figura 6: Reatores nucleares de pesquisa de 1950 a 1957 e seus diferentes locais e países, tipos, potências, combustíveis e finalidades. É interessante comparar as duas tabelas (Figura 4 e 5) para ver o rápido aumento da quantidade de novas instalações com reatores nucleares e averiguar a mudança de foco para os usos pacíficos a partir dos anos 1950. Na Figura 4 é possível ver que vários dos reatores listados foram utilizados para a construção da bomba atômica (como os de Chicago, Oak Ridge, Hanford e Los Alamos, por exemplo).

OS REATORES NUCLEARES DE				PESQUISA DE 1950 a 1957			
Local	Designação	Tipo de Reator	Potência	Neutrons (Fluxo em n/cm ² /seg)	Combustível	Moderador	Finalidades
Brookhaven	BNL	Heterogêneo	28 mw	4×10^{12}	60 t U natural metálico	Grafita	Pesquisa. Prod. de isótopos
Argonne	CP — 3	Heterogêneo	300 kw	2×10^{12}	4 kg U enriquecido	D ₂ O	Pesquisa
Kjeller	JEEP	Heterogêneo	100 kw	$> 3 \times 10^{11}$	2,2 t U natural	D ₂ O	Pesquisa. Prod. de isótopos
Estocolmo	SLEEP	Heterogêneo	~ 100 kw	$\leq 1-2 \times 10^{12}$	U natural	D ₂ O	Pesquisa. Prod. de isótopos
Saclay	p ²	Heterogêneo	1 000 kw	4×10^{12}	3 t U natural	D ₂ O	Pesquisa. Prod. de isótopos
Los Alamos	SUPO	Água fervente	45 kw	3×10^{12}	0,8 kg U enriquecido	H ₂ O	Pesquisa
Argonne	CP — 5	Heterogêneo	1 000 kw	3×10^{13}	1,2 kg U enriquecido	D ₂ O	Pesquisa
Raleigh	NCSR	Homogêneo	10 kw	5×10^{11}	1 kg U enriquecido	H ₂ O	Pesquisa
Arco	MTR	Material testing reactor (MTR)	30 mw	$> 4 \times 10^{14}$	4 kg U enriquecido	H ₂ O	Estudo de materiais
Oak Ridge	LITR	Tipo MTR	2 000 kw	—	3 kg U enriquecido	H ₂ O	Est. de fluxo de neutrons
Oak Ridge	ORR	Tipo MTR	5 000 kw	—	—	—	—
Oak Ridge	HRE — 1	Homogêneo	1 000 kw	10^{14}	2,5 kg U enriquecido	H ₂ O	Pesquisa
Oak Ridge	BSF	Tipo MTR	100 kw	—	—	—	—
USA	NAA	Homogêneo	160 kw	1×10^{12}	3,2 kg U enriquecido	Grafita	Estudo de propulsão
Oak Ridge	HRE — 2	Homogêneo	—	—	—	—	—
Arco	ETR	Tipo MTR	175 mw	4×10^{14}	~ 14,1 kg U enriquecido	H ₂ O — ar	Testes de radiação
Argonne	Argonaut	Tipo MTR	10 kw	10^{11}	3,7 kg U enriquecido	H ₂ O — grafita	Treinamento universitário
USA	ACFI	Piscina — 3 tipos	5 000 kw	2×10^{13}	2,0-2,5 U ²³⁵	D ₂ O	Pesquisa
USA	AGN	Piscina — 4 tipos	10 000 kw	5×10^{13}	4 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	AS	Piscina — 6 tipos	40 000 kw	3×10^{13}	1,7 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	AMFAI	Open pool — 11 tipos	1 000 kw	$2,1 \times 10^{13}$	2,7 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	BGW	Swimming pool (piscina) 3 tipos	5 000 kw	4×10^{13}	3,4 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	BAC	Piscina — 2 tipos	1 000-10 000 kw	$\sim 10^{13}$	~ 3,65 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	DI	Piscina — 2 tipos	1 000 kw	$10^{10} — 10^{11}$	2,5 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	FWC	Piscina	5 000 kw	$1,3 \times 10^{13}$	3,5 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	GA	Homogêneo	Vários	$> 10^{13}$	$< 1,5$ kg U ²³⁵	H ₂ O - mat. sólidos	Pesquisa
USA	GEC	Open pool — 5 tipos	1 000 kw	8×10^{12}	3 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	WEC	Piscina	20 000 kw	$5,2 \times 10^{13}$	8 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
URSS	RPT	Piscina	10 mw	8×10^{13}	U enriquecido	H ₂ O	Pesquisa
URSS	RFT	Piscina	0,3 mw	2×10^{12}	U enriquecido	H ₂ O	Prod. de isótopos, pes. física
URSS	TRR	Piscina	2 mw	2×10^{13}	4,5 kg U ²³⁵	H ₂ O	Pesquisa
USA	MITR	Piscina	1 mw	10^{13}	—	D ₂ O	Pesquisa

In: ARGENTIÈRE, R. *Átomos para Paz*. São Paulo: Edições PINCAR, 1957, p. 32-33.

1.2.3 Políticas do átomo: a energia nuclear no pós-guerra e as novas agências

A fonte aparentemente inesgotável de energia contida no núcleo do átomo obrigou cientistas e políticos a refletirem sobre as implicações da energia atômica, seja no nível microscópico da pesquisa científica, seja nas relações diplomáticas e nos debates globais sobre as possibilidades de um holocausto nuclear. No final da guerra, mais de doze instalações diferentes entre fábricas e laboratórios haviam sido construídas pelo Projeto Manhattan nos EUA. A partir do planejamento da energia nuclear norte-americana do pós-guerra, essa infraestrutura foi convertida. O reator de Oak Ridge, Tennessee, que fez parte do processo de construção das bombas, tornou-se um local para a produção de radioisótopos para fins civis. Isso foi estabelecido a partir da ‘transformação’ do Manhattan Engineer District em USAEC, uma agência civil encarregada de continuar a produção de armas atômicas nos EUA

enquanto desenvolvia os usos pacíficos da energia atômica, criada em 1 de agosto de 1946 (CREAGER, 2013).

A comissão norte-americana foi criada no mesmo ano de criação da Comissão de Energia Atômica da Organização das Nações Unidas (AEC-ONU), organização que, por sua vez, havia sido fundada um ano antes, em 24 de outubro de 1945. Nessa outra comissão, os interesses norte-americanos, bem como a posição ocupada pelo Brasil, como grande reservatório de minerais radioativos, marcaram uma série de tensões diplomáticas, acordos e tratados no debate sobre a questão nuclear. Alguns anos antes, em 1940, os dois países já haviam iniciado um Programa de Cooperação para Prospecção de Recursos Minerais, que dava informações privilegiadas aos EUA a respeito das reservas brasileiras de areias monazíticas⁴¹. Outros acordos firmados ainda na década de 1940 foram o Acordo Relativo ao Fornecimento Recíproco de Materiais de Defesa e Informações sobre Defesa, que assegurava a exportação dos minérios nucleares brasileiros para os EUA, e o 1º Acordo Atômico Brasil-Estados Unidos, que, sendo um acordo secreto, afirmava o comprometimento do Brasil em vender apenas aos EUA a quantidade de 5 mil toneladas por ano de monazita, durante três anos (ANDRADE, 2006, p. 18). A natureza, os detalhes e os desdobramentos desses tratados foram analisados criticamente pelo escritor e jornalista Olympio Guilherme alguns anos depois no livro “O Brasil e a Era Atômica: livro negro dos acordos de minerais atômicos firmados entre o Brasil e os Estados Unidos”, lançado em 1957 pelo Editorial Vitória⁴²

A flagrante violação de nossa Carta Constitucional e a entrega gratuita, àquela mesma potência, de nossas reduzidas reservas de minerais atômicos, foram atitudes apontadas como atos de sadio patriotismo e de alta clareza política [...] A solução do nosso problema energético [...] repousa no petróleo e no átomo. Iludem-se, entretanto, os que acreditam na vitória completa do Brasil, no caso dos minerais atômicos, graças à recente resolução governamental, definidora de nossa política nuclear (GUILHERME, 1957, p.13).

Da posição de simples fornecedor de monazita, o Brasil buscou, na década de 1950,

⁴¹ Fosfato de terras-raras que contém quantidades de urânio e tório.

⁴² O Editorial Vitória foi uma editora criada em 1944 e que em pouco tempo se tornou a principal editora do Partido Comunista Brasileiro (PCB), especializada na publicação de autores comunistas, teorias marxistas e na edição brasileira de escritos soviéticos sobre vários temas, dentre eles a ciência, como o livro “Da Terra à Luz: documentos soviéticos”, de 1960, que apresentava documentos relativos ao lançamento dos segundo e terceiro foguetes cósmicos da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), ou então “A Herança e sua variabilidade” com traduções dos escritos do polêmico geneticista Trofim Denisovich Lysenko, com um anexo sobre o tema da biologia na URSS. No livro de Olympio Guilherme, os editores trataram do autor como “apolítico por temperamento”, “não se filia a nenhuma corrente partidária, o que explica sua completa isenção de ânimo ao examinar os elementos da história da energia atômica no Brasil” (GUILHERME, 1957).

estabelecer políticas visando adquirir tecnologias nucleares. Álvaro Alberto da Motta e Silva, representante do Brasil na AEC, embora inicialmente fosse favorável ao chamado Plano Baruch⁴³, proposta do chefe da delegação norte-americana da comissão, Bernard Baruch, que tinha como objetivo a gestão internacional das reservas de urânio e tório, passou a defender uma política de “compensações específicas” (ANDRADE, 2006). Nessa proposta, a exigência brasileira era de que cada remessa de minerais fosse correspondida com uma transferência de tecnologia para o desenvolvimento do embrionário programa nuclear no país (PATTI, 2014a). Em pouco tempo, Álvaro Alberto reconheceu que o Plano Baruch significaria uma restrição à soberania nacional. As propostas norte-americanas provocaram reações de desconfiança de outros países pela nítida intenção dos EUA em assegurar o seu monopólio nuclear. Mas o monopólio norte-americano logo terminou, com o desenvolvimento de uma série de testes nucleares soviéticos a partir de 1949. Esse acirramento levou à revisão da Lei MacMahon, de 1946, que buscava proteger os interesses comerciais dos EUA ligados à energia nuclear, e acabou estimulando outros países a investirem em pesquisas e nos seus programas de energia nuclear. Como resposta à perda de monopólio, durante o governo do presidente Dwight Eisenhower, dois eventos modificaram a relação dos EUA com outros países nas dinâmicas das políticas nucleares: o discurso de Eisenhower na Assembleia Geral da ONU em 08 de dezembro de 1953, lançando o programa “Átomos para a Paz” e a revisão da Lei MacMahon em fevereiro de 1954, que visava facilitar o intercâmbio científico e a cooperação entre países para o uso pacífico da energia nuclear.

O programa Átomos para a Paz evidenciou, mais uma vez, a figura dos cientistas no contexto da Guerra Fria, promovendo convênios entre cientistas e institutos, bolsas de pesquisa, financiamento e montagem de laboratórios e promoção de exposições sobre os usos pacíficos da energia nuclear (KRIGE, 2006). A América Latina foi o principal alvo do programa de Eisenhower, que tinha como objetivo “criar aliados políticos, aliviar os medos da energia atômica mortal, promover atitudes receptivas em relação às tecnologias nucleares, controlar e evitar o desenvolvimento de armas nucleares fora dos Estados Unidos e abrir ou redirecionar mercados para a nova indústria nuclear” (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016a, p. 1). O Brasil, juntamente da Argentina e do México, pertenceu ao grupo de países que foram

⁴³ A proposta de Baruch tinha como base o relatório Acheson-Lilienthal, elaborado pelo subsecretário do Departamento de Estado, Dean Acheson, e David Lilienthal, presidente da USAEC. O relatório advogava a instituição de uma “Autoridade de Desenvolvimento Atômico”, com o objetivo de controlar atividades relacionadas à prospecção, mineração, operação de reatores para produção de plutônio e pesquisa e desenvolvimento de explosivos nucleares (ANDRADE, 2006a).

mais agraciados pelo programa. O desenvolvimento dos estudos da energia atômica para fins pacíficos foi reinterpretado de diferentes formas na América Latina. O programa culminou em distintos resultados em cada país, de acordo com as expectativas políticas, econômicas e científicas dos atores envolvidos. “Proporcionou, portanto, uma oportunidade para criar elites científicas e infraestruturas locais” (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016a, p. 2).

Como já abordado neste texto, as pesquisas com radioisótopos iniciadas na década de 1920, sofreram grandes transformações com a emergência da USAEC, a partir de 1946, e das dinâmicas geopolíticas da Guerra Fria. A USAEC aumentou de maneira significativa o consumo e a circulação de radioisótopos nos EUA e nas nações aliadas, “subsidiando os custos de produção, fornecendo treinamento técnico e incentivando a participação industrial” (CREAGER, 2014, p. 32). As prioridades surgidas com a Guerra Fria, nesse sentido, expandiram trajetórias e intenções de pesquisas que já existiam, além de fomentarem uma nova organização no campo da biologia.

Do início da atuação da USAEC, em 1946, até o ano de 1955, 64.000 remessas de materiais radioativos foram enviadas de Oak Ridge para mais de 2.400 laboratórios, empresas e hospitais (CREAGER, 2013). No Brasil, embora a circulação de radioisótopos não possa ser atribuída exclusivamente ao programa Átomos para a Paz, as novas estratégias norte-americanas tiveram grande impacto na distribuição e aplicação desses elementos, culminando não só na criação de institutos de pesquisa, de exposições públicas sobre energia atômica e no apoio à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), criada em 1956, mas também incentivando direta ou indiretamente o estudo geral dos radioisótopos e sua divulgação através de cursos, ou a sua aplicação industrial e científica em diversas agendas de pesquisa.

Os primórdios de um interesse brasileiro pela questão dos minerais radioativos datam de 1934, com a criação do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), mesmo ano de criação da Universidade de São Paulo e de seu departamento de física. Ao longo da década de 1940, o Brasil estabeleceu uma série de acordos bilaterais com os Estados Unidos, mencionados mais acima, para prospecção de recursos minerais radioativos e vendas de monazita. Em 1947, o almirante Álvaro Alberto elaborou um documento com 10 pontos para a criação de um programa nuclear brasileiro (PATTI, 2014a). Em 1951, é criado o Conselho Nacional de Pesquisas (atual CNPq) e, dois anos depois, a Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (atual CAPES), uma articulação entre Álvaro Alberto e os governos Dutra (1946-1951) e Vargas (1951). A criação desses órgãos tinha como objetivo a profissionalização das carreiras científica e tecnológica no Brasil, bem como o financiamento de atividades e projetos de pesquisa.

Aos poucos, o CNPq passou a ser um lugar de tensões e disputas. Responsável tanto pelo setor nuclear quanto pela ciência, o órgão tendia mais para um lado do que para o outro. Dentro do CNPq, foi criada a Comissão de Energia Atômica, extinta com o surgimento posterior da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em 1956.

Em janeiro de 1956, a confluência de interesses entre militares e cientistas acerca da relevância do tema da energia atômica viabilizou a criação do Instituto de Energia Atômica (IEA, hoje IPEN), num convênio firmado entre a USP e o CNPq, que tinha como objetivo: a compra de um reator de pesquisa pelo programa Átomos para a Paz; acordos de cooperação científica internacional; a facilitação de importação de radioisótopos; a luta contra a exportação da monazita brasileira (ANDRADE e SANTOS, 2013). Em outubro do mesmo ano, Juscelino Kubitschek criou a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). A principal justificativa para criar esta agência, de acordo com os debatedores do tema, era a “necessidade de proteger as reservas de urânio e tório, para o que não faltavam bons argumentos” (ANDRADE e SANTOS, 2013, p. 117). Nesse sentido, muitas críticas foram feitas à Comissão criada⁴⁴ por JK, pois determinados grupos envolvidos na discussão argumentavam sobre o seu suposto caráter bélico, em detrimento do desenvolvimento da nação. A CNEN, no início subordinada diretamente à presidência da República⁴⁵, encarregou-se de planejar e executar a política nuclear brasileira.

A Comissão deveria atender às necessidades das aplicações da energia nuclear, acompanhar os desenvolvimentos científicos e tecnológicos de outros países, e, também, financiar pesquisas relacionadas ao tema. Envolvida com vários setores do governo, a Comissão, possuía, entretanto, relações íntimas com as Forças Armadas. A natureza do órgão, bem como o contexto em geral, viabilizou, entretanto, novas possibilidades para diversas ciências, tanto do ponto de vista institucional quanto econômico, que tiveram diferentes níveis de relações com os órgãos governamentais e militares, mas que, em suas variadas agendas de pesquisa, desenvolveram investigações que tinham como base os radioisótopos. Tratarei de forma mais aprofundada dessas pesquisas, bem como da influência do programa Átomos para a Paz no Brasil, do programa nuclear brasileiro e da CNEN ao longo deste capítulo.

⁴⁴ Em 1956, uma ‘CPI nuclear’, envolvendo interesses de empresas brasileiras de extração de terras raras, cientistas e políticos, foi instituída. A iniciativa do deputado Armando Falcão (PSD/CE), advogado das empresas MIBRA e Orquima, levou depois a uma comissão que teve como objetivos esclarecer os aspectos científicos e tecnológicos do problema e debater a política brasileira sobre o tema. Um dos argumentos de Andrade e Santos (2013), é de que a premissa da criação da CNEN por Kubitschek visava atender aos interesses militares e enfraquecer a CPI, ignorando a opinião de físicos e outros especialistas.

⁴⁵ Em 1960 foi transferida para o Ministério de Minas e Energia.

1.2.4 Os primeiros trabalhos com radioisótopos no Brasil

Se nas primeiras décadas do século XX, num período que muitas vezes é chamado de “pré-atômico”⁴⁶, como foi visto mais acima, o uso da radiação por parte de médicos e pesquisadores brasileiros não era muito expressivo, contando com algumas poucas experiências concretas de criação de instituições, hospitais e laboratórios focados no trabalho com os raios X ou o rádio, sobretudo na terapêutica, a partir dos anos 1940 alguns grupos passariam a enxergar o tema da radiação e suas tecnologias de outra forma.

Um único exemplo desse trato diferenciado dado às tecnologias radioativas em uma pesquisa de caráter fundamental ainda antes da década de 1940, entretanto, pode ser visto num trabalho desenvolvido pelo médico e sanitarista baiano Antonio Luis Cavalcanti de Albuquerque de Barros Barreto⁴⁷ durante sua estadia nos Estados Unidos, na década de 1920. Como bolsista da Fundação Rockefeller, Barros Barreto defendeu uma tese em 1922 na *School of Hygiene and Public Health* da *John Hopkins University*, em Baltimore, sobre os efeitos da exposição aos raios X no metabolismo. O objetivo de Barreto era entender as possíveis alterações metabólicas da exposição aos raios X em animais experimentais saudáveis, argumentando que o tema era pouco pesquisado, e que os estudos existentes sobre metabolismo estavam circunscritos aos efeitos dos raios X em pacientes com câncer ou leucemia. Assim, o pesquisador utilizou seis canários, defendendo sua escolha da cobaia em razão do rápido metabolismo e pelo fato de que a irradiação em camundongos era mais difícil por serem animais mais ativos durante o experimento⁴⁸ (BARRETO, [s.d.]). Embora as conclusões de Barros Barreto tenham sido um pouco genéricas, apenas concordando com o consenso de que pequenas doses de raios X eram estimulantes, enquanto altas doses poderiam ser prejudiciais, seu trabalho chama atenção pela sofisticação, se comparado àqueles analisados no primeiro tópico⁴⁹ deste capítulo, o que provavelmente está relacionado à consistência de sua trajetória científica e seu intercâmbio internacional (BATISTA, 2019a). Nesse sentido, a pesquisa de Barreto, ainda que não tenha sido continuada, fez parte da

⁴⁶ Essa periodização é ilustrativa, dado que se baseia simplesmente no desenvolvimento da física nuclear e nos desdobramentos do tema da energia nuclear. Esse termo pode ser visto em trabalhos mais tradicionais de história da radioterapia como o de LEDERMAN, Manuel. The Early history of radiotherapy: 1895-1939. *Radiation Oncology, Biology, Physics*, v. 7, n. 5, p. 639-658, 1981.

⁴⁷ A atuação e trajetória profissional e científica de Barros Barreto foi estudada em vários trabalhos do historiador Ricardo dos Santos Batista (2019a, 2019b, 2020).

⁴⁸ Um exemplo disso pode ser visto na Figura 3, retirada de um artigo da mesma época em que Barreto escreveu sua tese. Ver também em SNYDER, Laurence. The effect of X-Rays on the fertility of rats. *The American Naturalist*, v. 59, n. 660, 1925, p 88.

⁴⁹ Ver em 1.1 A descoberta da radioatividade e suas primeiras aplicações médicas e biológicas.

constituição inicial da radiobiologia, como os trabalhos da década de 1920 analisados aqui anteriormente, e, além disso, se assemelha ao que passaria a ser feito por pesquisadores brasileiros a partir da década de 1940, ainda que tenha utilizado apenas raios X e não radioisótopos.

Como argumenta Creager e Santesmases (2006a), um intenso fluxo de trocas entre físicos, biólogos e médicos foi propiciado pelo desenvolvimento da bomba atômica. Pesquisadores de diferentes campos buscavam explorar ferramentas ligadas aos novos reatores nucleares e as novas políticas governamentais ou multilaterais de energia atômica. Biólogos e médicos possuíam o interesse no estudo das interações entre radiação e sistemas biológicos desde pelo menos a década de 1920, e, a partir da década de 1940, aproveitaram as iniciativas nacionais e internacionais para impulsionar seus interesses e projetos de pesquisa (CREAGER e SANTESMASES, 2006a, p. 638).

No Brasil, foi apenas a partir dos anos 1940 que os radioisótopos começaram, ainda de maneira muito tímida, a aparecer no horizonte de possibilidades de alguns cientistas. Pode-se considerar, nesse sentido, o período entre as décadas de 1940 e 1960 como uma primeira fase de circulação dos radioisótopos na pesquisa brasileira, marcando não só os primeiros contatos dos pesquisadores com esses elementos em si, mas também com técnicas, instrumentos, cursos, discussões e oportunidades institucionais e de cooperação científica internacional ligadas ao tema e ao contexto da energia nuclear. Essa fase ‘exploratória’ dos radioisótopos no Brasil foi também o momento no qual a constituição de bases institucionais mais sólidas para a pesquisa científica estava se iniciando, e onde se pode visualizar de forma mais nítida a relação entre esse processo e o desenvolvimento do programa nuclear brasileiro. Ou seja, a chegada e consolidação dos radioisótopos como possibilidade de pesquisa no Brasil tem a ver diretamente não só com a criação de instituições como o CNPq e a CNEN, mas também com as tensões políticas e diplomáticas relacionadas ao debate nuclear e, conseqüentemente, aos momentos mais intensos do período da Guerra Fria.

Alguns marcos importantes durante a década de 1940 estão relacionados à posição internacional do Brasil como país rico em minerais radioativos, sua participação nos debates na ONU e a criação de algumas instituições de ciência. Em 1940, como já mencionado mais acima, foi estabelecida uma cooperação entre o Brasil e os EUA para a prospecção de minerais radioativos. Em 1945, o Brasil firmou o 1º Acordo Atômico, de caráter secreto, relativo à venda de materiais físséis aos EUA. Já no ano de 1946, a empresa Indústrias Químicas S.A., a Orquima, fundada em 1942, iria iniciar a industrialização das areias monazíticas no país. O ano de 1946 também foi importante em termos diplomáticos, em

função do papel do almirante Álvaro Alberto como representante do Brasil na criação da Comissão de Energia Atômica da ONU, em 24 de janeiro. Após sua participação na ONU, Álvaro Alberto sugeriu ao governo brasileiro, a partir da Academia Brasileira de Ciências⁵⁰ (ABC), a criação de um Conselho Nacional de Pesquisas, que só foi fundado em 1951. Outros eventos importantes ainda nos anos 1940 são a criação da Comissão de Estudos e Fiscalização dos Minerais Estratégicos, integrada por nomes como o dos físicos Costa Ribeiro e Marcello Damy dos Santos, para o controle das exportações de minerais radioativos, e a fundação da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência⁵¹ (SBPC), em maio de 1948, e do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no dia 15 de janeiro de 1949. Nesse mesmo ano, a Orquima é comprada pelo governo (ANDRADE, 2006). Esses eventos todos, embora tenham se desenvolvido de forma mais concreta na década de 1950, com a efetiva criação de agências, comissões e outras infraestruturas científicas e tecnológicas importantes, marcam, ainda na década de 1940, o início de dois processos que irão se entrelaçar: por um lado, a gestão dos minerais radioativos brasileiros e as intenções de desenvolvimento de um programa nuclear, e, por outro, a institucionalização da pesquisa científica no Brasil, não só em termos de financiamento, mas também de mudanças significativas ligadas às universidades, à profissionalização das carreiras em ciências e à cooperação internacional.

Os dois primeiros centros de pesquisa a utilizar radioisótopos em problemas médicos e biológicos no Brasil também foram criados na década de 1940. Em 1945 é fundado o Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil, no Rio de Janeiro, com o objetivo de, nas palavras de seu próprio criador, Carlos Chagas Filho (1910-2000), “implantar a pesquisa na Faculdade de Medicina e trazer para o nosso meio os métodos físicos que despontaram nos centros maiores depois da Segunda Guerra Mundial, e o desenvolvimento dos métodos eletrônicos” (CHAGAS FILHO, 2000, p. 93). Em 1949, Chagas Filho cria o Laboratório de Fotobiologia do seu instituto, trazendo os cientistas Antoine Lacassagne e Raymond Latarjet da França

⁵⁰ A Academia Brasileira de Ciências foi fundada no ano de 1916, no Rio de Janeiro, como Sociedade Brasileira de Ciências, alterando seu nome em 1921. No início, a ABC possuía seções de Ciências Matemáticas, Ciências Físico-Químicas e Ciências Biológicas, e seu principal objetivo era impulsionar a ciência como fator importante para o desenvolvimento do país. Seu primeiro presidente foi o físico Henrique Charles Morize (1860-1930), e a partir de 1928 a ABC passou a ser presidida pelo biologista Arthur Alexandre Moses (1886-1967), pesquisador do Instituto Oswaldo Cruz (IOC) entre 1908 e 1917, e depois do Ministério da Agricultura.

⁵¹ A SBPC foi fundada no ano de 1948, e em 1949, criava-se a revista *Cultura e Ciência*. Ela surgiu como alternativa à ABC, visando a aproximação entre ciência e sociedade. Nesse sentido, desde o início definiu-se como uma organização ativista preocupada em defender os interesses da comunidade científica brasileira. Criada por 104 cientistas, a SBPC foi uma resposta ao governador de São Paulo, Ademar de Barros, que no contexto queria reduzir o Instituto Butantan à produção de soros antiofídicos, deixando de lado a pesquisa em química orgânica e endocrinologia (LUCAS, 1999).

para ministrar cursos para seus alunos. Lacassagne, do *Institut du Radium*, de Paris, ministrou um curso sobre cancerologia experimental e Latarjet deu vinte aulas sobre a ação biológica das radiações. Nesse contexto foi estabelecida uma importante parceria com os radiobiologistas franceses, que perdurou pelo menos até o final do século XX. “Nesse ano, foi montado o primeiro aparelho de raios X no Instituto de Biofísica, por Hans Muth, utilizando uma ampola Hoolweck, o que inaugurou a radiobiologia no Instituto. Em 1951, seria criado o Laboratório de radiobiologia” (LEITÃO, 2010, p. 101).

Em São Paulo, por sua vez, numa íntima relação com a Fundação Rockefeller, o casal Tede Eston e Verônica Rapp de Eston iniciou, a partir da criação do Laboratório de Isótopos da cátedra de química fisiológica da USP, em 1949, uma série de pesquisas, cursos internacionais ministrados em países latino-americanos e estudos que culminariam na principal via de constituição da medicina nuclear brasileira. Após dez anos de intensa atividade, foi inaugurado, em 1959, o Centro de Medicina Nuclear (CMN), anexo à Faculdade de Medicina da USP, com o apoio direto da USAEC e da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) (MARINHO, 2017). Tanto as atividades institucionais do casal, quanto sua própria formação científica fizeram-se com o apoio estadunidense, tendo ambos participado de cursos sobre radioisótopos e medicina nuclear nos Estados Unidos, assim como o químico Eduardo Penna Franca, importante nome do Instituto de Biofísica que realizou estudos pioneiros em biofísica ambiental e radioecologia. Esses dois núcleos de pesquisa serão melhor apresentados e analisados ao longo desta tese, assim como vários outros grupos e instituições criados entre as décadas de 1950 e 1960.

Tanto o Instituto de Biofísica quanto o Laboratório de Isótopos (depois CMN-USP), surgiram num contexto no qual a pesquisa ganhava fôlego nas universidades. Esse processo, iniciado na década de 1930 com o advento da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da recém-criada USP e com a Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil (FNFfi) no Rio de Janeiro, teve um papel importante, ainda que haja algum debate historiográfico sobre sua natureza⁵², na constituição de um ambiente de pesquisa que até então inexistia daquela forma no Brasil (ESTEVES, 2006). Essas faculdades representaram, de acordo com

⁵² Uma análise muito pertinente sobre o tema foi feita no artigo ‘Sucesso e Fracasso das Faculdades de *Filosofia*: ciência, cientistas e universidade no Brasil, 1930-1960’, de Luiz Otávio Ferreira e Nara Azevedo (2013), no qual as obras ‘clássicas’ da historiografia brasileira das ciências *As Ciências no Brasil* (1955) de Fernando de Azevedo e *História das Ciências no Brasil* (1979, 1980) de Mario Guimarães Ferri e Shozo Motoyama, foram examinadas em relação a forma como ambas entendem o surgimento das Faculdades de Filosofia,

Ferreira e Azevedo (2013), uma inovação para as universidades que estavam sendo criadas⁵³, formando o tipo de estabelecimento mais difundido durante as décadas de 1940 e 1960 na expansão do ensino superior.

Em relação ao uso de radioisótopos, esse momento inicial foi marcado por uma série de cursos de caráter formativo e introdutório, como os ministrados por cientistas franceses no Instituto de Biofísica, e aqueles desenvolvidos pelos próprios pesquisadores do Instituto de Biofísica posteriormente⁵⁴ (PENNA FRANCA, 1961). Na edição de 31 de maio de 1957 do *Correio da Manhã* (RJ), a notícia de um curso de atualização que ocorreria no Instituto de Biofísica dá uma noção de como esses cursos eram constituídos e ministrados:

Em colaboração com o Ministério do Exterior e com o Centro de Cooperação Científica da UNESCO para a América Latina, o Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil dará, de 24 de junho próximo a 2 de agosto, um curso de atualização em Biofísica para 25 alunos, dos quais 10 hispano-americanos. O curso versará os seguintes assuntos: métodos de microscopia moderna, microscopia eletrônica, supercentrifugação, cromatografia, eletroforese, microradiografia, difração de Raios X, métodos elétricos de determinação de atividade celular, introdução à radiobiologia e métodos isotópicos. Ministrarão o curso todo o quadro do Instituto de Biofísica e os professores Maurice Françon, do Instituto de Ótica de Paris; Elisiário Tavora, da Faculdade Nacional de Filosofia, Raul Dodsworth Machado, do Instituto de Olhos e Marcelo Damy de Souza Santos, da Universidade de São Paulo (*Correio da Manhã*, 31 mai, 1957).

Já o grupo paulista, juntamente com o Instituto de Energia Atômica⁵⁵ (IEA-SP), também promoveu, ao longo da década de 1950, uma série de cursos sobre metodologia de radioisótopos e suas aplicações biológicas e bioquímicas pela América Latina. Ao todo, de 1953 a 1961, são listados pelo menos 7 cursos de caráter metodológico, além de outros cursos de especialização ou integrados ao currículo da Faculdade de Medicina da USP, como ocorria no caso do Instituto de Biofísica e da Faculdade de Medicina da Universidade do Brasil. De acordo com um documento do CMN, o Centro se considerava “a ‘alma-mater’ de muitos laboratórios de radioisótopos que trabalham eficientemente, não só no Brasil, como em outros

⁵³ De acordo com os autores, a Universidade de São Paulo (USP, 1934), a Universidade do Distrito Federal (UDF, 1935) e a Universidade do Brasil (UB, 1937) podem ser consideradas as matrizes do sistema universitário brasileiro, que teve uma grande aceleração nas décadas seguintes (FERREIRA e AZEVEDO, 2013, p. 287).

⁵⁴ Muitos cursos foram oferecidos pelo Instituto de Biofísica ao longo das décadas de 1940 e 1960, o que fica evidente em notícias de jornais e em livros que posteriormente eram publicados com o material desses cursos, e que indicavam essa relação, como os seis fascículos do “Manual de Biofísica: Metodologia de Radio-Isótopos e Suas Aplicações em Biologia e Medicina” publicados por Eduardo Penna Franca a partir de cursos ministrados na própria Faculdade de Medicina da Universidade do Brasil, mas também em outras universidades como a Universidade de Porto Alegre, em 1959, ou mesmo de cursos maiores como o 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radio-isótopos elaborado em parceria com o médico John A. D. Cooper e com o apoio financeiro do empresário Guilherme Guinle (PENNA FRANCA, 1961).

⁵⁵ O Instituto de Energia Atômica ainda será apresentado e analisado devidamente neste capítulo.

países da América do Sul” (CENTRO..., 1961, p. 19). Alunos do primeiro curso, de 1953, como Rômulo Ribeiro Pieroni, por exemplo, podem ser vistos como professores em outras edições do curso⁵⁶. Além disso, através do caso de Pieroni, médico formado pela USP com grande interesse pela física, tendo se doutorado na área em 1955 com tese sobre *Aspectos do Problema do Controle da Energia no Bétatron*⁵⁷, é possível evidenciar o caráter formativo desses cursos, dado que o médico se tornou a partir de 1956, com a criação do IEA, diretor da divisão de radiobiologia por décadas. Já os participantes estrangeiros eram escolhidos pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), sob o critério de criação, em seus respectivos países, de centros de pesquisas com radioisótopos.

A UNESCO, assim como outras agências internacionais e multilaterais, teve um importante papel nesse processo. Após a Segunda Guerra Mundial, a UNESCO promoveu a discussão de temas de ordem científica e política, ligados aos conflitos globais. Com uma agenda liberal pautada na ideia de um mundo mais “convergente”, a instituição via na ciência o caminho para a construção de um mundo “liberal-democrático” (MAIO, 2004). Além disso, foi a partir do evento trágico das bombas atômicas estadunidenses no Japão, que a ciência ganharia espaço junto à educação e à cultura no programa da nova agência.

Outros cursos, ainda entre as décadas de 1950 e 1960, foram ministrados no Brasil, tanto em âmbito acadêmico - como os promovidos pelo Instituto de Biofísica -, quanto em âmbito profissional, como, por exemplo, o curso de metodologia isotópica criado pelo Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Comerciantes (IAPC) de Porto Alegre, em 1958, com o objetivo de promover a medicina nuclear no país (SOUZA, 1958). O interessante de cursos como o promovido pelo IAPC, coordenado pelo médico Levy de Albuquerque e Souza do Departamento de Assistência Médica do Centro de Isótopos Radioativos de Porto Alegre, é a mobilização de uma série de conceitos básicos e noções sofisticadas da biologia e bioquímica do período, como os de *turnover* ou regeneração molecular (estudo da capacidade de troca das moléculas dos tecidos) e os estudos de permeabilidade de metabólitos:

Os isótopos abriram novos horizontes nas pesquisas biológicas e médicas, possibilitando a solução de inúmeros problemas científicos e modificando diversos conhecimentos já existentes, como por exemplo: o mecanismo da fotossíntese clorofiliana; o mecanismo das proteínas, gorduras, hidratos de carbono e substâncias minerais; o metabolismo das bactérias; a

⁵⁶ PIERONI, Rômulo Ribeiro. *Metodologia y aplicaciones clinicas de los radioisotopos*. São Paulo: Instituto de Energia Atômica (IEA), 1959.

⁵⁷ O Bétatron foi um dos primeiros aceleradores de partículas da USP, sendo essencialmente um transformador elétrico. Nesse caso, o trabalho de Pieroni era bastante experimental e estava ligado a o que estava ocorrendo no âmbito da física, inclusive em termos institucionais.

permeabilidade celular aos íons; a fisiologia da tireoide e de outras glândulas etc. (SOUZA, 1958, p. 71).

Além disso, é interessante perceber a circulação desses conhecimentos e personagens através do próprio conteúdo de seus cursos. Levy de Albuquerque e Souza, por exemplo, quando explicita os métodos para determinação da taxa de soroalbumina humana, cita as anotações feitas de uma das aulas “que assistimos no ‘Curso de Metodologia de Isótopos’, ministrado pelo Dr. John A. D. Cooper, em 1956” (SOUZA, 1958, p. 75), provavelmente o 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radio-Isótopos, elaborado numa parceria entre os cientistas do Instituto de Biofísica e o médico John A. D. Cooper, mencionado no prefácio do manual de biofísica de Eduardo Penna Franca por Carlos Chagas Filho, em 1961 (PENNA FRANCA, 1961)⁵⁸.

Essa profusão de cursos nesse período denota um intenso incentivo por parte das agências de financiamento, sobretudo as norte-americanas, mas também multilaterais como a UNESCO, na utilização dos radioisótopos nas pesquisas científicas, para além das aplicações médicas e industriais. Uma outra característica dessa primeira circulação dos radioisótopos no Brasil é o contato entre diferentes grupos brasileiros e outros grupos de cientistas e médicos latino-americanos, propiciado pelos cursos e eventos promovidos, bem como a utilização bastante introdutória dessa ferramenta em algumas agendas de pesquisa.

No IEA, em São Paulo, por exemplo, uma série de pesquisas coordenadas por Rômulo Ribeiro Pieroni e, em alguns casos, em parceria com o radioquímico Fausto Lima⁵⁹, executadas entre o final da década de 1950 e ao longo da década de 1960, tinham como temas: a extração da vitamina B-12 da urina de humanos, a absorção dessa mesma vitamina pelo intestino de humanos gastrectomizados, a determinação de eritrócitos pelo radioisótopo Cr-51 (cromo), o estudo de técnicas para determinar o Cr-51 e Fe-59 (ferro) em materiais biológicos, as alterações bioquímicas no sangue de ratos irradiados, além de estudos de tireoide, I-131 (iodo), bócio e investigações forenses.

Já no Instituto de Biofísica, os primeiros trabalhos com radioisótopos datam de antes da sua criação. Em 1944, Antônio Moreira Couceiro (1914-1978) já publicava sobre a utilização do fósforo para alguns órgãos de camundongos tratados com I-132. Ao longo da

⁵⁸ O curso em questão será melhor abordado em alguns outros momentos desta tese.

⁵⁹ Em 1959, Rômulo Ribeiro Pieroni e Fausto Lima publicaram na famosa revista britânica *Nature* o artigo intitulado *Paper Chromatographic Separation of Components of Rosa Bengal Labelled with Iodine-131*. LIMA, Fausto W.; PIERONI, Rômulo R. *Paper Chromatographic Separation of Components of Rosa Bengal Labelled with Iodine-131*. *Nature*, n. 4692, p. 1065, 1959.

década de 1940, o mesmo cientista também estudou o metabolismo do iodo, o radiofósforo, o iodo radioativo na tireoide, além de outras aplicações gerais do rádio. Na década de 1950, os trabalhos pioneiros de Luiz Renato Caldas com a restauração de microrganismos irradiados em colaboração com o radiobiologista francês Raymond Latarjet começaram a ser publicados, além das pesquisas de Carlos Chagas Filho e Eduardo Penna Franca sobre temas diversos, como, por exemplo, a fixação de um curare radioativo em células, o estudo da radiação no peixe amazônico *Electrophorus electricus*, o Sr-90 (estrôncio) em materiais biológicos e alimentos e métodos gerais isotópicos em biologia. Nos anos 1960 essas pesquisas se complexificaram, e novos objetos surgiram, como o apresentado no trabalho pioneiro de 1963 de Eduardo Penna Franca sobre a radioatividade de materiais biológicos oriundos de áreas brasileiras ricas em compostos de tório, inaugurando o estudo da radioatividade natural do ambiente através da aplicação de radioisótopos (O INSTITUTO..., 1971), que será bastante aprofundado sobretudo no terceiro capítulo desta tese.

É evidente que em termos específicos, existe uma série de diferenças contextuais nas esferas políticas, sociais e culturais brasileiras entre as décadas de 1940 e 1960. Nesse sentido, é importante ressaltar que o objetivo neste subtópico, assim como em outras partes deste primeiro capítulo da tese, não é necessariamente estabelecer em detalhes os interstícios da produção científica nesse período. Reitera-se aqui, nesse sentido, a opção metodológica de se seguir os rastros dos radioisótopos, demonstrando a natureza do trabalho de pesquisadores brasileiros dedicados às ciências da vida com objetos radioativos, seja nas primeiras décadas do século XX, ou posteriormente, com as profundas alterações ocorridas no contexto do pós-guerra, envolvendo as relações entre o Brasil e os Estados Unidos, a atuação de agências multilaterais, o emergente debate sobre energia nuclear, e, sobretudo, a aparição dos radioisótopos como objeto catalisador de uma série de processos institucionais, científicos e políticos que serão abordados nos próximos capítulos desta pesquisa. É importante ressaltar que outros aspectos ligados ao contexto de emergência dos radioisótopos no Brasil e à formação de núcleos de pesquisa que passaram a utilizá-los serão abordados a seguir.

1.3 Energia nuclear no Brasil: entre o programa nuclear brasileiro e a questão energética

1.3.1 Uma visão panorâmica da história do programa nuclear brasileiro

Como apontaram Patti (2014a, 2014b) e Andrade (2006a), o Brasil não só se interessou em adquirir o domínio da energia nuclear desde o momento inicial do aparecimento desse tipo de energia, como teve participação marcante na história da energia

nuclear desde a Segunda Guerra Mundial. No início, como já abordado neste capítulo, o Brasil possuía a condição de simples fornecedor de matéria-prima para o desenvolvimento de tecnologias nucleares em outros países. Do início da década de 1940 até meados dos anos 1950, o país forneceu vários minerais atômicos e, em especial, areias monazíticas, aos Estados Unidos, até a imposição do princípio das ‘compensações específicas’ pelo governo brasileiro (PATTI, 2014a). O principal impulsionador desse processo em favor de uma autonomia brasileira para a construção de seu setor nuclear foi o almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva (1889-1976). Nascido no Rio de Janeiro, Álvaro Alberto cursou a Escola Naval de 1906 a 1910, e em seguida ingressou na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, diplomando-se em Engenharia. Álvaro Alberto participou de eventos como a Revolta da Chibata⁶⁰, e além de consolidar carreira na Marinha, tornou-se catedrático do departamento de Físico-Química da Escola Naval, lecionando sobre pólvora, explosivos, química e noções de metalurgia. Foi presidente da Sociedade Brasileira de Química entre 1920 e 1928, e da ABC entre 1949 e 1951. Na Segunda Guerra Mundial, desenvolveu um método para a fabricação dos estabilizadores químicos contralite e acordite, técnica à época dominada apenas pelos alemães (ALVARO, 2009).

Em 1946⁶¹, Álvaro Alberto esteve como representante do Brasil na criação da AEC, e seu nome foi indicado para a presidência desse organismo no biênio 1946-1947. Nesse mesmo contexto, foi incumbido pelo presidente da República, Eurico Gaspar Dutra, de elaborar um anteprojeto para a criação de um conselho científico e tecnológico nacional, o que resultou na sua primeira proposta de desenvolvimento de um programa nuclear brasileiro, o Conselho Nacional de Energia Atômica, enviado ao Conselho de Segurança Nacional (CSN). De acordo com Patti (2014b), a primeira proposta de Álvaro Alberto foi feita num momento de intenso debate entre cientistas e políticos brasileiros sobre o futuro da ciência e da tecnologia no país (PATTI, 2014b, p. 3). Nesse sentido, a administração Dutra optou por incluir a energia nuclear como uma das prioridades do futuro Conselho Nacional de Pesquisas (atual CNPq), ao invés de criar uma comissão nos moldes da USAEC, como desejava Alberto.

Em 15 de janeiro de 1951, a lei nº 1.310 criou o Conselho Nacional de Pesquisas (desde 1974 como Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico –

⁶⁰ Ocorrida em novembro de 1910 e liderada pelo marinheiro João Cândido, a Revolta da Chibata iniciou-se como um protesto contra a utilização de castigos corporais dados a marinheiros negros nos navios da Armada.

⁶¹ Nesse ano, o físico Marcello Damy iniciou a instalação do acelerador Bétraton em São Paulo, e enviou seus assistentes Oscar Sala, Paulo Tacques Bittencourt e José Goldemberg para pesquisar o tema das reações fotonucleares nos EUA e no Canadá.

CNPq). Fruto de longos debates parlamentares, o órgão, chefiado também por Álvaro Alberto (1951-1955), tinha como objetivo a coordenação tanto do desenvolvimento da energia nuclear quanto do fortalecimento da ciência no país (PATTI, 2014a). Álvaro Alberto encontrou um grande apoio para seus planos em Getúlio Vargas que, após governar em regime autoritário o Brasil de 1930 a 1945, havia sido eleito democraticamente em 1950, assumindo o posto de presidente da República no dia 31 de janeiro de 1951. Assim, se o CNPq havia sido criado por exigência de Dutra com escopo mais amplo que um conselho de energia atômica, como fora proposto por Álvaro Alberto, a aprovação do programa nuclear por Vargas em meados de 1951 caracterizaram uma expansão dos esforços do almirante no sentido de concretizar seu sonho nuclear (PATTI, 2014b). Nesse sentido, foram empreendidas viagens a outros países, sobretudo da América do Norte e da Europa Ocidental, para a construção de um modelo institucional para o programa nuclear brasileiro, e para recrutar parceiros internacionais. Isso foi facilitado pela posição de Álvaro Alberto como representante do Brasil na AEC.

Os Estados Unidos foram eleitos como potencial parceiro por possuir o setor nuclear mais avançado no mundo. Desta forma, poderia melhor treinar cientistas nucleares e fornecer tecnologia e materiais essenciais para o planejamento nuclear brasileiro. Entretanto, Álvaro Alberto buscou também estabelecer relações com outros países, como Canadá, Noruega, França, Itália e República Federal da Alemanha (PATTI, 2014b). De acordo com o estudo de Carlo Patti (2014b), a estratégia brasileira de procurar outras opções para além dos EUA foi uma antecipação acertada de Álvaro Alberto, já que a descoberta de minas de urânio na Califórnia e no Novo México a partir de 1954 deslocou possuísse a posição privilegiada do Brasil na negociação dos acordos, assegurada pelas reservas daquele mineral. Além disso, mesmo em um período de intensas negociações entre Brasil e EUA como foi aquele entre 1951 e 1954, os Estados Unidos não fizeram mais do que treinar alguns cientistas brasileiros e comprar alguns equipamentos para a montagem de laboratórios (PATTI, 2014b, p.5).

Essa mesma questão também foi abordada no trabalho de Eduardo Munhoz Svartman (2011), que analisou especificamente as relações militares entre Brasil e EUA durante o período da Guerra Fria. Svartman (2011) apontou que os militares brasileiros buscaram nos EUA um caminho possível para a sua modernização organizacional, industrialização e supremacia regional. Entretanto, como fica claro para o caso dos armamentos nucleares, Washington não apoiava nem a modernização militar nem a autonomia estratégica brasileira. Essa dissonância dos EUA fez, inclusive, como argumenta Svartman, com que a agenda anticomunista perdesse força no Brasil.

Um exemplo emblemático da natureza dessa colaboração tecnológica Brasil-EUA,

analisada por Andrade (1999, 2006b), Muniz (2006b) e por Patti (2014b), foi o da compra de sincrociclotrons. Embora não estivesse claro se as intenções brasileiras para a aquisição desse potente acelerador de partículas eram ou não pacíficas, os EUA permitiram a sua construção e transferência para o Brasil, por considerarem-no exclusivamente uma ferramenta de pesquisa. O CNPq foi apoiado, nesse sentido, pelo CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas)⁶², que dava o respaldo científico para as suas decisões⁶³. Inicialmente, Álvaro Alberto pretendia transferir para o Brasil um cíclotron de 72 polegadas e 25 toneladas, semelhante ao cíclotron existente em Oak Ridge⁶⁴, o qual era utilizado para o método de enriquecimento eletromagnético. O CNPq decidiu adquirir, entretanto, um sincrociclotron, que seria instalado no novo complexo nuclear, que seria construído em Niterói, à época capital do estado do Rio de Janeiro (PATTI, 2014b).

De acordo com Patti (2014b), embora a negociação com os EUA tivesse representado uma vitória para o Brasil, o governo estadunidense não estava preparado à época para transferir ao Brasil tecnologias para a produção de materiais físséis (PATTI, 2014b, p.6). Nesse sentido, tanto em relação à realização do programa nuclear brasileiro, quanto em termos de contribuições para a ciência brasileira, os sincrociclotrons não significaram mais do que um projeto de promoção política. Consumindo quase 50% do total de investimentos diretamente aplicados no setor nuclear pelo CNPq entre 1952 e 1954 (ANDRADE, 1999, p. 138), o projeto dos sincrociclotrons representa um dos vários caminhos tomados por Álvaro Alberto em sua busca pelo controle ‘brasileiro’ do núcleo do átomo:

Em tempo algum, Álvaro Alberto se comportou como o Itamaraty, um aliado incondicional dos Estados Unidos. Não tinha barreiras, preconceitos ou descrença quanto ao comércio de tecnologias desenvolvidas noutros países para produzir energia nuclear. Do Canadá, por exemplo, queria a tecnologia da utilização do urânio natural; à Noruega, enviou Hervásio de Carvalho para comprar água pesada e, simultaneamente tentou comprá-la da Atom Lab Inc. Em Paris, abriu um escritório do CNPq para acompanhar o projeto de uma usina de processamento de urânio, para ser instalada em Poços de Caldas (MG), contratado com a Societé des Terres Rares. Em plena Guerra Fria, ainda tentou importar ultracentrífugas para enriquecimento de urânio da Alemanha, arriscando duplamente, ao importar tecnologia não

⁶² Criado no dia 15 de janeiro de 1949 por um grupo de cientistas brasileiros, como César Lattes, José Leite Lopes e Jayme Tiomno, dentre outros apoiadores, o CBPF tinha como principais linhas de pesquisa o tema dos raios cósmicos e as partículas elementares. A instituição foi estudada por Ana Maria Ribeiro de Andrade em *Físicos, mésons e política: a dinâmica da ciência na sociedade*, de 1999 (ANDRADE, 1999).

⁶³ Esse aspecto também foi tratado por Andrade (1999).

⁶⁴ A negociação envolveu nomes como o do físico César Lattes, o Almirante Álvaro Alberto, o físico Ernest Lawrence, diretor do Rad Lab da Universidade da Califórnia, em Berkeley, e o também físico Herbert Anderson, do Instituto de Estudos Nucleares da Universidade de Chicago. A influência de cada um desses nomes na negociação e nos sentidos que levaram à busca pelo sincrociclotron brasileiro foram abordados no artigo de Andrade e Muniz (2006b).

comprovada para enriquecimento de urânio e, ainda, de maneira clandestina, pois a Alemanha estava ocupada, sob forte controle dos Estados Unidos (ANDRADE, 1999, p. 135-137).

Tudo isso culminou, no ano de 1953, na aprovação de Getúlio Vargas de um plano para a aquisição de todas as fases da produção da energia nuclear no Brasil, incluindo a construção de usinas e o treinamento de cientistas e técnicos. Em 25 de novembro de 1953, Vargas aprovou a compra de três ultracentrífugas para a separação isotópica de urânio da Alemanha Ocidental. A USAEC, entretanto, não autorizou a exportação das ultracentrífugas. Enfrentando, nesse sentido, uma forte oposição dos Estados Unidos, o Brasil negociou com a Alemanha não só a compra das ultracentrífugas, para enriquecimento de urânio, como também a de uma usina de produção de hexafluoreto de urânio, além da compra de uma usina de produção de dióxido de urânio com a França⁶⁵. Com exceção da compra de uma centrífuga alemã, que chegou ao Brasil em 1957 e foi usada exclusivamente para pesquisa, todas as outras iniciativas fracassaram, devido à exoneração de Álvaro Alberto do CNPq, em 1955, representando a mudança da política nuclear brasileira com o início do governo Café Filho (1954-1956) e um intenso alinhamento com a política externa norte-americana (PATTI, 2014a.) Todas essas mudanças se desdobraram das transformações políticas acarretadas pelo suicídio de Getúlio Vargas, no final de agosto de 1954, após uma série de escândalos que abalaram o seu governo. Vargas era o principal fiador das decisões de Álvaro Alberto e do CNPq para o setor nuclear brasileiro (PATTI, 2014b).

O general Juarez Távora, nomeado por João Café Filho para supervisionar as atividades nucleares, era influenciado por membros do parlamento e da embaixada dos EUA, e, nesse sentido, se comportou de maneira totalmente oposta ao general Caiado de Castro, seu antecessor, que endossava as políticas do CNPq. Essa influência da embaixada dos EUA também é considerada importante para o fim da carreira e dos planos de Álvaro Alberto, dado que documentos envolvendo uma suposta fraude do sincrociclotron americano instalado no CBPF teriam sido vazados pela embaixada estadunidense (ANDRADE, 1999; PATTI, 2014b; ADAMSON e TURCHETTI, 2020).

Em consequência do alinhamento com o programa estadunidense Átomos para a Paz a partir de 1955, a política nuclear brasileira obteve seu primeiro reator nuclear⁶⁶. Em 1956, já

⁶⁵ No dia 19 de novembro de 1953 é assinado o contrato entre o CNPq e o CEA da França para a produção de sais de urânio metálico nuclearmente puro. Com isso, uma equipe brasileira comandada por Alexandre Giroto é enviada à França.

⁶⁶ O programa Átomos para a Paz, sua influência e atuação no Brasil serão aspectos abordados neste capítulo, adiante, no tópico 1.4.

com Juscelino Kubitschek como presidente da República, o Brasil tentou retomar os planos de Álvaro Alberto, mas a nova política também seguiu novas diretrizes. Mesmo ainda possuindo a autonomia nuclear como objetivo, muito do planejamento tecnológico feito por Alberto foi excluído dos planos (PATTI, 2014b). Nesse mesmo ano, como consequência da Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) instaurada para debater o tema da energia nuclear (ANDRADE e SANTOS, 2013), Kubitschek e o CSN adotaram um novo plano para o setor, com a criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). A relação de Kubitschek com a temática nuclear não havia começado ali, dado que em 1952, quando foi governador de Minas Gerais, patrocinou pesquisas e contribuiu para a criação do Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR). No seu famoso *Plano de Metas*, importante programa de industrialização e modernização encabeçado por seu governo e que possuía empreendimentos e investimentos para setores-chaves da economia brasileira a curto e médio prazo, além das metas para aumento geral de kW (5.000.000 kilowatts até 1960 e 8.000.000 até 1965), aumento da produção anual de carvão e também de petróleo, estava a “instalação de uma central atômica pioneira de 10.000 kW e expansão da metalurgia dos minerais atômicos” (PROGRAMA..., 1958, p. 17).

Contudo, entre o final da década de 1950 e a primeira metade da década de 1960, o setor tecnológico nuclear não avançou na direção do domínio do ciclo do combustível e da produção de energia, ficando circunscrito às atividades de pesquisa. Já no governo militar instaurado com o golpe de 1964, o marechal Artur da Costa e Silva elaborou em 1967, um plano para o desenvolvimento nuclear brasileiro, opondo-se ao Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP) e aderindo, ainda que com ressalvas, à zona livre de armas nucleares na América Latina. Nesse contexto, surgiu a necessidade da aquisição de centrais nucleares no exterior, para que o parque industrial nuclear no Brasil pudesse ser desenvolvido, além de buscar conseguir todo o aparato tecnológico necessário para o domínio do ciclo de produção do combustível de origem nuclear (PATTI, 2014a).

Antes da elaboração do novo plano nuclear de Costa e Silva, documentos da CNEN evidenciam como o tema da energia nuclear estava sendo debatido e estudado. Num panorama mundial sobre as centrais nucleares, apresentado como um informativo da CNEN no ano de 1962 e organizado pelo Grupo de Trabalho do Reator de Potência sob a orientação do professor Jonas Santos, os autores consideraram que o tema da energia nuclear havia

entrado desde 1959⁶⁷ em sua “fase de bom senso”, mais realista, com um conhecimento científico básico já plenamente estabelecido, uma tecnologia efetivamente provada e uma razoável previsão de custos. Contrastaram essa fase supostamente já alcançada, com duas anteriores: uma de “acentuado clima de otimismo”, em 1955, na Conferência Atômica de Genebra, e uma fase marcada por um clima de decepção, na Conferência de Genebra de 1958, devido às melhoras nas perspectivas de produção de energia a partir de outras fontes, além do alto custo das instalações atômicas e da alta complexidade dos problemas tecnológicos. Através da exposição de dados atualizados de centrais nucleares espalhadas pelo mundo e suas capacidades energéticas, os autores consideravam que a energia nuclear passaria a ser encarada sob o “ponto de vista industrial”, com usinas ligadas às redes distribuidoras, produzindo e vendendo energia elétrica. Apontavam, também, os principais marcos que levaram àquele estado realista de ‘energia nuclear industrial’: 1) Em 22 de dezembro de 1951, em Idaho, nos EUA, foi produzida eletricidade pela primeira vez utilizando uma fonte nuclear, o reator EBR-1, de 150 kilowatts; 2) Em 27 de junho de 1954, a URSS colocou em funcionamento o primeiro reator de potência do mundo, batizado de APS-1, de 5.000 kilowatts; 3) Em 17 de outubro de 1956, a energia nuclear gerou eletricidade pela primeira vez em escala industrial, a partir do primeiro reator de Calder Hall, na Inglaterra, de 37.000 kilowatts; 4) Por fim, em 23 de dezembro de 1957, em Shippingport, nos EUA, uma primeira central nuclear para fins exclusivamente civis, a nível mundial, começou a funcionar, com 60.000 kilowatts:

Hoje, existem em operação no mundo 47 reatores de potência, em 7 países, totalizando mais de 3 milhões de kW - ou seja, uma potência total instalada igual à atualmente existente em toda região Centro-Sul do Brasil; além disso, estão em construção outros 52 reatores, representando mais de 10 milhões de kW adicionais, não se computando outros 4 milhões de kW em reatores cuja construção está em fase de estudos ou dependendo de decisão final (como os do Brasil e da Espanha) - o que significa que antes de 1965 a potência nuclear instalada no mundo será maior que a potência total instalada, nesta época, em todo o Brasil (CENTRAIS NUCLEARES..., 1962, p.7).

Para além de um aparente otimismo expresso pelos dados apresentados, ainda que estivessem numa fase “realista”, essa ‘decisão final’ a qual o Brasil aguardava ainda demoraria mais tempo para chegar. Um outro texto, escrito em 12 agosto de 1964 e apresentado em uma audiência com o presidente da República três dias depois, intitulado *Pontos essenciais de um programa de energia nuclear para o Brasil*, de autoria do presidente

⁶⁷ Nesse ano é criada a Superintendência do Projeto Mambucada para coordenar e executar as medidas econômicas, administrativas e financeiras relativas à implantação de centrais nucleares no Brasil.

da CNEN à época, Luiz Cintra do Prado (1904-1984), detalhava a situação do Brasil em relação à energia nuclear, dividindo o tema em 4 pontos essenciais e anexando quadros relativos às centrais nucleares de vários países. No primeiro ponto, o documento mencionava a importância central que a energia atômica ainda tinha no mundo todo, mesmo após 10 anos do lançamento do programa Átomos para a Paz, de Dwight Eisenhower, e situava o Brasil como uma exceção em relação aos outros países, por não ter tido um desenvolvimento sempre progressivo da energia nuclear. “No Brasil houve um surto inicial na oportunidade da criação do CNPq, em 1951; o ímpeto cresceu até 1956 e começou a declinar em seguida (os governos JK [Juscelino Kubitschek] e JG [João Goulart] não se interessaram mais pela energia atômica)” (PRADO, 1964, p. 1). De acordo com o documento redigido por Cintra do Prado, até aquele momento, além das aplicações de radioisótopos em vários campos da ciência, medicina e agricultura, orientadas pela CNEN, o Brasil havia desenvolvido alguns pontos visando a obtenção da energia de origem nuclear: 1) a área da geologia nuclear, para prospecções; 2) a exploração de areias monazíticas; 3) obtenção de algumas toneladas de diuranato de amônio no IEA-SP; 4) estudos e projetos de reatores; 5) e o início de usina para beneficiamento de minério impróprio em Poço de Caldas (PRADO, 1964, p. 2).

O documento também expunha alguns “motivos da incompreensão nos meios brasileiros”, ligados aos “insucessos” do programa nuclear brasileiro, tais como o fato de não se ter achado minério de urânio “economicamente explorável”, a não utilização imediata do tório em reatores e a retirada do projeto da Central-Átomo-Elétrica da Região Centro-Sul das pautas (PRADO, 1964, p. 3). Em meio a outros motivos listados, como os receios de se adotar uma tecnologia nova sendo que as linhas hidroelétrica e térmica convencionais já eram bem mais conhecidas, Prado apontava para um grande descrédito na fala dos especialistas nucleares:

não são ouvidos como especialistas – os resultados de seus estudos são sumariamente comparados com leituras de notícias oferecidas ao grande público! – não tem havido entrosamento perfeito entre os estudos energéticos oficiais e os estudos da CNEN (PRADO, 1964, p. 3).

Prado continuava sua exposição ao governo militar, considerando que havia faltado ação decisiva dos governos anteriores e que, por conta disso, o Brasil estava perdendo prestígio no campo internacional. Fazendo uma espécie de ultimato, o presidente da CNEN pressionava para que o governo decidisse uma data, “já agora de maneira firme”, na qual o Brasil iria finalmente construir a sua primeira central átomo-elétrica. Prado também alertava dizendo que se isso não acontecesse, o Brasil teria que importar tudo no futuro, e que seria

atrasar “por vários anos a emancipação atômica do país” (PRADO, 1964, p. 5). Apelando assim, para os possíveis interesses dos militares no campo atômico, Prado dizia que:

Há duas áreas de interesse especial, que justificam a intensificação dos estudos nucleares. Sua utilidade poderá ser remota no momento, mas potencialmente elas não devem ser desprezadas ou subestimadas: – As aplicações militares (bombas, submarinos, teleguiados); - A “dessalinação” [sic] da água do mar (assunto que está sendo particularmente focalizado pela AIEA e pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas): problemas do Nordeste (PRADO, 1964, p. 5).

O segundo ponto abordado por Prado tinha o título de “É preciso decidir – sim ou não”, e mencionava que era importante não perder a posição “de relativo relevo” do Brasil, que desde a Assembleia Geral das Nações Unidas, em 1954, fazia parte do SAC (*Scientific Advisory Committee*). Ressaltava preocupação com a próxima conferência da ONU, a ocorrer em 1964, e finalizou seu ponto 2 dizendo que se o Brasil optasse por abandonar o que já havia sido feito no campo da energia atômica, deveria ao menos “preparar desde já uma retirada honrosa” (PRADO, 1964, p. 6), referindo-se a esse papel que o Brasil teria nos debates internacionais. O ponto 3 atualizava o estado do programa nuclear brasileiro no ano em que os militares tomaram o poder: prosseguir com a geologia nuclear, acabar com os “critérios políticos” embutidos na questão nuclear, rever os aspectos nacionalistas da questão do tório, estudar como disciplinar a iniciativa privada, além de baixar decretos, recrutar cientistas e engenheiros nucleares, dar flexibilidade à CNEN, levar a sério os especialistas e amparar a carreira dos cientistas “(nucleares ou não), para que se garanta, em qualidade e quantidade, o elemento humano nacional indispensável” (PRADO, 1964, p. 8). Por fim, no seu ponto 4, Luiz Cintra do Prado comentava sobre a posição da CNEN entre os órgãos governamentais. Subordinada na época ao Ministério das Minas e Energia, a Comissão necessitava de autonomia, dentre outras coisas, pelo fato de que tratava de vários assuntos específicos que não possuíam relação com as tratativas do ministério em questão:

Aplicações de radioisótopos e fontes de radiação (medicina, biologia, ciências básicas, agricultura, indústria, higiene do trabalho); relações com organismos internacionais e CNEN de outros países; intercâmbio científico (Universidades, Institutos de Pesquisas, entidades estrangeiras); formação de pessoal especializado (escolas de engenharia, faculdades de ciência, cursos de pós-graduação); bolsas de estudo, no País e no Exterior; importação de radioisótopos; aplicações militares da energia atômica (PRADO, 1964, p. 9).

Transferida em 1960 para o Ministério das Minas e Energia, a CNEN, como defendia Prado, deveria voltar a ser subordinada diretamente à Presidência da República, de acordo com suas diretrizes de 1956. Entretanto, em 1964, o programa nuclear brasileiro não possuía

perspectivas concretas, se resumindo às atividades da CNEN que, por sua vez, estava circunscrita a uma outra entidade. Esse era o cenário no contexto do golpe militar. O interessante dessa documentação aqui analisada, é perceber como, após a saída de Álvaro Alberto do ‘jogo’, em 1955 e a criação da CNEN no ano seguinte houve um alastramento do uso de radioisótopos em diversas áreas das ciências e da indústria. Ao mesmo tempo, como analisaremos mais à frente, o plano de dominar o ciclo do combustível nuclear ficou cada vez mais distante, necessitando do convencimento dos militares de que a energia nuclear seria algo importante a se investir. Isso fica nítido no documento apresentado pelo presidente da CNEN em 1964, que também evidencia o desprestígio dos especialistas em ciências nucleares nesse contexto e a falta de peso das suas considerações nas tomadas de decisões. Independentemente disso, como afirma Andrade (2006a) e como veremos nesta tese, cientistas e técnicos fizeram parte de todo esse processo de maneira essencial.

Como aponta Andrade (2006a), uma nova concepção vinculando o desenvolvimento econômico à ideia de segurança nacional acabou marcando o governo militar a partir de 1967. A estratégia de Costa e Silva, visando realizar o desejo de transformar o Brasil numa grande potência, passou a valorizar os vínculos com potências do eixo Norte-Sul, se afastando da dependência norte-americana. Com as condições favorecidas pela Europa Ocidental, convênios de cooperação técnica e científica foram facilitados e especialistas em energia nuclear brasileiros puderam, nesse contexto, fazer seu treinamento na França e na República Federal da Alemanha (ANDRADE, 2006a). Como preconizava Luiz Cintra do Prado em 1964, foi a partir do decreto para a constituição de um Grupo de Trabalho Especial no Ministério das Minas e Energia que foi estabelecido um novo planejamento para a utilização de usinas nucleares visando à produção de energia elétrica. De acordo com Andrade (2006a), a produção de energia nuclear, vista naquele contexto como um atributo fundamental para o desenvolvimento do país, associou-se à questão da segurança nacional. Em janeiro de 1968, foram lançadas as Diretrizes da Política Nacional de Energia Nuclear.

Em abril de 1968, um convênio foi firmado entre a CNEN e a Eletrobrás - empresa criada em 1962 para coordenar todas as empresas do setor elétrico -, que ficou com a responsabilidade do processo decisório da construção da primeira usina nuclear. Estiveram presentes nesse processo técnicos enviados pela AIEA para auxiliar na criação do programa que seria efetivado. Chefiado por James Lane, o grupo da AIEA confirmou o que havia sido recomendado pelo Grupo de Trabalho Especial, de que o ideal seria instalar uma usina nuclear de 500MW em 1976-1977 (ANDRADE, 2006a). De acordo com Andrade (2006a), uma controvérsia sobre qual seria o melhor reator a ser instalado (reator a água pesada ou a

água leve) envolveu vários pesquisadores ligados à CNEN. Cientistas que se colocaram contra a compra de um reator a urânio enriquecido foram silenciados pelo AI-5⁶⁸ em dezembro de 1968. Andrade afirma que o interesse dos governos militares na energia nuclear era exclusivamente para fins de produção de energia elétrica, mantendo, assim, a atuação da CNEN no limite pragmático do plano nuclear. A Eletrobrás delegou a tarefa de construção das usinas nucleares à Central Elétrica de Furnas⁶⁹, que já em 1969 iniciou os trabalhos de preparação para a construção de Angra 1. A empresa que venceu a candidatura para a construção foi a Construtora Norberto Odebrecht S.A, em 1972, que deveria entregar a obra pronta em 5 anos. O governo militar, a partir de 1969 comandado pelo general Emílio Garrastazu Médici, deu continuidade aos planos nucleares anteriores, focando na propaganda (*Milagre econômico e Brasil grande*), para fomentar a ideia de que a energia nuclear seria imprescindível já na década seguinte (1970). O plano de Costa e Silva de 1967, aprovado entre 1969 e 1970, foi efetivado por fim no ano de 1971⁷⁰, com a assinatura de um contrato entre a CNEN, Furnas, a companhia estadunidense Westinghouse e a USAEC, para a compra de uma central nuclear (PATTI, 2014a).

Como o Brasil não dominava a tecnologia, a obtenção do combustível para a primeira unidade da Centra Nuclear Almirante Álvaro Alberto dar-se-ia da seguinte maneira: o concentrado de urânio natural (*yellowcake*) seria comprado na África do Sul, a conversão em hexafluoreto realizada na Inglaterra e o enriquecimento feito nos Estados Unidos. Diversificaram-se os parceiros, seguindo a orientação da política externa, mantendo a dependência dos Estados Unidos, que detinham o monopólio do suprimento de urânio enriquecido no mundo Ocidental (ANDRADE, 2006a, p. 136).

Em junho de 1975⁷¹, na cidade de Bonn, o Brasil assinou com a República Federal da

⁶⁸ O Ato Institucional nº 5, baixado em 13 de dezembro de 1968, no governo do general Costa e Silva, vigorou até dezembro de 1978 e produziu uma série de efeitos negativos à ordem democrática, se impondo como um instrumento de intolerância. Por conta disso, o período marcado pelo AI-5 é considerado o momento mais ‘duro’ da ditadura militar, com governadores possuindo o poder de exceção para punir quem achassem que fosse contra o regime ou se enquadrasse em seus padrões classificatórios reacionários.

⁶⁹ A Central Elétrica de Furnas foi criada em 1957, durante o governo do presidente Juscelino Kubitschek. Em 1963 Furnas inicia o enchimento do reservatório, entrando em operação a primeira unidade geradora da Usina de Furnas, em Minas Gerais. Em 1972 a empresa inicia a construção da usina nuclear Angra 1, no Rio de Janeiro e, em 1973, assume a construção do sistema de transmissão da Hidrelétrica Binacional de Itaipu. No ano de 1982, é gerada, pela primeira vez, no Brasil, energia elétrica de origem nuclear. Ver mais em *LINHA do tempo*. Furnas. Disponível em: < <https://www.furnas.com.br/subsecao/253/linha-do-tempo?culture=pt>>. Acesso em: 06/09/2021.

⁷⁰ No dia 01 de dezembro de 1971 é criada a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), para fazer pesquisas e lavrar as jazidas de minérios nucleares, além de promover o desenvolvimento de tecnologias nucleares no tratamento de minérios e produção de combustível, e instalar uma usina de enriquecimento de urânio e outros componentes para reatores. Em 1974, a CBTN passa a ser denominada Nuclebrás, com o objetivo de executar o programa nuclear brasileiro a partir do acordo teuto-brasileiro.

⁷¹ No final do ano de 1975, no mesmo dia (16 de dezembro de 1975) foram criadas a NUCLEN (Nuclebrás Engenharia S.A), a NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados), NUCLAM (Nuclebrás Auxiliar de

Alemanha o Acordo sobre Cooperação no Campo dos Usos Pacíficos da Energia Nuclear. De acordo com Andrade (2006a), Geisel afastou os militares da negociação⁷². O Brasil privilegiou a Alemanha, e não a França ou os Estados Unidos, devido às vantagens de transferência de tecnologia e implantação de todas as fases do ciclo do combustível, além de razões políticas como a busca por autonomia (ANDRADE, 2006a, p. 142). Para a Alemanha, por sua vez, o acordo era vantajoso não só para utilizar a capacidade de sua indústria nuclear ociosa, como também pelo interesse nas reservas brasileiras de urânio. O acordo nuclear teuto-brasileiro teve duração de 15 anos, e previu a construção de oito usinas nucleares, em Angra dos Reis, Peruíbe e Iguape, além da capacitação de pessoal. A crise do petróleo de 1973⁷³ e o cancelamento unilateral pelos EUA do fornecimento de urânio enriquecido para Angra 1 e para reatores de outros países, em 1977, como contra-ataque aos planos de autonomia do Brasil, foram utilizados ao longo desse processo a favor do acordo, além da justificativa do governo usando o argumento das crescentes necessidades de energia elétrica do país (ANDRADE, 2006a, p. 143). Nesse contexto, no início da construção de Angra 2, entre 1976 e 1977, a comunidade científica que, mais uma vez, foi excluída do processo de decisão, fez críticas apontando os problemas técnicos do acordo, além de questionar a necessidade de o Brasil adotar a energia nuclear em larga escala.

O Acordo Brasil-Alemanha foi realmente muito criticado, não só por uma parcela de cientistas e sociedades científicas como a Sociedade Brasileira de Física (SBF), mas por outros setores da sociedade, como os ambientalistas e estudantes universitários que questionavam sobre o lixo radioativo. Além disso, quase todos os países detentores de tecnologia nuclear foram críticos do acordo, sobretudo pelo fato de o Brasil não ser signatário do Tratado de Não-Proliferação Nuclear (TNP), de 1968. Em junho de 1976, em um extenso artigo intitulado “Atoms for Brazil, dangers for all”, publicado no *Bulletin of the Atomic Scientists*, o jornalista estadunidense especializado em América Latina Norman Gall apresentava em detalhes o acordo teuto-brasileiro, focando na posição internacional de cada

Mineração), NUCLEMON (Nuclebrás pesquisa de tório e areias monazíticas), NUSTEP (Nuclebrás-STEAG para o desenvolvimento do jato centrífugo) e NUCLEI (Nuclebrás Enriquecimento Isotópico S.A.).

⁷² O acordo nuclear teuto-brasileiro foi baseado em acordos anteriores, que não será possível aprofundar nesta pesquisa. São eles: o Acordo de Cooperação sobre as Utilizações Pacíficas da Energia Atômica entre o Brasil e a Euratom (1961), o Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Brasil e a Alemanha (1969) e as Diretrizes para a Cooperação Industrial entre o Brasil e a Alemanha (1974), o ‘Protocolo de Brasília’. Em 1976 um acordo de salvaguardas entre Brasil, Alemanha e AIEA também contribuiu posteriormente para as salvaguardas do material e equipamento envolvido (ANDRADE, 2006a, p. 142).

⁷³ A crise do petróleo começou em outubro de 1973, quando países vinculados à Organização dos Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPAEP) fizeram um embargo petrolífero. Esse embargo foi direcionado especialmente às nações que apoiaram Israel na Guerra do Yom Kippur (conflito militar envolvendo estados árabes liderados pelo Egito e pela Síria contra Israel).

país em relação aos Estados Unidos, argumentando, resumidamente, que para evitar uma guerra nuclear, a indústria de exportação de reatores deveria se tornar um serviço público internacional:

É um grande passo em direção à independência diplomática de dois países aliados dos Estados Unidos no pós-guerra em resposta às convulsões na economia mundial de energia em meados da década de 1970. Também seria a maior transferência já feita de tecnologia nuclear para um país em desenvolvimento. Este complexo acordo guarda-chuva ameaça estabelecer um novo tipo de rivalidade comercial para vendas internacionais de reatores de energia que poderia acelerar a proliferação de armas nucleares nas décadas finais deste século (GALL, 1976, p. 5).

Apelando para a comunidade internacional, Gall defendia como saída uma ação conjunta que administrasse o comércio nuclear. Argumentava como essa mesma comunidade internacional havia impedido o uso de certas armas químicas e biológicas ao longo de boa parte do século XX. “Qualquer custo adicional incorrido por esse tipo de gestão seria o preço da paz. O não pagamento desse preço pode significar custos infinitamente maiores no futuro” (GALL, 1976, p. 48). O subtítulo do artigo, “Como a competição cada vez maior pelos mercados internacionais se combinou com as aspirações à ‘grande potência’ de uma nação em crescimento produzindo um grande passo rumo à guerra nuclear mundial”⁷⁴, expressa muito bem como a crítica internacional enxergava esse acordo.

⁷⁴ Do original “How the increasing competition for international markets combined with a growing nation's 'great power' aspirations to produce a major step forward in the world's approach to nuclear war” (GALL, 1976, s.p.). A tradução feita foi livre.

Figura 7: O acordo nuclear teuto-brasileiro.

The Deal

Uranium exploration and mining.
 Initial exploration of two areas totaling about 45,362 miles. Guaranteed delivery of 20 percent of any ore to German utilities, with proportion increasing later. NUCLEBRAS' share (the new Brazilian state nuclear energy corporation) in the joint company, 51 percent.

Uranium enrichment.
 Construction in Germany of a pilot plant by 1981, with an industrial-scale plant to be built later in Brazil, using the experimental Becker jet-nozzle technique being developed by the Germans. NUCLEBRAS' share, 75 percent.

Fuel fabrication. Pilot plant, then commercial plant built by Germans. NUCLEBRAS' share, 70 percent.

Reprocessing of spent fuel.
 Construction of pilot plant under technical assistance agreement between NUCLEBRAS and German consortium. NUCLEBRAS, 100 percent.

Power plants. Two 1,300-megawatt pressurized water reactors by 1985, and option for six more by 1990, with increasing participation by Brazilian industry in construction and component manufacture to reach 70 percent by 1980 and 90 percent by 1990.

In: GALL, Norman. Atoms for Brazil, dangers for all. *Bulletin of the Atomic Scientists*, v. 32, n. 6, 1976, p. 6.

Como nem a Alemanha nem o Brasil cederam às pressões norte-americanas de tirar do acordo itens relativos à transferência de 'tecnologias sensíveis', o governo de Jimmy Carter

denunciou o desrespeito aos direitos humanos cometido pelo governo militar brasileiro. Além de Norman Gall, outro especialista em América Latina, o diplomata Sol Linowitz, sugeriu a Carter o congelamento do acordo nuclear, argumentando sobre as violações de direitos humanos e a institucionalização da tortura no Brasil. Em 1978, entrou em cena nos EUA o *Nuclear Non-proliferation Act*⁷⁵, e, com isso, Carter unilateralmente interrompeu o suprimento de combustível para Angra 1 e outros reatores de pesquisa brasileiros, ignorando o contrato comercial existente e a inspeção internacional dos reatores de pesquisa. Os EUA também participaram de outros eventos multilaterais, visando dificultar de todas as formas a transferência de tecnologia nuclear para os países politicamente periféricos que estavam em sua órbita de influência (ANDRADE, 2006a, 145).

Embora tivesse relações com empresas de outros países para além da Alemanha, como a Inglaterra e a Holanda, o Brasil teve dificuldades para manter seus planos, pois a Holanda, tendo acordos com os EUA, posicionou-se contra a transferência de tecnologia para enriquecimento de urânio. Assim, mesmo o processo de ultracentrifugação não sendo dos EUA, o Brasil teve que se contentar com o processo de jato centrífugo (*jet nozzle*) experimental e que não representava nenhuma ameaça.⁷⁶ Com todas essas investidas norte-americanas, o embaixador estadunidense no Brasil chegou a advertir Washington de que os EUA corriam o risco de perder um aliado. De acordo com Andrade (2006a), mudanças na política externa brasileira, como o fortalecimento das relações diplomáticas com países do Terceiro Mundo e do Leste Europeu, fizeram com que as pressões dos EUA não surtiram mais efeito (ANDRADE, 2006a, p. 146).

Denúncias de irregularidades no acordo pela imprensa alemã, a junção de vários grupos da sociedade, como cientistas, intelectuais, empresários e a Igreja Católica, defensores da redução da dimensão da cooperação Brasil-Alemanha, além de uma CPI instalada em 1978 - que acabou não caminhando pela pressão do *lobby* em favor do acordo e pela renúncia de seu presidente, Itamar Franco -, além de tensões nos canteiros das obras juntaram-se ao acidente na usina nuclear de Three Mile Island⁷⁷ em 1979, dificultando ainda mais a credibilidade do setor nuclear (ANDRADE, 2006a). Apesar de todos esses aspectos, o

⁷⁵ Lei federal dos Estados Unidos que declarou artefatos explosivos nucleares como uma ameaça aos interesses de segurança dos EUA e ao 'progresso' internacional contínuo em direção à paz mundial. A lei em questão forneceu vários elementos para o controle e as limitações da tecnologia nuclear.

⁷⁶ Sendo um processo de caráter experimental, não seria útil para o estabelecimento adequado do domínio do ciclo do combustível como almejavam os brasileiros.

⁷⁷ O acidente de Three Mile Island ocorreu em março de 1979, no reator da unidade 2, e é o pior acidente já registrado nos Estados Unidos, classificado como nível 5 na Escala Internacional de Eventos Nucleares da AIEA (ANDRADE, 2006a).

programa nuclear brasileiro não foi paralisado, pois, como já apontado, era considerado uma questão de segurança nacional. Nesse sentido, as obras em Angra 2 foram aceleradas, com a criação da Nuclebrás Construtora de Centrais Nucleares (NUCON), em 1981, durante o governo militar de João Figueiredo, eleito em 1979. Entretanto, com o não prosseguimento do acordo teuto-brasileiro diante da elevação dos custos com o programa, ocorreu a paralisação das obras de Angra 2 e uma série de outros atrasos.

Por fim, o acordo nuclear Brasil-Alemanha não atingiu suas metas, tendo apenas a primeira etapa da Fábrica de Elemento Combustível inaugurada em 1982. As obras de Angra 2 duraram de 1976 a 2000, e a sonhada transferência da tecnologia para enriquecimento de urânio nunca ocorreu. Além disso, as outras sete usinas previstas não foram construídas por falta de verba. Entretanto, conforme veremos com muito mais ênfase nesta pesquisa, todo esse processo acabou por fomentar uma série de atividades de pesquisa ligadas ao mundo nuclear, além da construção de um grande aparato institucional aproveitado por diferentes disciplinas científicas. Já em relação à mineração, a grande injeção de recursos levou o Brasil a ocupar o 6º lugar no ranking mundial, com apenas 25% do território prospectado, mas com mais de 300 mil toneladas de minerais radioativos extraídos das reservas de urânio identificadas (ANDRADE, 2006a, p. 147).

No fim do governo de Ernesto Geisel, devido às dificuldades presentes no acordo Brasil-Alemanha, sendo a maior delas a impossibilidade de transferência de elementos essenciais para dominar o ciclo do combustível nuclear, um projeto nuclear secreto foi criado, sob a coordenação da CNEN, dirigido a partir de 1982 pelo físico Rex Nazaré Alves e implantado pelas três Forças Armadas (PATTI, 2014a). A motivação era o desenvolvimento de tecnologias nucleares para a propulsão de submarinos e para o domínio de todas as etapas da produção de energia nuclear (ANDRADE, 2006a). O programa paralelo, que ficou conhecido como ‘autônomo’, foi da tentativa de produzir hexafluoreto de urânio à construção de um reator miniaturizado para a propulsão naval e desenvolvimento de explosivos. Paralelamente ao programa civil, conduzido pela Nuclebrás, o programa paralelo “não era ligado à cooperação internacional, não era sujeito ao regime de salvaguardas internacionais e não devia obedecer às crescentes restrições impostas pelos Estados Unidos e o *Nuclear Suppliers Group*, o cartel de países produtores de combustível ou tecnologias nucleares”

(PATTI, 2014a, p. 9)⁷⁸.

Em setembro de 1987, após o fim da ditadura militar, o presidente José Sarney anunciou ao país e à comunidade internacional que finalmente o Brasil havia alcançado a capacidade de enriquecer urânio de forma autônoma através de um programa mantido em sigilo, com a justificativa de garantir a segurança nacional (PATTI, 2014a). O programa paralelo foi desmantelado durante a presidência de Fernando Collor, se unificando oficialmente ao programa civil. O campo de testes de explosivos nucleares na base aeronáutica da Serra do Cachimbo, norte do Pará, foi fechado numa cerimônia em setembro de 1990 pelo presidente Collor. Dias depois, na Assembleia Geral da ONU, Collor fez um discurso anunciando que o Brasil abriria caminho para aderir aos regimes internacionais de não-proliferação de armas nucleares. O resultado disso foi que, entre 1991⁷⁹ e 1994, o Brasil passou a aceitar salvaguardas internacionais, aderindo de fato à área latino-americana livre de armamento nuclear e, em 1998, já no governo de Fernando Henrique Cardoso, aderindo finalmente ao Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP). (PATTI, 2014a).

Embora os anos 1990, de acordo com Patti (2014a), possam ser considerados a ‘década perdida’ do programa nuclear brasileiro, Angra 2 teve em 1994 a retomada das obras civis. Em 1996, foi iniciada a montagem eletromecânica pelo consórcio Unamon, e, no ano seguinte, foi criada a Eletronuclear para operar tanto Angra 1 quanto Angra 2. No ano de 2000, a CNEN autorizou a criticalização⁸⁰ dos reatores, e nesse mesmo ano foi inaugurada a usina de Angra 2. Em 2001, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) concederam o licenciamento ambiental e, com isso, Angra 2 iniciou sua operação comercial, com potência média de 1.300 MW (ANDRADE, 2006a). No começo dos anos 2000, o programa nuclear brasileiro foi revitalizado. A discussão sobre Angra 3, que teve sua construção iniciada em 1984, foi retomada no governo de Luiz Inácio Lula da Silva, apoiada pelo Ministério da Ciência e da Tecnologia e da CNEN⁸¹. Em contrapartida, em novembro de

⁷⁸ Para ver mais sobre o programa paralelo, ver o capítulo 6 do livro “A opção nuclear: 50 anos rumo à autonomia”, da historiadora Ana Maria Ribeiro de Andrade, que estudou detalhadamente a história da energia nuclear no país (ANDRADE, 2006a).

⁷⁹ Em 1991 foi criada a Agência Brasileira-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (ABACC). Os dois países possuem um histórico de grande rivalidade no âmbito nuclear. Ver mais no depoimento de Antonio Oliveira no livro ‘O programa nuclear brasileiro: uma história oral’, organizado por Carlo Patti (2014a).

⁸⁰ Estado em que uma reação em cadeia nuclear se torna autossustentável.

⁸¹ Em 2021, foi prevista a conclusão da avaliação técnica de Angra 3. Ver mais em: GANDRA, Alana. Avaliação técnica de Angra 3 deve estar concluída até o fim deste ano. Agência Brasil c2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-07/avaliacao-tecnica-de-angra-3-deve-estar-concluida->

2004, a Alemanha rompeu definitivamente o acordo nuclear com o Brasil. Nesse mesmo ano, a Indústrias Nucleares do Brasil S. A. (INB), que havia substituído a Nuclebrás em 1988, iniciou a construção da planta industrial de enriquecimento de urânio a partir da utilização das centrífugas criadas pela Marinha em Iperó, São Paulo. Ainda nos anos 2000, foi lançado o plano *Brasil 2030*, prevendo a construção de várias centrais nucleares e a conclusão de Angra 3, além da reativação do programa de submarinos nucleares da Marinha⁸² (PATTI, 2014a).

A história do programa nuclear brasileiro e da energia nuclear no Brasil é, evidentemente, muito mais complexa e extensa do que o que foi apresentado aqui. Baseado sobretudo nos trabalhos de Carlo Patti (2014a, 2014b) e Ana Maria Ribeiro de Andrade (2006a), o objetivo deste subtópico foi apresentar, em linhas gerais, alguns dos principais aspectos dessa história. Muitas dimensões importantes, entretanto, como o lugar da ciência nesse processo, e vice-versa, não foram enfatizados nesse momento, pois serão aprofundados ao longo da tese. As ambições de Álvaro Alberto, a transformação do programa nuclear em uma questão de segurança nacional pelos militares e os entraves diplomáticos com os EUA, são alguns dos principais elementos dessa longa história. Outros, ainda não abordados, são, por exemplo, a relação conturbada entre programa nuclear e agências de financiamento, o papel de cientistas em processos decisórios e os usos diversos da infraestrutura institucional, material e epistemológica do advento da energia nuclear nas ciências.

De acordo com Andrade (2006a), a história da energia nuclear no Brasil é marcada também por uma inexistência de debate público sobre o tema durante a ditadura militar e, em especial, na década de 1970. Isso contribuiu significativamente para que as incertezas já existentes relacionadas à eficácia das usinas, ao resultado dos investimentos nesse tipo de energia, e aos temores mais presentes no senso comum, ligados aos efeitos negativos dos radioisótopos sobre a saúde humana e o meio ambiente aumentassem. Com a redemocratização do Brasil, na década de 1980, passou a ser mais comum a imprensa divulgar informações sobre o mundo nuclear, favorecendo, ainda que de modo muito superficial, a participação da sociedade nesse debate:

O acidente de Chernobyl forneceu mais argumentos aos opositores da produção de energia nuclear para fins industriais, especialmente porque líderes ambientalistas brasileiros eram, na maioria, ex-exilados, vítimas da

[ate-o-fim-deste-ano](#)>. Acesso em: 08/09/2021. A finalização da obra e sua operacionalização efetiva, entretanto, ainda estão longe de ocorrer.

⁸² No dia 11 de dezembro de 2020, o submarino Humaitá (s-41), que funciona a propulsão nuclear, foi lançado pela Marinha, no Complexo Naval de Jataí, Rio de Janeiro. Ver mais em: MARINHA lança ao mar submarino Humaitá. ABEN. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/noticias/marinha-lanca-ao-mar-submarino-humaita>>. Acesso em: 08/09/2021.

ditadura militar, que acompanharam a questão nuclear sob a ótica dos europeus. A falta de diálogo anterior com a comunidade científica e outros setores da sociedade formadores de opinião levou à resistência de pessoas que até então desconheciam totalmente a questão. Além disso, pode-se constatar que mesmo a aplicação da energia nuclear nos campos da medicina, agricultura e indústria é desconhecida de grande parte da população (ANDRADE, 2006a, p. 156).

Andrade (2006a) ainda considera que as crises e tensões, como os acordos atômicos Brasil-Estados Unidos, o acordo Brasil-Alemanha e a descoberta do programa paralelo das Forças Armadas, eclipsaram a importância social e econômica da energia nuclear para a área médica, a agricultura e o meio ambiente, dando para a sociedade em geral a equivocada impressão, assim, de que apenas os governos militares se importaram com a questão nuclear. Nesse sentido, as atividades exercidas e promovidas pela CNEN, a relação da história do CNPq e de outras agências de financiamento com o setor nuclear, e o aproveitamento de programas como o Átomos para a Paz, não foram suficientemente abordados nos trabalhos até aqui consultados, assim como os saldos científicos e tecnológicos de todo esse processo para o Brasil. Andrade (2006a) menciona em seu livro, por exemplo, que as informações disponíveis na historiografia não subsidiam uma história satisfatória da Comissão Nacional de Energia Nuclear, ainda que seus próprios trabalhos (ANDRADE, 1999; ANDRADE, 2006a; ANDRADE e MUNIZ, 2006b; ANDRADE e SANTOS, 2013) sejam fundamentais para a compreensão dessa instituição, e joguem luzes sobre a relação entre ciência - em especial a física - e a energia nuclear. Esses aspectos serão abordados neste capítulo. A seguir, nos próximos subtópicos, irei aprofundar mais a história do debate envolvendo especificamente a questão energética no Brasil, pensando o lugar da energia nuclear para as ciências e para a sociedade.

1.3.2 Um *imperativo de sobrevivência*? Projeções, anseios e o lugar da energia nuclear no Brasil

Na verdade, a radiação é um tipo de coordenador. Ela entra em todos os diferentes aspectos da biologia, desde a bioquímica e a biologia molecular até a ecologia e outras áreas, e este amplo fundo científico é a área onde Associações para o Progresso da Ciência se tornam mais significativas, isto é, na cooperação dos diferentes cientistas que trabalham tanto nos aspectos fundamentais como nos aspectos aplicados da ciência (HOLLAENDER, 1968, p. 7).

Como vimos no subtópico anterior, no Brasil, nunca houve espaço para um amplo debate público sobre a energia nuclear. Por outro lado, no âmbito político, diplomático e

científico, grandes expectativas se desenvolveram a respeito da energia atômica desde pelo menos a década de 1950, e expressas a partir da atuação concreta de personagens como Álvaro Alberto e estimuladas pelo próprio do contexto da Guerra Fria, como veremos adiante na análise da atuação do programa Átomos para a Paz no Brasil. Além dessas iniciativas, e da apropriação dos radioisótopos em agendas de pesquisas, objeto principal deste estudo, uma série de debates, anseios e projeções envolvendo a energia nuclear marcaram o período da Guerra Fria no Brasil. Nesse contexto, cientistas e políticos apresentaram o tema sob várias perspectivas.

No pós-guerra, enquanto se desenvolvia a pesquisa científica em universidades como a Universidade do Brasil, no Rio de Janeiro, e a Universidade de São Paulo, era criada, em 1948, na cidade de São Paulo, a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) com o propósito de promover e defender os interesses da comunidade científica. Nesse mesmo ano, uma partícula subatômica, batizada de méson pi, foi detectada em laboratório. Na equipe da Universidade de Bristol, na Inglaterra, estavam o inglês Cecil Frank Powell, o italiano Giuseppe Occhialini, e o brasileiro César Lattes, à época com 23 anos. Na época, buscava-se entender como os prótons se mantinham unidos no núcleo do átomo. Assim, o méson pi encaixou-se nesse entendimento, como partícula que era capaz de garantir a coesão do átomo. A imprensa brasileira deu grande atenção à descoberta e à figura de César Lattes, o que contribuiu, em alguma medida, para a criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro, em 1949, processo que envolveu uma articulação mais ampla entre físicos, outros cientistas, políticos e empresários (ANDRADE, 1999)⁸³. O investimento na física, área que devido ao feito técnico da bomba atômica ficou associada ao mundo das inovações tecnológicas, era visto por políticos e empresários como algo que renderia de imediato aplicações práticas, especialmente, na produção de energia nuclear, e elétrica, no país (ANDRADE, 1999).

De acordo com Andrade (1999), desde a década de 1930 o processo de urbanização e o crescimento industrial do Brasil acabou levando a algumas convicções, tais como a de que o desenvolvimento econômico do país era diretamente ligado às flutuações do capitalismo mundial. Acreditava-se também que as crises eram importantes para a ocorrência de surtos de expansão e de industrialização. Na década de 1940, uma série de debates e medidas

⁸³ Nesse contexto, Ernest Lawrence, o físico estadunidense criador dos cíclotrons, e que trabalhava com Lattes em Berkeley, propôs a César Lattes a construção de um desses instrumentos no futuro CBPF. É interessante ver como existe um histórico de trocas entre cientistas brasileiros, não apenas da física, mas também das ciências biológicas, e cientistas estadunidenses que ocupavam laboratórios ligados à USAEC, como o Rad Lab de Berkeley, e o de Oak Ridge.

econômicas foi estabelecida, como reação aos problemas emergentes ligados às necessidades da população das grandes capitais brasileiras. Esses debates refletiram diretamente no tema da energia elétrica. Nesse contexto, considerou-se abandonar a lenha, matriz energética nacional, além de encontrar um substituto para o carvão importado e aumentar o potencial energético das hidrelétricas. Segundo Andrade, em 1946, a lenha correspondia a 82% da energia consumida no Brasil, enquanto o consumo de carvão era de 3,9% e das hidrelétricas de 1,6%. Duas vias importantes surgiam, nesse sentido, como alternativas, baseadas, é claro, em expectativas científicas e tecnológicas do contexto: a exploração do petróleo e a construção de usinas nucleares. “Chegava-se a acreditar que era fácil e barato aumentar a oferta de energia elétrica por meio da utilização do tório e urânio” (ANDRADE, 1999, p. 77).

Com um histórico bastante irregular, correspondendo às desigualdades econômicas e demográficas nacionais, o setor elétrico brasileiro estava, ao final da Segunda Guerra Mundial, nas mãos de dois grupos privados internacionais: a empresa canadense Light e a estadunidense American & Foreign Company. De acordo com estudo de Alexandre Macchione Saes (2020), que analisou a constituição do setor elétrico brasileiro a partir das relações diplomáticas, até 1945 o governo brasileiro possuía um papel muito limitado de atuação nesse setor. Já na década de 1950, de acordo com Paula e Corrêa (2014), houve um progressivo crescimento da capacidade instalada de produção de energia elétrica, devido ao surgimento de empresas controladas pelo governo federal, o que acabou por contrabalancear o cenário anteriormente dominado por empresas estrangeiras. Como aspecto fundamental para a superação do eterno “atraso” brasileiro, a produção de energia elétrica foi objeto de projetos industrializantes a nível federal e estadual, aumentando a presença de empresas estatais nesse setor entre 1952 e 1962 de 6.8% para 31.3% (PAULA e CORRÊA, 2014, p. 146).

Teve importância nesse processo a Comissão Mista Brasil-Estados Unidos (CMBEU), constituída em 1951 para realizar estudos de planejamento na área⁸⁴, e que mesmo após a ruptura da cooperação Brasil-EUA no setor elétrico com a eleição, em 1953, do presidente Dwight Eisenhower, acabou dando base para o Programa de Metas de Juscelino Kubitschek e, ainda depois, para alguns projetos que foram levados a cabo sob patrocínio do governo brasileiro com o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico (BNDE). Paula e Corrêa (2014) consideram também como inflexão a criação da Companhia Hidrelétrica do São Francisco com a construção da usina de Paulo Afonso, em 1945, e a Central Elétrica de Furnas, em 1957, com a construção da usina de Furnas no rio Grande, em Minas Gerais.

⁸⁴ Nesse mesmo sentido foi criada a Comissão do Vale do São Francisco, em 1948.

Dialogando com Andrade (1999), podemos enxergar esses marcos como algo que ampliou as duas vias (petróleo e energia nuclear), privilegiando as fontes hidrelétricas. Em maio de 1952 é criado o Plano Geral de Industrialização do País, pela Comissão de Desenvolvimento Industrial do Ministério da Fazenda, visando, dentre outras metas, o aumento da produção energética. A partir do ano de 1954, os empreendimentos públicos ligados ao setor elétrico brasileiro passaram a contar com recursos do Fundo Federal de Eletrificação, administrado pelo BNDE (CORRÊA e PAULA, 2012). A década de 1950, nesse sentido, expressa um ponto de virada na eletrificação do Brasil.

Na década de 1960, mais especificamente em julho de 1960, foi criado o Ministério das Minas e Energia (MME), como órgão responsável pela produção mineral e energética⁸⁵. O MME incorporou uma série de órgãos que anteriormente eram de responsabilidade da Presidência da República, sendo a CNEN um deles, como já mencionado no subtópico anterior. De acordo com estudo de Corrêa (2007), a instalação do MME se deu numa conjuntura de recrudescimento do debate nacionalista. Isso influenciou a definição de diretrizes do MME, bem como suas principais ações voltadas para os setores da energia elétrica e da mineração até o golpe militar de 1964. Em 11 de junho de 1962, foi instalada a Eletrobrás, para a consolidação de estudos, projetos e para a construção e operação de usinas produtoras e transmissoras de energia. Com o início do governo militar, o processo decisório do MME migrou para o Executivo, e nesse contexto foram feitos os estudos para o aproveitamento de Sete Quedas e outras atividades do Comitê Coordenador de Estudos Energéticos da Região Centro-Sul, patrocinadas entre 1963 e 1966 pelo Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD). O resultado foi a construção das grandes usinas nos rios Grande e Paraná e a expansão do “milagre econômico” e de sua propaganda (CORRÊA, 2007, p. 7).

De acordo com Andrey Minin Martin (2019), o setor da energia elétrica destacou-se como um dos principais ‘recursos’ para a divulgação de um ‘Brasil-potência’, no contexto da propaganda dos governos militares. A partir de documentários produzidos pelos cineastas franceses radicados no Brasil Jean Manzon⁸⁶ e Romain Lesage⁸⁷, Martin mostra como a

⁸⁵ Com a posse do presidente Jânio Quadros, a pasta foi ocupada primeiramente pelo político João Agripino, a partir de 1º de fevereiro de 1961, passando depois para Gabriel Passos, já no governo de João Goulart, ambos da UDN (União Democrática Nacional). Em 1962, a pasta ficou a cargo de João Mangabeira, do Partido Socialista Brasileiro (PSB).

⁸⁶ Jean Manzon (1915-1990) foi um fotógrafo francês, considerado um dos responsáveis por várias inovações ocorridas no campo do fotojornalismo brasileiro. Chegou ao Brasil na década de 1940, depois de atuar como fotógrafo na Segunda Guerra Mundial e de ser preso pelos nazistas. Entre 1940 e 1960 trabalhou no Departamento de Imprensa e Propaganda (DIP), promovendo, através de suas imagens em movimento, os ideais

propaganda militar ligada ao estabelecimento do complexo hidrelétrico em Urubupungá, banhado pelo Rio Paraná e projetado entre as décadas de 1950 e 1970, representou um esforço de determinar como a sociedade brasileira deveria enxergar os rumos dos processos decisórios envolvendo o tema da energia. A produção de documentários como recurso para a visibilidade de ideias, empresas e marcas, foi bastante comum nesse contexto (MARTIN, 2019). A promoção do setor energético e de sua imagem, foi, nesse sentido, fundamental para fomentar o Brasil que com os militares, ‘daria certo’.

Como vimos no tópico anterior, embora a energia nuclear fosse considerada um tema de Segurança Nacional com alguma importância pelos militares, ela teve uma consolidação muito mais conturbada e demorada. Diferente das propagandas desenvolvidas para outros setores, a energia nuclear foi tratada quase sempre em sigilo, e, portanto, ficou distante da população. Nesse sentido, excetuando suas várias outras aplicações⁸⁸, e considerando a sua inexistência como elemento de propaganda, qual foi o lugar ocupado pela energia nuclear num debate mais amplo envolvendo a questão energética? Ou seja, dado o cenário geral do setor de energia elétrica sumariamente traçado aqui, como a energia nuclear foi pensada e quais eram os argumentos em favor de sua utilização? Já sabemos, é claro, do sonho nuclear decorrente do domínio do poder do átomo a partir de 1945 e que perdurou durante parte da década de 1950, mas a energia nuclear foi efetivamente tratada como opção viável a partir da década de 1960, ou continuou fazendo parte de um imaginário marcado tanto pela utopia quanto pela distopia tecnológica?

“Estamos entrando com entusiasmo na era nuclear, embora ainda utilizemos carvão vegetal” (BRAZIL, 1959, s.p.)⁸⁹. A frase em questão está nas primeiras páginas do livro *Brazil: Atoms for Peace*, publicação da CNEN de 1959 que será examinado no próximo tópico deste capítulo, e expressa muito bem uma das principais formas sob a qual a energia

de industrialização e modernização do Brasil do Estado Novo. Trabalhou também na revista *O Cruzeiro* e, em 1951, fundou sua empresa cinematográfica, a Jean Manzon Produções Cinematográficas (MARTIN, 2019).

⁸⁷ Nascido em Lyon, Romain Lesage (1924-1996) chegou ao Brasil em 1948, realizando seu primeiro filme longa-metragem, “A Beleza do Diabo”, entre 1949 e 1950. Já seu primeiro documentário média-metragem, “Bumba-meu-boi”, foi realizado em 1953. Dentre outros trabalhos de roteirista, ator e montador, também dirigiu os filmes “Pluft, o Fantasminha” (1962) e “P.S.: Post Scriptum” (1981).

⁸⁸ É importante destacar que, em vários momentos aqui, estou ressaltando aspectos ligados ao debate sobre energia elétrica, que se desdobra no processo de eletrificação, industrialização e urbanização do país. No caso da energia nuclear, assim como outros tipos de energia, muitas vezes a geração de energia elétrica não era o foco exclusivo das discussões.

⁸⁹ Essa publicação da CNEN, baseada em fotografias e num ensaio apresentando vários aspectos da energia nuclear no Brasil, não possui autoria e nem paginação. Entretanto, trata-se de publicação oficial. Nesse caso, para esta análise pode-se considerar que o documento reflete a posição da instituição, à época presidida pelo almirante Octacílio Cunha, que exerceu o cargo de 1956 a 1961, e que tem alguma de suas falas em palestras e eventos reproduzidas ao longo do livro.

nuclear se colocava nos debates sobre energia: um grande potencial que não se realizava efetivamente. Como já vimos em outros documentos analisados da CNEN, na década de 1960 existia um esforço por parte dos especialistas no tema em forçar os militares a decidir ou não pela energia nuclear. Entretanto, antes disso, ainda no final da década de 1950, o lugar da energia nuclear frente ao que se chamava de “crise mundial de energia” estava sendo amplamente explorado.

Na publicação da CNEN, que em 1959 era presidida pelo almirante Octacílio Cunha (1900-1974), a posição economicamente paradoxal do Brasil implicava em um país que consumia mais madeira do que qualquer outro combustível, mas que ao mesmo tempo estava engajado em participar dos resultados da utilização do átomo para a produção de energia. Buscando justificar essa aparente contradição, o ensaio apontava para as baixas nas reservas florestais em quase todos os estados brasileiros, mencionando que “o desmatamento deve ser considerado um crime contra o patrimônio nacional” (BRAZIL, 1959, s.p.). Já com relação ao combustível fóssil, para além do destaque da afirmação “Dentro de 20 anos: falta de combustível fóssil”, o texto reproduzia as projeções já feitas pelo jornalista Olympio Guilherme em “O Brasil e a Era Atômica”, de 1957⁹⁰:

Se dentro de poucos anos, como tudo faz crer, pudermos explorar nossas reservas petrolíferas na medida de nossas necessidades, o aceleração do ritmo de nosso progresso econômico exigirá, por certo, a duplicação de todos os cálculos até agora elaborados quanto ao provável consumo de energia hidrelétrica, reconhecido o impulso espetacular que a autossuficiência de petróleo dará à nossa indústria e à nossa agricultura (GUILHERME, 1957, p. 211).

Olympio Guilherme e, ao que indica a análise, a própria CNEN, consideravam que havia um “atraso lamentável”⁹¹ na exploração dos recursos petrolíferos brasileiros, sendo de apenas 6,24% o consumo do petróleo e derivados entre 1956-1957. Com relação ao potencial hidrelétrico, Guilherme expunha o dado de que apenas 2% desse tipo de energia era consumido no Brasil, em comparação aos 84,86% oriundos de lenha e carvão vegetal e dos 8% de carvão mineral nacional e estrangeiro (GUILHERME, 1957, p. 206)⁹². Com relação à

⁹⁰ Esse livro já foi mencionado neste capítulo.

⁹¹ O tema do petróleo é extenso e possui desdobramentos variados, sendo muitos deles distantes da discussão feita aqui. Entretanto, ele se conecta com a energia nuclear no debate sobre “a grande aceleração”, conceito cunhado para expressar o movimento ocorrido no pós-Segunda Guerra Mundial ligado à ampla disponibilidade de petróleo, e a difusão de novas tecnologias como os próprios radioisótopos. Para mais sobre a discussão do petróleo e o antropoceno no Brasil ver ACKER, Antoine. A different story in the anthropocene: Brazil’s post-colonial quest for oil (1930-1975). *Past and Present*, n. 249, p. 167-212, 2020.

⁹² Os dados expostos por Olympio Guilherme foram retirados do Conselho Nacional de Economia: Diário do Congresso Nacional (17-VIII-1956).

energia hidrelétrica, que como já vimos teve o seu desenvolvimento amplamente divulgado pelos militares a partidas das décadas de 1960 e 1970, pouco tempo antes disso, Olympio considerava:

O fato é que a capacidade de suprimento, de energia hidrelétrica, por exemplo, que em boa técnica deveria até antecipar-se à demanda, nem sequer acompanhou o extraordinário surto de progresso do país. O resultado é apontado pelos peritos: a percentagem do crescimento da capacidade instalada total do Brasil, nas décadas de 1930, 1940 e 1950 não foi além da metade da percentagem vigorante na década de 1920 (GUILHERME, 1957, p. 207).

Olympio Guilherme, assim como a publicação da CNEN de 1959, fomentavam a ideia de que a energia nuclear seria, em última instância, a única saída para o Brasil resolver seu problema iminente de energia elétrica. Esse argumento parecia ser um bom caminho para justificar os gastos iniciais com a chamada “fase experimental” em que o programa nuclear se encontrava. Era necessário, nesse sentido, partir da

[...] convicção de que ela [a energia nuclear] será muito mais econômica [...], do que as instalações de energia convencional, cujo preço dia a dia mais se avanta pelo duplo encarecimento dos materiais importados e pelo alto custo – e pior do que o custo é a sua alarmante escassez – da mão-de-obra especializada (GUILHERME, 1957, p. 211).

Embora todos os cálculos, cifras e dados fossem muito bem articulados em favor da defesa da “inadiável” necessidade da energia nuclear para o Brasil, esforço relacionado não só ao contexto, de otimismo global em relação a esse tipo de energia, mas à própria influência direta do programa Átomos para a Paz no país, alguns outros documentos da mesma época apresentavam perspectivas um pouco diferentes. É o caso do que consta no documento intitulado “O Programa Nacional de Energia Nuclear”, publicação da CNEN também de 1959 que condensava todo o balanço de dados feitos para o planejamento do programa, sendo muitos deles reproduzidos no livro *Brazil: Atoms for Peace*, mencionado acima. Entretanto, como não se trata de um texto mais crítico como o livro de Olympio Guilherme, e nem de algo feito para circular e divulgar a necessidade da energia nuclear como no livro *Brazil: Atoms for Peace*, o documento em questão parece focar menos em apontar os problemas relacionados aos outros tipos de energia do que em mostrar como a instalação de centrais núcleo-elétricas no Brasil complementariam, na verdade, as demandas do mercado elétrico de maneira mais localizada:

Um dos objetivos do programa nacional de energia nuclear consiste no planejamento e instalação, com a maior participação possível da indústria nacional, de usinas termoelétricas nucleares em regiões inacessíveis ao

suprimento econômico de combustíveis fósseis nacionais, principalmente carvão, e onde não exista potencial hidráulico economicamente explorável, nem iminência de crise de abastecimento que justifique a instalação urgente de termoeétrica a óleo combustível ou óleo Diesel. [...] Assim, a instalação, no Brasil, de usinas termoeletricas nucleares, visa [...] resolver o problema do suprimento de energia elétrica que, em certas regiões do mercado brasileiro de eletricidade, pode encontrar na usina termoeletrica nuclear a solução futura mais econômica (O PROGRAMA, 1959, p. 48).

O documento em questão, longe de ser contrário à necessidade da energia nuclear no Brasil, difere, entretanto, dos outros textos explorados aqui, sobretudo por parecer considerar a energia nuclear mais como algo complementar, a se desenvolver a longo prazo. Claro que ela também é vista como a solução mais econômica para o futuro, mas aparentemente, nesse último texto, isso é tratado como algo menos urgente. É necessário, no entanto, considerar não só a diferença heurística de cada documento analisado, como também pensar que o apelo à energia nuclear como única saída ao problema da eletricidade era apenas uma das vias, ainda que talvez fosse a mais importante, para se defender a necessidade de o Brasil entrar na “Era Atômica”. Existiam outros argumentos que focavam mais na importância desse setor para a indústria em geral, a mineração, as aplicações científicas, médicas e mesmo militares.

Dirigido e produzido também por Jean Manzon⁹³ para a CNEN, “O Brasil na Era Atômica” (10 min), sem data, mas indicado pelo acervo do Arquivo Nacional como produção do início da década de 1960, e narrado por Luiz Jatobá⁹⁴, inicia-se com cenas de pessoas na praia passando as “areias escuras de Guarapari, no Espírito Santo” pelo corpo, e uma narração associando a radioatividade, que para os leigos seria algo misterioso, com seus efeitos salutares no organismo. Apresentando o histórico de exploração das areias monazíticas no Brasil, o documentário mostrava como a partir daquele momento, essas áreas de intensidade radioativa poderiam ter seu mapeamento geofísico feito por aviões e técnicas de fotografia.

Nos quadros, os planos representam cenas de cientistas utilizando técnicas cartográficas e mineralógicas em laboratório com o propósito de ressaltar, a todo momento, o reconhecido “alto padrão técnico” desses estudos empreendidos no Brasil. Enquanto a narração segue falando da atuação da CNEN como reguladora de atividades e incentivadora de iniciativas particulares, as cenas vão se alternando entre técnicos com detectores passeando pelas praias de areias monazíticas, e trabalhadores braçais com enxadas. Começa, então, a

⁹³ Ao fim do documentário aparece a insígnia “uma produção Atlantida Jean Manzon”.

⁹⁴ Luiz Jatobá (1915-1982), foi um médico, locutor e jornalista brasileiro nascido em Maceió, Alagoas. Convidado para ser locutor da Columbia Broadcasting System (CBS), em Nova York, na década de 1940, foi responsável por dar notícias da Segunda Guerra Mundial aos brasileiros. Sua voz grave ficou famosa e associou-se à narração de muitos trailer exibidos nos cinemas brasileiros.

exposição, em etapas, do processo de industrialização desses materiais radioativos, desde a coleta até o seu processamento. Depois da separação por métodos diversos, sendo a separação magnética mencionada como a mais importante, os materiais estariam aptos a receber operações químicas. A narrativa continua mostrando um grande forno, o processo de trituração feito várias vezes e os trabalhadores equipados com alguns materiais de proteção (luvas, óculos, máscaras e aventais), remexendo com uma espécie de vassoura as areias em esteiras. Ainda durante essas cenas, já na metade do vídeo, a narração segue: “De acordo com as convicções de nosso povo, ingressamos com fervor no programa construtivo de Átomos para a Paz” (O BRASIL..., [década de 1960]). Logo após esse comentário, podemos ver uma cena famosa ocorrida no dia 25 de janeiro de 1958, em que o presidente da República Juscelino Kubitschek se encontra numa sala de operação nuclear com várias outras pessoas, dentre elas o governador de São Paulo Jânio Quadros, o presidente da CNEN Otacílio Cunha, e alguns homens com aventais brancos, para, em gesto simbólico, dar início ao primeiro reator nuclear do Brasil (e da América do Sul). A partir disso passa-se a explicar as características do “reator de São Paulo”, de tipo piscina (com a água blindando as radiações), mostrando o trabalho de técnicos entre o núcleo do reator e a sala de controle. “*Reactor on. A máquina que marca o século XX está funcionando*” (O BRASIL..., [década de 1960]).

O programa atômico brasileiro, tendo como peça central o “reator de São Paulo”, pretendia, de acordo com o vídeo, desenvolver pesquisas para fins pacíficos, produzir radioisótopos, e contribuir para a formação de cientistas:

Os sábios consideram os radioisótopos o mais importante auxiliar das pesquisas médicas depois do microscópio. Einstein descobriu novamente o mundo, quando provou através de uma equação que a energia e a matéria são a mesma coisa. O Brasil ingressou na fase positiva das experimentações que decorrem da ciência nuclear. Seus resultados se aplicam à medicina, à agricultura, e ao conhecimento de uma fonte fantástica de energia. Fruto de uma cooperação nacional e internacional, este reator nasceu sob a inspiração de um entendimento entre homens. ‘Dele esperamos’, disse o presidente da Comissão Nacional de Energia Nuclear, ‘essa benéfica reação em cadeia, que servirá de energia viva à realização de novos projetos’. Quando o mundo aprende a usar os átomos para a paz, o Brasil marcha com o mundo (O BRASIL..., [década de 1960]).

As últimas cenas do vídeo mostram mais técnicos em meio a uma grande aparelhagem, representando atividades envolvendo os radioisótopos, e finaliza com um plano conjunto enquadrando um militar armado vigiando o prédio que guardava o novo reator nuclear. O reator que estava sendo promovido pela produção de Jean Manzon era o batizado de IEA-R1, construído pela empresa Babcox & Wilcox, e montado no Brasil por meio do programa Átomos para a Paz, em 1956, iniciando com isso também as atividades do Instituto

de Energia Atômica (IEA), na cidade universitária da Universidade de São Paulo. A produção audiovisual em questão é um exemplo de como as discussões envolvendo o tema da energia nuclear e da radioatividade no início da década de 1960 não necessariamente decorriam de uma discussão sobre energia elétrica e a eletrificação do Brasil. Evidente que, nesse caso, isso não ocorre pois trata-se de um material encomendado pela CNEN, que tinha objetivos para além dessa questão. Apesar disso, o aparato atômico era visto como sinal de modernidade, seja pela relação com a indústria, com o desenvolvimento científico, ou mesmo pela influência da atuação de programas internacionais. Irei explorar mais esse tema no próximo tópico.

Avançando para os últimos anos da década de 1960, em meio às transformações decorrentes da tomada de poder pelos militares e a instituição de práticas coercitivas e de uma ideologia de progresso, como já vimos, entre 1967 e 1968 outros documentos e livros ajudam-nos a compreender o curso da discussão sobre energia nuclear no Brasil. No dia 15 de maio de 1968, o presidente da CNEN à época, o engenheiro nuclear formado pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) Uriel da Costa Ribeiro (1917-1993), proferiu uma conferência na Escola Superior de Guerra (ESG), publicada com o título *Panorama Atual do Emprego da Energia Nuclear*. O documento apresenta no início uma ficha completa do conferencista, desde o nome de seus pais até um estágio feito em 1960 no Laboratório de Argonne, nos EUA. A palestra teve como pontos o panorama internacional das aplicações da energia nuclear, a situação atual da energia nuclear no Brasil, possibilidades de aplicação e ação governamental. Embora Uriel da Costa Ribeiro, sempre direcionado em tom amistoso aos militares, tenha exposto conhecimentos diversos a respeito dos reatores nucleares, aplicações científicas e industriais dos radioisótopos, e até mesmo explosões nucleares e os usos pacíficos da bomba atômica na engenharia civil, indústrias de mineração e petroquímica, é certo que um dos principais direcionamentos estava voltado ao tema da eletrificação:

A esse panorama, acrescentarei o programa do governo no setor da energia nuclear, dando uma ideia do enorme esforço a ser empreendido pela Nação para que realmente possa ter um desenvolvimento autônomo, quando a necessidade de se atender à demanda de energia elétrica só encontrar soluções econômicas através da geração nuclear (RIBEIRO, 1968, p. 1).

Nesse documento, mesmo contendo algumas especificidades, a tônica de que, ao fim e ao cabo, a energia nuclear seria a única opção restante em termos de geração de energia também está presente. Os documentos analisados aqui divergem geralmente apenas nas estimativas desse processo - urgente ou a acontecer a longo prazo -, e nas estratégias usadas

para convencer sobre o investimento nesse setor. Os radioisótopos figuraram nesse sentido como elementos sempre elencados por unirem todas as aplicações da energia nuclear, possibilitando a construção de bons argumentos em favor desse tipo de energia. No caso da conferência de Uriel, por exemplo, esses elementos radioativos foram apresentados como úteis para a geração de eletricidade, além de todas as aplicações na radiofarmácia, bioquímica, geocronologia, esterilização de produtos médicos, veterinária, síntese de produtos químicos, hidrologia, e até junto ao catalisador no processo de *crakers* do petróleo⁹⁵ (para ajudar a controlar o fluxo). “O calor resultante da desintegração radioativa é convertido diretamente em eletricidade por pares termoelétricos colocados junto ao radioisótopo” (RIBEIRO, 1968, p. 29). Esse sistema de potência isotópica poderia gerar, de acordo com Ribeiro, 10.000 watts, e uma de suas principais aplicações estava ocorrendo em satélites artificiais. É interessante ver como aplicações bastante distantes da realidade brasileira eram articuladas em favor da promoção da ideia de que a energia nuclear, ou os radioisótopos, simbolizavam o futuro:

Um sistema desse conceito desenvolvido pelos americanos, utilizando o plutônio-238, chamado SNAP-3 (Systems for Nuclear Auxiliary Power) foi empregado em um satélite artificial lançado em 29 de junho de 1961. Até hoje, decorridos quase 7 anos, continuam a ser recebidos os sinais de rádio alimentado por esse sistema, depois de mais de 35000 voltas do satélite em torno da terra. O SNAP-27, desenvolvido pela Comissão americana e pela General Eletric, também utilizando o Pu-238 está projetado para fornecer 50 watts de potência e está programado para fornecer toda a energia necessária aos aparelhos de medidas que serão deixados na lua no programa “Apollo”, pelo período de um ano, após o retorno dos astronautas à terra (RIBEIRO, 1968, p. 29).

Uriel da Costa Ribeiro menciona ainda a colaboração formada naquela época entre a CNEN e a Eletrobrás, ambos órgãos do Ministério de Minas e Energia, para iniciar os trabalhos de implantação de reatores de potência no país. A conferência também traz muitos detalhes envolvendo desde a estrutura administrativa da CNEN e instituições correlacionadas, até uma catalogação de cursos existentes sobre energia nuclear no país, o que será analisado no próximo tópico.

Seja em livros escritos para uma circulação mais ampla como “O Brasil e a Era Atômica” (1957) de Olympio Guilherme, ou “Brazil: Atoms for Peace” (1959) da CNEN, ou mesmo em documentos e debates internos entre a CNEN e os militares, o tema da energia

⁹⁵ O chamado craqueamento do petróleo é um processo químico que transforma frações de cadeias de carbono maiores em frações com cadeias menores. Trata-se de uma quebra de moléculas longas de hidrocarbonetos para a formação de outras moléculas como alcanos, alcenos, carbono e hidrogênio. Esse processo se insere no trabalho de refinamento no qual são obtidas as frações de petróleo.

nuclear, oscilava nas décadas de 1950 e 1960 entre uma opção não só viável, como fundamental para o futuro a curto ou longo prazo, mas que em terras brasileiras parecia caminhar a passos lentos.

Uriel da Costa Ribeiro reproduziu pronunciamento feito no dia 6 de abril de 1967 pelo presidente da República Costa e Silva no Palácio do Itamaraty, que dizia ter como meta “colocar a serviço da melhoria das condições de vida do povo, as forças portentosas que se encontram no átomo” (COSTA e SILVA *apud* RIBEIRO, 1968, p. 60), ao mesmo tempo em que repudiava:

...O armamento nuclear e temos consciência dos graves riscos que a sua disseminação traria à humanidade. Impõe-se, porém, que não se criem entraves imediatos ou potenciais à plena utilização, pelos nossos países, da energia nuclear para fins pacíficos. De outro modo, estaríamos aceitando uma nova forma de dependência certamente incompatível com as nossas aspirações de desenvolvimento (COSTA E SILVA *apud* RIBEIRO, 1968, p. 60).

A fala de Costa e Silva era direcionada à posição contrária que o Brasil adotara na última Conferência de Genebra ao projeto ‘americano-soviético’ de não proliferação nuclear, que, como defendia, não seria bom para o país e para a América Latina como um todo. Vemos aqui, mais uma vez, o alinhamento do programa nuclear com a ideia de Segurança Nacional, bem como a busca pela autonomia em relação à concretização da energia nuclear no Brasil, tópico que já abordei anteriormente. Certamente que pela formação militar e por estar falando na ESG, Uriel da Costa Ribeiro não iria contrariar a agenda dos militares em relação ao programa nuclear e à política externa brasileira. Ainda assim, disse que, diante de todos os dados apresentados em sua conferência, seria um “colossal esforço que a Nação terá de empreender para executar um programa de tal envergadura” (RIBEIRO, 1968, p. 68). Por outro lado, menciona que o “governo está cômico das dificuldades a enfrentar” e “certo de interpretar as legítimas aspirações do povo brasileiro, contando com a competência e dedicação dos nossos cientistas e técnicos” (RIBEIRO, 1968, p. 68). É interessante perceber a articulação feita por Uriel no final de sua conferência, entre a dificuldade do desenvolvimento do projeto atômico, em todos os sentidos, a defesa, ao menos de sua parte, da posição central dos cientistas e técnicos nesse processo, e a demanda do povo brasileiro. A população brasileira, entretanto, certamente não estava implorando em 1968 pela construção de usinas nucleares no Brasil. Mas, para Uriel, era como se a energia nuclear representasse os “objetivos de progresso e desenvolvimento tão desejado por todos nós” (RIBEIRO, 1968, p. 68).

Também em 1968 foi publicado o livro *A Energia Atômica e o Futuro do Homem*, de 1968. A obra reunia trabalhos que foram apresentados num simpósio sobre os usos pacíficos das radiações, organizado em julho de 1967, no Rio de Janeiro, pela Academia Brasileira de Ciências (ABC). Contando com a direção do geneticista Antônio Brito da Cunha, organização desse mesmo e de Crodowaldo Pavan, e lançado pela Companhia Editora Nacional/Editora da USP, a publicação evidenciava a interação entre cientistas brasileiros e estadunidenses, o esforço pelo debate sobre o tema da energia nuclear nas ciências em paralelo ao desenvolvimento da política atômica brasileira, os diversos desdobramentos do uso das radiações na pesquisa biológica e as transformações da biologia brasileira em consonância com outras regiões do globo.

Dos 9 capítulos do livro, 5 foram assinados por cientistas brasileiros, como os próprios organizadores, os geneticistas Antônio Brito da Cunha e Crodowaldo Pavan. Outros cientistas brasileiros são: o físico, diretor do IEA e ex-presidente da CNEN (1961-1964) Marcello Damy de Souza Santos; os pesquisadores de ‘química biológica’ e agronomia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-ESALQ-USP), Eurípedes Malavolta e Otto Crocomo; e o radiobiologista Luiz Renato Caldas, do Instituto de Biofísica (UFRJ). Do estrangeiro, publicaram William Lawson Russell, Michael Bender e Arthur Upton, ambos da Divisão de Biologia do importante Laboratório Nacional de Oak Ridge (Tennessee, EUA); e Alan Stevenson, da Unidade de Pesquisa sobre Genética de Populações da Universidade de Oxford. Além disso, o principal pesquisador do mundo em radiobiologia e mutações genéticas, Alexander Hollaender (1898-1986), também de Oak Ridge, assinou a introdução do livro (PAVAN e CUNHA, 1968). Eles debateram o futuro biológico do homem na *Era Atômica*, os radioisótopos na agricultura, os efeitos genéticos das radiações, os fatores que afetam a indução de mutações no camundongo, as drosófilas, os efeitos da radiação nos cromossomos e nas populações humanas, a radiação e o câncer, e a importância das radiações na medicina em geral.

No prefácio, Crodowaldo Pavan e Antônio Brito da Cunha falavam da evolução biológica do homem até o domínio da energia nuclear, apontando essa fonte de energia como algo extraordinário, que “já o liberou do pesadelo da possível falta de energia pelo esgotamento das reservas de petróleo e de carvão” e “abriu-lhe novos horizontes de possibilidades infinitas” (PAVAN e CUNHA, 1968). A biologia do pós-guerra possuía esse otimismo, entre a busca pela cura do câncer e de outras doenças, o entendimento de processos e dinâmicas intracelulares e a esterilização de pragas. Esses cientistas estavam acompanhando os investimentos em energia atômica no mundo todo, seja como peças fundamentais para a

legitimidade social desses projetos (usos pacíficos), seja angariando financiamento e infraestrutura para suas agendas de pesquisa específicas. A partir dos anos 1950, no Brasil, a política nuclear tornou-se profundamente imbricada com a política científica, como certifica a atenção que os principais nomes da biologia brasileira davam ao tema da energia atômica:

O Brasil está numa fase de intensificação do uso da energia nuclear. Essa foi a principal razão para a organização do Simpósio patrocinado pela Academia Brasileira de Ciências em julho de 1967 no Rio de Janeiro e para nossa iniciativa de apresentar os trabalhos em forma de livro para um público menos especializado (PAVAN e CUNHA, 1968, p. 3).

Na introdução do livro, Hollaender apresenta como enxergava o tema da radiação na biologia, e a inserção da ciência brasileira nesse campo:

Na verdade, a radiação é um tipo de coordenador. Ela entra em todos os diferentes aspectos da biologia, desde a bioquímica e a biologia molecular até a ecologia e outras áreas, e este amplo fundo científico é a área onde Associações para o Progresso da Ciência se tornam mais significativas, isto é, na cooperação dos diferentes cientistas que trabalham tanto nos aspectos fundamentais como nos aspectos aplicados da ciência. [...] É uma satisfação para mim, que tenho acompanhado de perto o desenvolvimento da ciência brasileira, ver que muitas das importantes contribuições aqui apresentadas são originais, publicadas pela primeira vez em língua portuguesa, sendo muitas delas devidas a cientistas brasileiros (HOLLAENDER, 1968, p. 7).

Essa publicação, bem como seus temas e a interação entre esses pesquisadores serão mais exploradas ao longo da tese. Entretanto, dentre os capítulos do livro, um particularmente se aproxima do tema aqui analisado, “As radiações como fonte de energia para o homem”, escrito pelo físico nuclear Marcello Damy de Souza Santos (1914-2009). Marcello Damy, como já dito acima, havia presidido a CNEN entre 17 de fevereiro de 1961 a 09 de abril de 1964, dias após o golpe militar. Com uma trajetória científica consistente e extensa, Damy formou-se em física pela USP em 1938, fez sua pós-graduação na Universidade de Cambridge, e estudou o tema dos raios cósmicos, o que culminou na descoberta da produção do ‘chuveiro de mésons’. Além disso, fez parte de sua formação no Cavendish Laboratory, no Reino Unido, estudando com o prêmio Nobel de física de 1915, William Bragg, e inovando os contadores Geiger-Müller, tendo conseguido reduzir a duração de sua descarga. Participou do processo de criação do CNPq, da negociação do programa Átomos para a Paz e da fundação do IEA e montagem do IEA-R1. Além disso, o físico participou, entre 1969 e 1972, do comitê de dados nucleares da AIEA, dirigiu o Instituto de Física Gleb Wataghin e implantou o Laboratório de Física Nuclear da PUC-SP. De acordo com Andrade (2006a), o trabalho de Marcello Damy foi marcado pela luta em favor do desenvolvimento da tecnologia nuclear no

Brasil, sendo inclusive crítico da compra do reator da Westinghouse e do Acordo Nuclear teuto-brasileiro de 1975.

No capítulo em questão, Marcello Damy critica o fato de a troca de informações sobre energia nuclear geralmente ocorrer em sigilo por ser considerado tema de interesse militar e tecnológico. Frisava também que “a descoberta destinada a revolucionar a tecnologia militar e a oferecer perspectivas nunca antes vislumbradas”, ironicamente, era resultado da cooperação internacional entre cientistas, ou seja, da troca livre de informações, ocasionada pela Segunda Guerra Mundial, e que esses mesmos cientistas teriam conseguido transformar suas próprias aplicações para fins bélicos em aplicações pacíficas. Marcello Damy menciona que muitas dessas aplicações pacíficas resultavam do trabalho cooperativo de cientistas nucleares de vários países em laboratórios estadunidenses. Apesar da aparente crítica de Marcello Damy aos militares e à censura envolvendo os temas nucleares, ele também apontava que países do “clube atômico” usavam a eventual aplicação das bombas para fins bélicos como pretexto para impedir o desenvolvimento autônomo da energia nuclear em outros países, aspecto que também era ‘denunciado’ pelos militares. Apresentando uma gama variada de dados com vistas a defender o uso da energia nuclear para geração de eletricidade, o físico considerava que o:

Emprego dessa nova forma de energia representa a única alternativa conhecida para que a humanidade possa manter o seu ritmo de desenvolvimento após o ano 2000. No caso particular do Brasil, seu emprego representa um *imperativo de sobrevivência* para a década de 1980. Isto é, para o dia de amanhã! (SANTOS, 1968, p. 32, grifo do autor).

Mencionando estudos de economistas da ONU apresentados em Genebra em 1955, 1958 e 1964, Marcello Damy ressaltava que em não mais de 30 anos, mas possivelmente antes disso, os recursos de carvão e petróleo estariam esgotados no mundo todo. Sendo possível que essas duas fontes de energia fossem severamente limitadas em tempo bem menor, o físico também apontava a insuficiência das fontes hidrelétricas: “em escala mundial representa menos do que 3% do total [...] sua contribuição atual é pequena e será totalmente desprezível no ano 2000” (SANTOS, 1968, p. 34). Além disso, Marcello Damy defendia que a energia nuclear iria tornar “sem sentido” a construção de centrais baseadas na utilização de combustíveis fósseis. Destacando a imprevisibilidade do desenvolvimento da energia nuclear por tratar-se de tecnologia recente, Marcello Damy igualmente critica o potencial hidrelétrico seguindo o teor do texto da CNEN de 1959 analisado acima, dizendo que a instalação de pequenas centrais nucleares poderia resolver o problema da distribuição desigual das centrais hidrelétricas no país. O significado da energia nuclear como *imperativo de sobrevivência* para

o Brasil, seria, nesse sentido, relacionado ao fato de que, se esse setor não se desenvolvesse, correria o risco de “continuarmos na era da lenha e das rodas de água numa época em que o homem já conquista o espaço interestelar” (SANTOS, 1968, p. 37).

Citando a transição pela qual o Brasil passava, de uma economia de base agrícola para uma economia industrial, com uma população de mais de 80 milhões de pessoas e mais de 40% dessa população situada na região Centro-sul do país (São Paulo, Rio de Janeiro, Guanabara e Minas Gerais), Marcello Damy explora o argumento de que o potencial hidrelétrico disponível nessa região já estaria completamente utilizado na década de 1980. Ele faz isso comparando dados de crescimento populacional, demanda energética, desenvolvimento industrial e disponibilidade para a instalação de hidrelétricas: “Mesmo a existência hipotética do dobro do potencial estimado, apenas atrasaria a exaustão das fontes hidrelétricas disponíveis por um prazo de seis anos” (SANTOS, 1968, p. 39). O ponto era de que a manutenção do ritmo do desenvolvimento iria exigir a utilização de uma nova fonte de energia e que esta poderia ser ou energia térmica, produzida pela combustão do carvão, a energia proveniente da queima do petróleo e a energia nuclear, mas “apenas a última pode fornecer a solução para o problema” (SANTOS, 1968, p. 39).

Marcello Damy deixa claro, por fim, a quem todos esses dados e argumentos estava sendo direcionado. Como já exploramos um pouco neste tópico, a energia nuclear parecia algo fora da realidade brasileira, tanto pela existência das hidrelétricas, quanto pela utilização do carvão e do petróleo:

Num país rico em potencial hidráulico como é o caso do Brasil, surge com frequência a discussão sobre a conveniência de ser iniciado um programa nuclear antes do esgotamento total das reservas hidrelétricas economicamente exploráveis. Tal discussão só poderia ser do interesse no momento atual, pois, como já tivemos a oportunidade de mencionar, o potencial hidrelétrico da região Centro-Sul estará totalmente utilizado dentro de duas décadas, se for mantido o atual ritmo de demanda de energia, reflexo do desenvolvimento industrial; a partir dessa época, não haverá outra possibilidade senão lançar mão da energia atômica (SANTOS, 1968, p. 43).

O apelo de Damy finaliza com uma exposição sobre a fusão nuclear⁹⁶, vista como a forma de geração de energia do futuro, quando os recursos mundiais de urânio e de tório tiverem esgotados. Atualmente, a fusão nuclear ainda é considerada, por físicos e entusiastas da tecnologia, como a ‘energia do futuro’.

⁹⁶ Processo no qual dois núcleos atômicos formam um único núcleo, mais pesado. Esse é o processo que ocorre, por exemplo, na produção de energia no sol, e nas bombas termonucleares (bombas de hidrogênio). A ideia é que, no futuro, a fusão nuclear possa ser controlada em reatores, numa reação no qual dois isótopos de hidrogênio produziram hélio, levando assim a uma grande liberação de energia.

Embora o livro no qual Marcello Damy expôs suas ideias, resultado do evento internacional realizado um ano antes, tenha sido idealizado para um público mais amplo do que apenas os cientistas, certamente os temas debatidos eram espinhosos para os não-especialistas. No âmbito dos jornais, desde o final da Segunda Guerra Mundial é possível ver o tema da energia nuclear sendo noticiado, mas o espaço para que cientistas fizessem um trabalho de aproximação do público com esse tema não era muito grande. No pós-guerra, iniciativas de divulgação científica começaram a surgir no Brasil, como o tabloide dominical *Ciência para Todos*, do jornal carioca diário *A Manhã*, criado em 1948 e descontinuado em 1953. Os temas abordados envolviam as áreas da biologia, medicina, física e astronomia, bem como temas tecnológicos, com artigos voltados para um amplo público. 14% do total desses textos era sobre física, como os artigos “Como será a bomba de hidrogênio?” e “A pilha atômica francesa”, sendo que, como aponta Bernardo Esteves (2006, p. 96), a maior parte desses textos envolvia o campo da física nuclear e suas aplicações militares e civis. O cientista José Reis (1907-2002), considerado “pai da divulgação científica” no Brasil, foi um grande divulgador do tema da energia nuclear nos jornais, publicando artigos sobre essa temática de 1948 até pelo menos 1985 (BURLAMAQUI, MASSARANI, MOREIRA, 2017). Na Coleção José Reis (Col. J.R.) da Biblioteca de História das Ciências e da Saúde da Casa de Oswaldo Cruz (COC/Fiocruz), no Rio de Janeiro, consultada nesta pesquisa, é possível encontrar número considerável de livros que pertenceram ao cientista sobre energia nuclear, radiação, Radiobiologia, radioisótopos, dentre outros, dos mais diversos países.

Analisando os textos sobre energia nuclear publicados por José Reis nos jornais *Folha da Manhã* (1925-1959) e *Folha de S. Paulo* (1960-), Burlamaqui, Massarani e Moreira (2017) argumentam que Reis acreditava ser essencial esclarecer as pessoas para que a ciência tivesse o apoio da sociedade para questões importantes, como era a da energia nuclear. Embora Reis considerasse que a energia nuclear seria assegurada em nações desenvolvidas e em desenvolvimento, e tenha ressaltado aspectos ‘positivos’ da radiação, como seus usos médicos e pacíficos, a partir do estudo de Burlamaqui, Massarani e Moreira (2017), é possível perceber como o cientista explorou seus riscos e efeitos negativos, criticando as bombas atômicas e os usos bélicos do átomo. O cientista abordou temas como acidentes nucleares, resíduos atômicos, alterações climáticas decorrentes de uma guerra nuclear, armas letais do futuro, e os efeitos da precipitação radioativa. Em texto publicado na *Folha de S. Paulo* no dia 24 de julho de 1973, Reis comentou sobre as consequências da ‘chuva radioativa’ ocasionada pelos testes nucleares dos EUA no Atol de Bikini: “cobertas de um manto de flocos brancos acinzentados, irritantes, que faziam arderem os olhos e se inflamar o nariz. Depois vieram

náuseas, mais tarde vermelhidão e inchaço do rosto, do pescoço, das mãos” (REIS *apud* BURLAMAQUI, MASSARANI, MOREIRA, 2017, p. 102).

Sem o objetivo de estabelecer uma relação direta entre as considerações de cientistas sobre o tema da energia nuclear e como historicamente a sociedade se apropriou disso, o fato é que na balança dos usos pacíficos e positivos contra os usos bélicos e riscos, a energia nuclear ficou marcada muito mais pelos seus riscos. Se os efeitos negativos apontados por um grande divulgador científico e conhecedor do tema são extremos mesmo para os dias de hoje, é certo que deve ter impactado os leitores desses textos nos jornais. Além disso, desde os anos 1950, filmes de ficção científica, por exemplo, passaram a explorar largamente, das mais criativas formas, os riscos da energia nuclear para a humanidade.

1.3.3 *Neurose antinuclear*: algumas representações da energia nuclear no Brasil

Especulações sobre os efeitos somáticos de uma “poeira nuclear” são vistas em clássicos da Era de Ouro da ficção científica no cinema, como o filme estadunidense *The Incredible Shrinking Man* (O incrível homem que encolheu), de 1957, dirigido por Jack Arnold e estrelado pelo ator Grant Williams. Baseado na obra de Richard Matheson, o filme conta a história de Scott Carey, que durante um passeio marítimo com sua esposa é atingido por uma nuvem de radiação e, após isso, passa a encolher aos poucos. O filme mostra inclusive cenas de Carey passando por vários procedimentos com métodos da medicina nuclear e fala dos radioisótopos como parte disso. Os médicos conseguem barrar o encolhimento, mas têm dificuldades para achar um tratamento que reestabelecesse sua forma física, fazendo com que Carey tivesse que buscar maneiras de sobreviver dentro de sua própria casa, fugindo de seu gato e tentando escapar de uma aranha.

Seria uma tarefa árdua e, ainda assim, praticamente impossível mencionar a maioria dos filmes que, a partir da década de 1950, exploraram o tema da radiação em suas tramas. Na verdade, a radiação, de modo geral, penetrou profundamente o universo não só da ficção científica, mas também do horror e do drama, ao longo da segunda metade do século XX. Se focarmos, entretanto, especificamente nos filmes das décadas de 1950 e 1960, poderemos perceber conexões mais diretas entre o universo ficcional e a realidade do chamado pânico atômico. Um exemplo bastante claro dessa relação está na filmografia do diretor japonês Ishiro Honda (1911-1993). Honda dirigiu filmes que tinham como protagonistas monstros estranhos e gigantes acordados pelos megatons das bombas nucleares, como no caso do emblemático *Godzilla* (*Gojira*, 1954, 96 min). Outros exemplos do mesmo diretor são O

Monstro da Bomba H (*Bijo to ekitai ningen*, 1958, 87 min), Mothra, a Deusa Selvagem (*Mosura*, 1961, 101 min) e Matango, a Ilha da Morte (*Matango*, 1963, 90 min). Fora do circuito japonês, tem-se nos EUA outros filmes que mencionam radioisótopos, radiação e apocalipse nuclear. Em 1951 foi lançado o clássico e bem-produzido Sci-fi *The Thing from Another World*, de Christian Nyby. Em 1955, o filme *Day the World Ended*, do mestre dos filmes B Roger Corman, especulava sobre os efeitos da radiatividade para a vida na Terra. No outro lado da moeda, na década de 1950, filmes de caráter educativo acerca dos potenciais da energia atômica também foram produzidos. Em 1953, a General Electric patrocinou a animação de curta-metragem *A is for Atom*, e, em 1957, uma grande produção da Walt Disney lançou *Our Friend the Atom*, animação de 60 minutos dirigida por Hamilton Luske.

É possível encontrar especulações fantásticas como essas também no Brasil, o que permite refletir sobre como a energia nuclear era apropriada por setores da sociedade não envolvidos diretamente com o debate energético, como o cinema, a música e as artes de modo geral. No Brasil, de acordo com Alfredo Suppia (2006, 2007), o cinema de ficção científica se constituiu a partir de duas correntes. Uma delas, predominante, relacionada à comédia, que trabalhou temas tradicionais da ficção científica na chave da paródia⁹⁷. A outra, mais rara, teria intenções mais sérias, tratando de temas ligados sobretudo à questão ambiental. Nessa segunda vertente, estão os filmes *Parada 88*, de 1978, e *Abrigo Nuclear*, de 1981⁹⁸. Em *Parada 88: O Limite do Alerta*⁹⁹, dirigido por José de Anchieta, ambientado no ano de 1999, a sociedade estava há 5 anos vivendo presa em prédios interligados por túneis plásticos devido a uma substância tóxica que teria contaminado o ar após uma fábrica da indústria química explodir. De acordo com Suppia (2020), o filme foi concebido desde o início por seu diretor como um alerta ecológico e, embora não explore o tema da radiação e da energia nuclear, dado que se tratava de uma intoxicação por dioxina, se assemelha em partes a

⁹⁷ Parar citar apenas alguns exemplos, se encaixam nessa corrente os filmes *Os Trapalhões na Guerra dos Planetas* (1978), escrito por Renato Aragão e dirigido por Adriano Stuart e *Etéia, a extraterrestre em sua aventura no Rio* (1984), de Roberto Mauro. Filmes que fazem parte da chamada pornochanchada também se encaixam, de acordo com Suppia, nessa categoria, como *O Inseto do Amor* (1980), de Fauzi Mansur, que conta com uma trama envolvendo o inseto fictício *Anophelis sexualis*, a figura do cientista louco alemão (Hans Muller), e uma trama envolvendo, a partir do sexo, os temas da epidemia e das alterações comportamentais causadas por fenômenos químicos (SUPPIA, 2006).

⁹⁸ Outros como os curtas-metragens *Manhã Cinzenta* (1969), de Olney São Paulo, *Túnel 93°* (1972), de Claudinê Perina Camargo e *O Fim* (1972), de Elie Politi, também podem se encaixar no rótulo de “ecodistopia”, produzidos durante a ditadura militar brasileira (SUPPIA, 2020).

⁹⁹ De acordo com os estudos de Suppia (2020), *Parada 88* recebeu financiamento da extinta Embrafilme, que considerou que a produção possuía uma linguagem nova, diferente da vigente no cinema brasileiro à época, da chamada ‘estética da fome’. A partir de uma entrevista feita com José de Anchieta, Suppia menciona que a motivação do filme “veio de seu primeiro filho, que na infância teve sérios problemas respiratórios devidos à poluição de São Paulo” (SUPPIA, 2020, p. 193).

outros filmes que exploram o tema do ar contaminado e poluído por agentes físico-químicos radioativos. É o caso do filme *Abrigo Nuclear* (1981), que irei analisar aqui, juntamente com as ideias de seu diretor, o cineasta baiano Roberto Pires (1934-2001). Embora minha análise neste subtópico tenha caminhado por fontes de naturezas e tipologias muito diferentes, o objetivo aqui é compreender como a energia nuclear estava sendo pensada, por diferentes atores, entre as décadas de 1960 e 1980. Já analisei – e esta tese voltará a isso em vários outros momentos - como esse tema se desenvolveu sobretudo entre o final da década de 1950, com a criação da CNEN e a atuação do programa Átomos para a Paz, e na década de 1960, com as mudanças ocasionadas pelos governos militares, as diferentes opções energéticas e o apelo de cientistas em favor do programa atômico. Cumpre saber como a energia nuclear foi representada por outros setores da sociedade na década de 1980, quando o acordo Brasil-Alemanha teve desdobramentos que fugiram do idealizado inicialmente. E a redemocratização do Brasil, impactou a condução do tema? A escolha em analisar produtos culturais como o cinema, por exemplo, se dá, como já mencionado, pela atestada dificuldade de se efetivar, no Brasil, não só a energia nuclear em si como também um debate público sobre ela.

Suppia (2020) afirma que o filme *Abrigo Nuclear* foi produzido “num cenário político de gradual reabertura”, e contrastou com a “euforia atômica do governo brasileiro, que depositava grandes expectativas nas usinas nucleares de Angra dos Reis” (SUPPIA, 2020, p. 195). Nesse contexto, entretanto, o programa nuclear “civil” estava passando por uma série de dificuldades, como já vimos, relacionadas com a impossibilidade de a Alemanha transferir componentes fundamentais para o domínio do ciclo do combustível nuclear, o que foi comprovado pela CPI aberta sobre o acordo teuto-brasileiro em curso. Com isso, um “programa paralelo”, coordenado pelo recém-empossado presidente da CNEN, Rex Nazaré Alves, e implementado pelas Forças Armadas, teve início, em 1982, ocorrendo em completo sigilo até 1987. Embora no ano seguinte ao lançamento de *Abrigo Nuclear*, também em 1982, tivesse ocorrido a primeira reação em cadeia na usina de Angra 1, sua operação comercial só ocorreu em 1985, e a usina funcionou de forma precária até 1994, apresentando uma série de problemas e incidentes (ANDRADE, 2006, p. 134). Do mesmo modo, a usina de Angra 2, teve uma série de interrupções e atrasos: embora tenha tido um avanço progressivo de suas obras entre 1982 e 1983, sua inauguração só ocorreu no ano 2000. No contexto de produção e estreia de *Abrigo Nuclear*, ocorria uma ampla discussão envolvendo outras alternativas energéticas, evidenciando que não existia, na verdade, grande empolgação com as tecnologias nucleares nem por parte do governo, nem por parte da sociedade, ficando esse tema, *grosso*

modo, circunscrito muito mais aos anseios secretos dos militares. Em 1980, por exemplo, o Partido Democrático Social (PDS), lançado pelo presidente João Figueiredo, em substituição à Arena, tinha em sua agenda política durante o início do processo de redemocratização “a prioridade ao álcool¹⁰⁰ como alternativa energética”, junto da reforma agrária, do aperfeiçoamento do sistema democrático e direito de greve (*Jornal do Commercio*, 24 de janeiro de 1980, p. 12). E em meio a notícias como a possibilidade de utilização de turfa (material de origem vegetal) para alimentar termoelétricas (*Jornal do Commercio*, 14 de abril de 1980, p. 9), a defesa da biodigestão (*Jornal do Commercio*, 15 de outubro de 1980, p. 7) e mesmo a energia solar como uma ‘boa alternativa’ (*Jornal do Commercio*, 21 de novembro de 1980, p. 6), a energia nuclear ainda parecia ter um lugar ambíguo, entre a identificação como elemento essencial, para o programa nuclear, a diplomacia internacional e os cálculos de alguns especialistas, e a abstração, para boa parte da população. Uma notícia do *Jornal do Commercio* publicada no dia 11 de junho de 1980 dizia:

O general Antônio Bandeira, comandante do III Exército, declarou ontem em Porto Alegre que embora o Brasil não precise “agora” da energia nuclear deve se preocupar com o assunto, para a eventualidade de ver terminado seu potencial hídrico. Desvinculou a questão atômica da segurança nacional, argumentando que o país precisa de uma alternativa energética para o futuro. *Afirmou ainda que, se o Governo optou pela adoção da tecnologia nuclear, “essa é uma decisão séria”.* Bandeira argumentou nada entender da questão nuclear, mas mesmo assim lembrou que o Brasil não pode se dar ao luxo de esperar o fim de seu potencial hídrico para só então buscar outro tipo de energia (*Jornal do Commercio*, 11 de junho de 1980, p. 6, grifo nosso).

Assim, esse é um pequeno retrato do contexto de lançamento do filme *Abrigo Nuclear*. Dirigido por Roberto Pires e roteirizado também por Pires juntamente com Orlando Senna, o filme aborda o tema da energia nuclear a partir das especulações fantásticas da ficção científica. No filme, a humanidade abandonou a superfície da terra, em decorrência da poluição radioativa do meio ambiente, e passou a viver num abrigo subterrâneo. Esse abrigo é comandado pela ditadora Avo, e a trama se desenvolve a partir da história de Lat (possível alusão à César Lattes), que busca, juntamente com um grupo dissidente e contrário ao “Sistema Cibernético Nuclear”, transmitir as imagens de um ‘memorizador’ contendo a história da humanidade na superfície até a Era Atômica para a população que vivia sem memória e presa no abrigo. Com a adesão daquela população, o grupo pretendia desativar os reatores nucleares, desenvolver “métodos limpos” de energia e reconquistar a superfície.

¹⁰⁰ Surgiu nessa época o Proálcool (Programa Nacional do Álcool), um programa que iria intensificar a produção de álcool combustível (etanol) para substituir a gasolina. Esse tema não tem a ver com o debate sobre energia elétrica, mas se insere dentro de uma grande discussão sobre energia de modo geral.

Vestidos uniformemente e caminhando em linha reta sob o olhar totalitário da comandante Avo, aquela população teve sua memória desativada, e o ‘memorizador’ (uma espécie de *pendrive*) era proibido de ser utilizado com a justificativa de que o seu conteúdo iria produzir suicídios em massa. Contrários a essa ideia, o grupo de Lat acreditava que conhecer o passado e as “atrocidades” ocorridas a partir do domínio atômico libertaria a humanidade. Gravado inteiramente na Bahia, com cenas de estúdio na Boca do Rio e no desativado Parque de Exposições Agropecuárias de Salvador, e cenas externas nas dunas da praia de Arembepe, o filme de Pires é considerado bastante inventivo, e um dos primeiros *sci-fi* brasileiros. Sua estética e argumento lembram filmes clássicos do gênero como *THX-1138*, de 1971, dirigido por George Lucas.

Por ter sido gravado durante a ditadura militar, ainda que numa fase considerada mais “branda” desse regime, o filme chama atenção pela forma como alegoriza o tema do autoritarismo, da tortura e mesmo da energia nuclear. Isso também pode ser visto em filmes como o próprio *Parada 88*, mas também nos curtas-metragens *O Pedestre* (1966) e *Manhã Cinzenta* (1969), que como argumentam Eduardo e Abramovitz (2020), reagiram ao golpe militar de 1964 através da ambiência distópica e de emblemas da ficção científica. Numa crítica de Paulo Renan publicada no dia 18 de janeiro de 1981, no *Jornal do Brasil*, vários pontos considerados positivos de *Abrigo Nuclear* são ressaltados, como a sua originalidade, o seu caráter artesanal e familiar (com a mulher, filhos e cunhados de Roberto Pires participando), a forma como conseguiu construir um cenário futurista com baixo orçamento (Cr\$ 12 milhões, em comparação aos no mínimo 10 milhões de dólares - sendo que 1 dólar, em 1980, valia mais ou menos 51,4 cruzeiros - gastos em produções hollywoodianas do gênero¹⁰¹), e o protagonismo feminino (dois dos papéis principais, as dirigentes do abrigo, ficaram com mulheres). Nessa mesma crítica, é apontada que a dificuldade orçamentária também levou Roberto Pires a montar uma cooperativa com os atores, que não receberam salários, apenas ajuda de custo e a promessa da distribuição da arrecadação após o lançamento do filme. Por conta disso, optou-se por atores desconhecidos, com exceção da atriz Norma Bengell, que aceitou participar do filme “por abordar um tema humanista” (RENAN, 1981, p. 6).

Logo no início do texto, *Abrigo Nuclear* é definido como “um filme futurista que tenta

¹⁰¹ Paulo Renan ainda diz que se os produtores de filmes como *2001: Uma Odisseia no Espaço* (Stanley Kubrick, 1968) ou *Contatos Imediatos de Terceiro Grau* (Steven Spielberg, 1978) vissem o cenário de *Abrigo Nuclear* montado no Parque de Exposições de Salvador se revoltariam. “Afim, substituir um visor de computador e suas lâmpadas por um escorredor de prato usado ao contrário e bolas de árvore de Natal e conseguir um resultado idêntico é de fato um grande negócio em termos de custo” (RENAN, 1981, p. 6).

desglorificar a energia nuclear como salvação da humanidade” (RENAN, 1981, p. 6). O trecho em questão, porém, encontra-se em aspas, o que permite imaginar que o crítico tenha retirado essa fala do próprio Roberto Pires. Comentando sobre as motivações do filme, fica claro que a ficção científica de Pires possuía raízes concretas na realidade:

A ideia de realização do filme surgiu em 1973. Só que, a intenção de Roberto Pires – autor também de *A Grande Feira*, um dos maiores sucessos de bilheteria no início da década de 1960 – era a de fazer um documentário sobre a energia nuclear, tomando depoimentos de cientistas de todo o mundo preocupados com seus efeitos. Roberto submeteu sua ideia ao então INC (Instituto Nacional do Cinema) que a vetou sob a alegação de que iria de encontro a propósito do Governo. Diante disto, decidiu partir à ficção, aprovada depois já pela Embrafilme, com um orçamento inicial de Cr\$ 4 milhões (RENAN, Paulo, 1981, p. 6).

Não é incomum que a ficção científica dialogue, alegorize, metaforize e especule sobre a realidade e o contexto histórico vivido. Essa relação, entre ficção, fantasia e realidade, entretanto, geralmente não ocorre de maneira tão óbvia (ROBERTS, 2018). Desse modo, num país sem tradição em cinema de gênero, sobretudo o de ficção científica, parece não surpreender que uma obra fantástica tenha surgido de uma intenção inicial de produzir um documentário de denúncia mitigada pela ditadura. A utilização da fantasia, nesse caso, para abordar um tema latente para Roberto Pires, é algo bastante peculiar. No filme, pequenos documentários, contidos no tal *memorizador*, são exibidos, abordando a Era Atômica como o ‘início da grande catástrofe nuclear’, e criticando o programa Átomos para a Paz como estratégia para apagar da memória o ‘genocídio atômico’. Assim, sendo o único filme de ficção científica dirigido por Roberto Pires, *Abrigo Nuclear* não só manteve o anseio do diretor em retratar o tema da energia nuclear de forma crítica, como também marcou o início de uma série de outras iniciativas audiovisuais de Pires em sua causa antinuclear:

Independente da verdadeira obsessão de fazer um filme sobre o problema nuclear, Roberto Pires foi acometido durante esse período de uma verdadeira *neurose antinuclear*. Entrevistou os mais destacados cientistas brasileiros contrários à implantação desse tipo de energia no país e envolveu-se de tal forma com o problema, que, além das diversas inscrições nas paredes do estúdio no Parque de Exposições contra a nuclearização, já planeja criar uma “moratória nuclear internacional”, através de cientistas de todo o mundo, para atuar contra a energia nuclear. “Isso será a minha preocupação básica daqui por diante”, finalizou (RENAN, 1981, p. 6, grifo nosso).

A neurose antinuclear, ironizada pelo crítico, de fato é perceptível na obra de Pires posterior à 1981. Em 1982, Pires dirigiu o documentário *Alternativa Energética*, em 1990 fez o filme “docudrama” *Césio 137 – O Pesadelo de Goiânia*, e em 1991 fez os documentários *Biodigestor* e *Energia Solar*. Antes disso, entretanto, Roberto Pires havia dirigido vários

outros filmes desde a década de 1950, como o primeiro longa-metragem baiano *Redenção* (1959), *A Grande Feira* (1961) e *Tocaia no Asfalto* (1962), filmes sobre temas diversos e que fizeram parte do chamado Ciclo do Cinema Baiano (movimento pré-Cinema Novo), influenciando obras como a do cineasta Glauber Rocha (1939-1981). Roberto Pires parece ter se engajado pessoalmente na luta antinuclear, sendo *Abrigo Nuclear* muito mais resultado de seus anseios do que de um movimento antinuclear organizado no Brasil. Seus documentários sobre alternativas energéticas dos anos 1980 e 1990 não foram encontrados nesta pesquisa, assim como não foi possível saber quem foram os cientistas entrevistados por Pires. Entretanto, o filme *Césio 137 – O Pesadelo de Goiânia*, que também deu muita visibilidade ao diretor, evidencia a continuidade de seu ativismo, já bem distante da ficção científica.

O filme em questão, lançado em 1990, iniciou suas filmagens em abril de 1989, menos de dois anos depois do acidente com césio-137 ocorrido em Goiânia. O acidente, que será abordado com mais detalhes no capítulo 4 desta pesquisa, ocorreu a partir do dia 13 de setembro de 1987, quando os catadores de sucata Roberto Santos Alves e Wagner Motta Pereira encontraram uma cápsula de chumbo com césio dentro, que havia sido abandonada nas instalações desativadas do Instituto Goiano de Radioterapia, uma clínica privada que se mudou em 1985 para outro lugar. A cápsula foi vendida no ferro-velho de Devair Alves Ferreira, que ficou fascinado, juntamente com os moradores da região e conhecidos, com o brilho azul emitido pelo pó de césio. Ao todo, pelo menos 1600 pessoas foram contaminadas, e 4 morreram.

Na matéria jornalística intitulada *Pesadelo 137, a tragédia do césio no cinema*, escrita por Maria do Rosário Caetano e publicada no *Correio Braziliense* no dia 27 de abril de 1989, é interessante ver a controvérsia envolvendo a produção de Pires e o livro *A Menina que comeu césio* (1987), do jornalista Fernando Pinto, que iria dar base para o filme, mas foi abandonado pois sua versão não era aceita pelas vítimas e até pelo governo de Goiás (CAETANO, 1989, p. 5). Esse e outros aspectos da produção, num contexto em que o cinema brasileiro passava por uma série de dificuldades - pouco tempo depois a Embrafilme seria extinta pelo presidente Fernando Collor, em 1990 -, evidenciam a luta de Roberto Pires em fazer o filme em questão como ferramenta política contra a energia nuclear. Na mesma página do jornal, um outro texto, assinado por Valdir Morgado, que ressaltava o patrocínio do empresário Luiz Antônio Carvalho, candidato à prefeitura de Anápolis em 1988 e ao governo de Goiás em 1994 pelo Partido dos Trabalhadores (PT), apontava as dificuldades de Roberto Pires na relação com as vítimas do acidente e suas filmagens, bem com a aproximação que o cineasta passou a ter com algumas delas:

Roberto Pires encontrou muita dificuldade da parte das vítimas em participar diretamente das filmagens porque ainda enfrentam muita discriminação na sociedade goianiense. Eles acreditam que o filme só irá reavivar o acidente e provocar mais traumas na população. Ele quebrou a resistência da maioria das pessoas. [...] O catador de sucata Roberto dos Santos Alves, que perdeu o antebraço direito, amputado devido às queimaduras pela radiação, disse que ele e várias outras vítimas acertaram suas participações no filme, sem se preocupar em ganhar nada. Disse que já se estabeleceu um relacionamento de amizade das vítimas com Roberto Pires e a equipe (MORGADO, 1989, p. 5).

Figura 8: Ilustração retratando o acidente radiológico de Goiânia.



In: CAETANO, Maria do Rosário. *Pesadelo 137, a tragédia do césio no cinema*. *Correio Braziliense*, 27 de abril de 1989, p. 5.

Mudanças no nome do filme (no texto de Maria do Rosário Caetano o filme é tratado somente como *Pesadelo 137*), e em alguns atores (Devair seria interpretado por Roberto Bonfim, mas quem atuou foi Nelson Xavier), também expressam como *Césio 137 – O Pesadelo de Goiânia* teve um processo de produção bastante conturbado. Semelhante a *Abrigo Nuclear*, a tônica dos filmes de Roberto Pires, para além das dificuldades orçamentárias e, no caso de *Césio 137*, das dificuldades ligadas aos desdobramentos do

acidente nuclear, era que o lixo nuclear levaria à extinção das espécies. Isso é dito em ambos os filmes, sendo a frase de abertura de *Césio 137*. No sentido inverso dos documentários de Jean Manzon sobre as hidrelétricas ou os radioisótopos e o reator nuclear do IEA, os documentários e filmes de ficção de Roberto Pires tinham um papel nítido de propaganda antinuclear, sendo um dos mais relevantes materiais audiovisuais dessa natureza produzidos entre as décadas de 1980 e 1990 no Brasil.

Se na filmografia de Roberto Pires a energia nuclear é retratada como algo responsável pelo fim da humanidade e pela extinção da vida na Terra, argumentos explorados como parte do ativismo antinuclear do cineasta, em gêneros musicais da década de 1970 e 1980 como o *punk rock* e o *heavy metal* (em especial sua vertente do *thrash metal*) o tema da radiação e da energia nuclear foi apropriado de outra forma, mas com significados semelhantes. Surgido na década de 1970, o heavy metal deixou o rock mais “pesado”, com bandas como Black Sabbath, Judas Priest e Motörhead ganhando cada vez mais público. As bandas buscavam trazer elementos considerados malignos, perversos ou subversivos pela cultura ocidental como forma de criar uma música e uma estética específica e, geralmente, agressiva, para ‘impactar’ ou incomodar dogmas e preceitos ligados geralmente às religiões cristãs (ARAÚJO, 2011). De forma inversa aos difusos movimentos contraculturais da década de 1960, os jovens *punks* e *headbangers* não buscaram fugir da industrialização e do capitalismo como os *hippies* em suas congregações e comunidades rurais (DUNN, 2014). Ao contrário, trouxeram para suas músicas o cinza, a poluição, a velocidade dos automóveis e demais aspectos ligados à cidade. Em um texto sobre a coletânea *SP Metal* (vol.1), lançada em 1984 pelo selo *Baratos Afins* de Luiz Calanca, com as bandas paulistas Avenger, Centúrias, Vírus e Salário Mínimo, Aninha Sanches e Guilles Phillipe comentaram:

[...] o que pode ser melhor que o Heavy Metal para representar São Paulo? Tal como nas cidades industriais da Europa o som mais típico dessa agitação, desse barulho, dessa revolta contra a industrialização opressiva não seria o Metal? É meio difícil cantar o som, as praias e as gatinhas mergulhado na bruma da poluição (SP METAL, 1984, s.p.)

Em se tratando da energia nuclear e da poluição radioativa, o tema passou a fazer parte das letras de músicas, estética e nomes de bandas, que usaram de seus elementos negativos, como as bombas atômicas, os efeitos somáticos e mutações genéticas ou a possibilidade de uma guerra nuclear, para causar um choque cultural. O uso da energia nuclear por bandas de punk ou de metal, nesse sentido, é bastante ambíguo. Em muitas bandas de thrash metal, por exemplo, a contaminação radioativa pode ser encontrada junto de temas como o apocalipse, a morte, a proliferação de doenças, as guerras e a violência de modo geral (BARCHI, 2018). O

tema aparece dessa forma, para citar apenas alguns exemplos¹⁰², em músicas como *Nuclear Winter*¹⁰³, do álbum *Persecution Mania* (1987) da banda alemã *Sodom*, e na discografia da banda estadunidense *Nuclear Assault*, uma das bandas que mais se dedicou ao assunto. Entretanto, embora seu uso pareça genérico, de acordo com Barchi (2018), ele propõe um “mergulho nesse apocalipse” a partir de um discurso catastrofista que, conscientemente ou não, acabou constituindo um alerta ecológico. Ou seja, essas bandas não necessariamente estavam engajadas com movimentos antinucleares ou ambientalistas, mas se apropriaram do tema de uma forma autêntica, semelhante aos filmes de ficção científica dos anos 1950 e 1960 que também exploraram a chamada “paranoia nuclear”.

No Brasil, bandas de thrash metal como a *Attomica*, criada em 1985, se inspiraram totalmente numa estética de guerra nuclear, sem abordar de forma tão direta o tema em suas músicas. Entretanto, na música *Atomic Death*, do álbum *Limits of Insanity*, lançado em 1989, é possível ver uma crítica à energia nuclear de forma bastante agressiva:

Technology is on the wrong track / Chemistry has no way back / Nuclear reactors have to stay / They say it's the only way. [...] / We need laws to punish these dogs / Who put uranium in those rods / Victims died they say that's odd / They never look abroad. [...] / Radiation what a lousy creation / They just have a crazy imagination / We're victims of this invention / With lots of tension¹⁰⁴ (ATTOMICA, 1989).

Essa mesma relação, mais ou menos direta, entre radiação, energia nuclear e cenas apocalípticas também foram retratadas em outras bandas brasileiras da década de 1980, como por exemplo na música *Dead World* (Simoniactal, 1988), do *MX*, e em *War* (Morbid Visions, 1986) e *Beneath the Remains* (Beneath the Remains, 1989), do *Sepultura*. No movimento punk, a banda *Ratos de Porão*, de São Paulo, em seus primeiros álbuns abordou o tema nas músicas *Poluição Atômica* (Crucificados pelo Sistema, 1984), *Paranoia Nuclear* (Descanse em Paz, 1986) e *Cérebros Atômicos* (Descanse em Paz, 1986). Em *Poluição Atômica*, o tema

¹⁰² O tema da radiação e da energia nuclear aparece como algo negativo em várias bandas e subgêneros do rock desde pelo menos a década de 1970. Fora do punk ou metal, por exemplo, a banda *Rush*, um dos grandes nomes da história do rock, gravou em 1985 a música *Manhattan Project*, abordando o tema da ciência e das bombas atômicas. No subgênero *thrash metal*, é quase impossível não encontrar uma banda da década de 1980, ou mesmo recentemente, que não tenha mencionado ao menos em uma de suas letras as palavras “nuclear” ou “atômico”. Ver mais em: COSTA, Rodrigo Lourenço. *Thrash metal: a paranoia do holocausto nuclear*. Whiplash.net, 2013. Disponível em: <https://whiplash.net/materias/biografias/185963-anthrax.html>. Acesso em: 29/09/2021.

¹⁰³ A expressão ‘inverno nuclear’ foi criada por cientistas estadunidenses em 1983 para descrever possíveis condições climáticas decorrentes de uma guerra nuclear entre EUA e URSS.

¹⁰⁴ A tecnologia está no caminho errado / A química não tem volta / Os reatores nucleares têm que ficar / Eles dizem que é a única maneira [...] Precisamos de leis para punir esses cachorros / Quem colocou urânio nessas hastas / Vítimas morreram, dizem que é estranho / Eles nunca olham para o exterior [...] Radiação, que criação péssima / Eles só têm uma imaginação louca / Somos vítimas dessa invenção / Com muita tensão (tradução livre).

da contaminação do ar, presente nos filmes *Parada 88* e *Abrigo Nuclear* é abordado de forma direta:

Sujeira no ar não consigo mais respirar / Falta oxigênio falta ar puro para poder respirar / NÃO HÁ SOLUÇÃO / NÃO HÁ SOLUÇÃO / Para essa poluição atômica / O homem polui o ar / Mesmo sem pensar o ser humano quer se autodestruir / NÃO HÁ SOLUÇÃO / NÃO HÁ SOLUÇÃO / Para essa poluição atômicaaaa!!!!!!!!!!!! (RATOS DE PORÃO, 1984).

Já em *Cérebros Atômicos*, uma relação entre o poder destrutivo das bombas nucleares e o pensamento capitalista é feito:

Cérebros atômicos / programados para destruir / Para perturbar o mundo só para violentar!!! / Em nome do progresso! 2x / Mentas vazias só pensam em lucrar / Só pensam em si mesmos só pensam em matar / Em nome do progresso 4x (RATOS DE PORÃO, 1986).

Em *Paranoia Nuclear*, a letra parece ironizar a ambiguidade da energia nuclear e de um possível holocausto atômico:

O holocausto está por vir e ninguém pensa em outra coisa / É a paranóia nuclear / É o medo de morrer / É o medo de matar / É a paranóia nuclear (RATOS DE PORÃO, 1986).

As bandas brasileiras da década de 1980, seja punk rock ou heavy/thrash metal, cantaram em inglês (como é tradição no heavy metal) ou em português sobre temas variados, sendo o da energia nuclear e suas consequências catastróficas apenas mais um deles. Entretanto, é interessante destacar novamente que essas bandas não necessariamente faziam parte de movimentos ambientalistas organizados ou estavam engajadas, como no caso do cineasta Roberto Pires. A energia nuclear, nesse sentido, toma contornos mais abstratos, como de fato parecia ser tratada por grande parte da sociedade brasileira. Ainda assim, é curioso perceber como o tema é consensualmente abordado apenas do ponto de vista de seus malefícios. Nesse caso, isso não é muito diferente do cineasta Roberto Pires, que mesmo demonstrando maior conhecimento, não aborda nenhum aspecto positivo da energia nuclear em suas produções fílmicas.

Os efeitos negativos da energia nuclear, como por exemplo o risco genético das radiações para o ser humano, não pareciam, entretanto, ser algo assentado ainda na década de 1980. Em publicação de 1982 voltada para um público mais amplo, os geneticistas Ademar Freire-Maia e Newton Freire-Maia consideravam que “os resultados obtidos diretamente na radiogenética humana ainda estão longe de apresentar um quadro sequer razoável para estimativa de riscos genéticos” (FREIRE-MAIA e FREIRE-MAIA, 1982, p. 33). O livro, que

apresentava fotos pessoais da família dos Freire-Maia para abordar a radiação no nosso cotidiano, como a radioatividade natural, os raios emitidos por aparelhos televisivos, também expunha as aplicações médicas, bélicas e energéticas da radiação, com fotos e desenhos mostrando o alcance do material radioativo liberado pelas bombas, as bombas em si, procedimentos de medicina nuclear, a construção de Angra 1 e seu reator e fotos familiares na praia de Guarapari. Para além da tentativa de aproximar o tema da energia nuclear da população, embora apresente uma série de dados científicos não tão facilmente compreensíveis, a publicação de Ademar e Newton Freire-Maia propunha comentar sobre os riscos das usinas nucleares e do investimento nesse setor. “As usinas nucleares representam, sem dúvida, um risco potencial, tanto para os técnicos e operários, como para a população em geral, e, mais particularmente, para os residentes nas vizinhanças dos reatores” (FREIRE-MAIA e FREIRE-MAIA, 1982, p. 73).

Contrastando os riscos de possíveis acidentes com o fato de que “jamais uma pessoa da população geral sofreu qualquer dano resultante de acidente em usina nuclear”¹⁰⁵ (FREIRE-MAIA e FREIRE-MAIA, 1982, p. 77), o livro termina de forma ambígua, considerando que haveria a necessidade de se estimar os riscos genéticos decorrentes do desenvolvimento do setor nuclear de forma mais concreta, e de que era preciso equacionar risco, oportunidade, conveniência e prioridade em um empreendimento como esse. “A indústria nuclear representa um risco, e isso é absolutamente certo. Mas também é certo que todas as outras indústrias e empreendimentos humanos também apresentam riscos” (FREIRE-MAIA e FREIRE-MAIA, 1982, p. 79). No apêndice do livro, os geneticistas inserem alguns dados sobre os efeitos somáticos da radiação (indução de câncer, por exemplo), ressaltando mais uma vez a natureza incerta da energia nuclear:

Precisamos, acima de tudo, saber se a população irradiada receberá algum benefício que compense o risco calculado. A ausência de benefício ou a existência de benefício muito pequeno poderá tornar os riscos proporcionalmente muito altos, inaceitáveis mesmo (FREIRE-MAIA e FREIRE-MAIA, 1982, p. 83).

Na apresentação do livro, escrita pelo físico da USP Luis Carlos de Menezes, a publicação é contextualizada como parte dos trabalhos da Comissão de Estudos de Segurança e Poluição Nucleares, criada entre 1977 e 1978 pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e Sociedade Brasileira de Física (SBF), tendo em vista o tema da segurança nuclear no programa brasileiro em curso. A comissão concluiu que esse tema apresentava

¹⁰⁵ A publicação é anterior aos acidentes de Chernobyl (1986) e de Goiânia (1987).

uma série de limitações devido à carência de “competência científica nos vários setores envolvidos”. Nesse sentido, o trabalho dos geneticistas em questão corresponde a uma postura crítica dessas entidades científicas brasileiras em relação à condução do programa nuclear brasileiro naquele contexto (ANDRADE, 2006). Isso, atrelado à necessidade real de mais trabalhos de radiogenética, explica o tom cauteloso e incerto desses cientistas frente à energia nuclear. O tema do impacto genético da radioatividade, por exemplo, já vinha sendo estudado desde a década de 1960, e envolveu não só os Freire-Maia como também o ‘radioecólogo’ Eduardo Penna Franca, além de muitos outros físicos e demais especialistas¹⁰⁶. Abordaremos com profundidade isso no terceiro capítulo. Entretanto, a diferença, nesse caso, se dá sobretudo pela avaliação das usinas nucleares em construção, e conseqüentemente do programa nuclear brasileiro, e não apenas pelas condições de radioatividade natural elevada. Com as usinas nucleares, assim, tem-se mudanças de natureza e escala.

Podemos concluir algumas coisas a partir dessa ampla e extensa relação estabelecida aqui. Em primeiro lugar, entre as décadas de 1950 e 1960, a energia nuclear ocupou um espaço importante nos debates sobre os rumos da nação, seu desenvolvimento, sua eletrificação, as demandas energéticas e o crescimento da população. Entretanto, essa opção de geração de energia se encontrava distante de se concretizar no Brasil, ainda que fosse, nas palavras do físico Marcello Damy, um “imperativo de sobrevivência”. O debate sobre a necessidade da energia nuclear não se deu exatamente na esfera pública, mas sobretudo em eventos acadêmicos e militares. Os governos militares, inclusive, priorizaram as hidrelétricas como propaganda de um “Brasil Grande”. Nos balanços e cálculos de especialistas, entretanto, o potencial hidrelétrico brasileiro era limitado e iria ser completamente ocupado até a década de 1980.

Explorando as representações da energia nuclear, ou a “neurose antinuclear”, em outros âmbitos da sociedade, que, como também defende Andrade (2006), foram em geral excluídos desse debate, vimos um imaginário repleto de temores acerca das possíveis conseqüências do uso intensificado da radiação. Entre as décadas de 1970 e 1980, já sem o mesmo entusiasmo dos anos anteriores, os cientistas não foram capazes de esclarecer à população acerca dos riscos da energia nuclear. Enquanto o programa nuclear brasileiro passava por diversos entraves, o “programa paralelo” dos militares era desenvolvido e muitas incertezas ainda se disseminavam. A repercussão dos acidentes nucleares do final da década

¹⁰⁶ Esse programa de pesquisa envolveu a PUC-RJ, a New York University e a UFRJ, e o apoio de várias instituições: USAEC, CNEN, CNPq e Organização Panamericana de Saúde (OPAS) (PENNA FRANCA, 1963).

de 1980 será abordada em outro momento desta pesquisa, assim como buscarei explorar um pouco mais a relação entre os especialistas e o público em torno da energia nuclear. Pode-se concluir que, como fonte de energia elétrica, a energia nuclear teve concretamente um espaço pequeno, conturbado e difuso. No imaginário social, ela foi quase sempre vista de forma negativa, ainda que pouco se conhecesse a seu respeito. Por fim, no âmbito do desenvolvimento científico, tecnológico e mesmo industrial, ela teve, por outro lado, uma maior disseminação, estando ligada diretamente, como veremos a seguir, ao processo de institucionalização das ciências no Brasil.

1.4 Átomos para a Paz: A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a circulação dos radioisótopos na ciência brasileira

1.4.1 *Brazil: Atoms for peace*. Radioisótopos, ciência e relações Brasil-EUA durante a Guerra Fria

Em dezembro de 1953, o presidente estadunidense Dwight Eisenhower anunciou à Assembleia Geral da ONU a criação de um programa de incentivo ao uso pacífico da energia nuclear, propondo também a organização de um comitê internacional encarregado de questões ligadas ao tema, que deveria ser administrado pela ONU. Desde o momento em que foi concebido, o *Átomos para a Paz* figurou como instrumento de propaganda e de política externa, criando estrategicamente uma imagem “pacífica” dos EUA. A estratégia de Eisenhower consistia em assinar acordos bilaterais, sobretudo de cooperação científica, para a venda de reatores nucleares sob o controle da USAEC (ANDRADE, 2012). A proposta de Eisenhower na ONU foi recebida com aclamação, pois além de ter sido vista como caminho possível para a redução dos usos bélicos da energia nuclear, o presidente norte-americano prometia criar um banco de materiais físséis que os países membros aliados podiam utilizar para fins pacíficos na produção de energia, agricultura, medicina, ciências e indústria (DROGAN, 2015). Em seu discurso, Eisenhower deixou claro que sua proposta era talvez a única saída para evitar uma guerra nuclear, mas sem esquecer de listar o poderio bélico e o protagonismo estadunidense:

Em 16 de julho de 1945, os Estados Unidos detonaram a primeira explosão atômica do mundo. Desde aquela data em 1945, os Estados Unidos da América realizaram quarenta e duas explosões de teste. As bombas atômicas hoje são mais de 25 vezes mais poderosas do que a

arma com a qual a era atômica despontou, enquanto as armas de hidrogênio estão na faixa de milhões de toneladas de equivalente TNT. Hoje, o estoque de armas atômicas dos Estados Unidos, que, é claro, aumenta diariamente, excede em muitas vezes o equivalente [explosivo] total de todas as bombas e projéteis que vieram de todos os aviões e de todos os canhões em todos os teatros de guerra em todos os anos da Segunda Guerra Mundial. Um único grupo aéreo, flutuante ou terrestre, pode agora entregar a qualquer alvo alcançável uma carga destrutiva que excede em potência todas as bombas que caíram sobre a Grã-Bretanha em toda a Segunda Guerra Mundial. Em tamanho e variedade, o desenvolvimento de armas atômicas não foi menos notável. O desenvolvimento foi tal que as armas atômicas praticamente alcançaram o status convencional dentro de nossas forças armadas. Nos Estados Unidos, o Exército, a Marinha, a Força Aérea e o Corpo de Fuzileiros Navais são todos capazes de colocar essa arma em uso militar. Mas o terrível segredo e os temíveis motores do poder atômico não são apenas nossos. Em primeiro lugar, o segredo está nas mãos de nossos amigos e aliados, Grã-Bretanha e Canadá, cujo gênio científico deu uma enorme contribuição às nossas descobertas originais e aos projetos de bombas atômicas. O segredo também é conhecido pela União Soviética. A União Soviética informou-nos que, nos últimos anos, dedicou muitos recursos às armas atômicas. Durante este período, a União Soviética explodiu uma série de dispositivos atômicos, incluindo pelo menos um envolvendo reações termonucleares. Se em algum momento os Estados Unidos possuíam o que poderia ser chamado de monopólio da energia atômica, esse monopólio deixou de existir há vários anos. Portanto, embora nosso início anterior nos tenha permitido acumular o que hoje é uma grande vantagem quantitativa, as realidades atômicas de hoje compreendem dois fatos de importância ainda maior. Primeiro, o conhecimento agora possuído por várias nações será eventualmente compartilhado por outras, possivelmente todas as outras. Em segundo lugar, mesmo uma vasta superioridade no número de armas, e uma consequente capacidade de retaliação devastadora, não é preventivo, por si só, contra os terríveis danos materiais e o número de vidas humanas que seriam infligidos pela agressão surpresa (EISENHOWER *apud* CHERNUS, 2002, p. XII-XIII).

Além de constatar a possibilidade de um confronto atômico e de atestar a perda do monopólio nuclear norte-americano, Eisenhower finalizou seu discurso enfatizando que as próximas decisões a serem tomadas no âmbito do “terrível dilema atômico” seriam fatídicas, mas que “Contra o fundo escuro da bomba atômica, os Estados Unidos não desejam apenas apresentar força, mas também o desejo e a esperança de paz” (EISENHOWER *apud* CHERNUS, 2002, p. XVIII-XIX).

Em artigo de 1997, Martin Medhurst mencionou a existência de pelo menos três linhas de interpretação do discurso de Eisenhower que se desenvolveram ao longo do século XX. A primeira, que considera que o discurso era um plano bem-intencionado e idealista para o controle de armas e o desarmamento. A segunda, no extremo oposto, que enxerga o discurso apenas como propaganda, um espetáculo com pouco valor prático. Por fim, a terceira linha

interpretativa vê o Átomos para a Paz como um esforço sério para entrar em negociações pelo desarmamento, mas que teria fracassado devido à contradição em relação a outros programas do governo Eisenhower, como a doutrina da retaliação massiva, vista como uma ameaça de ataque nuclear contra alvos da URSS e da China (MEDHURST, 1997). Embora Medhurst considere que ambas as interpretações estejam equivocadas, defendendo que o Átomos para a Paz foi uma iniciativa de defesa e de política externa cuidadosamente planejada e bem-sucedida, a polissemia das interpretações do discurso contrasta com sua recepção no contexto e com a efetiva implementação do programa.

Há uma grande historiografia não só sobre o programa de Eisenhower e sua atuação, mas sobre o próprio discurso feito na ONU no dia 8 de dezembro de 1953 (MEDHURST, 1997; CHERNUS, 2002; KRIGE, 2006; ALARIO e FREUDENBURG, 2007; NELSON, 2009; ZACHMANN, 2015; ANDRADE, 2012; DROGAN, 2015; MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016a, 2016b). O nome, “Átomos para a Paz”, começou a circular no noticiário da época para se referir ao evento da ONU em questão, e depois passou a ser adotado oficialmente pelo programa estadunidense. A partir de setembro de 1954¹⁰⁷, é possível ver em jornais brasileiros algumas notícias utilizando esse nome, geralmente associadas às tensões entre os EUA e a URSS em torno do tema da energia nuclear, e aos eventos diplomáticos ocorridos em agências multilaterais. Nesse sentido, o discurso e a agenda do governo Eisenhower ganharam um peso importante no debate global sobre o tema:

A proposta norte-americana de uma conferência sobre energia atômica proporcionou a muitos delegados das Nações Unidas a esperança de que poderia ser possível um acordo entre o Oriente e Ocidente sobre o programa de “átomos para a paz” do presidente Eisenhower (RATIFICA..., 1954, p. 1).

Notícias que mencionavam o programa e seus desdobramentos também exploravam aspectos do debate e opiniões que extrapolavam o plano do presidente norte-americano e indicavam os diversos caminhos que os jornais privilegiavam talvez por chamarem a atenção do público. Junto de uma notícia de 15 de agosto de 1955, sobre a inauguração da “Conferência das Nações Unidas pela Utilização dos Átomos para a Paz”, em Genebra, na Suíça, o jornal carioca *A Noite* expôs a fala de um reverendo de Marthall, em Cherise, Inglaterra, Philip Francis, que propagava que “o mundo deve conhecer a Guerra Atômica”. Na mesma notícia, o jornal expunha as opiniões do reverendo inglês sobre como seria bom se

¹⁰⁷ Com base em minha busca na Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional, é possível dizer que as primeiras notícias envolvendo o tema dos “átomos para a paz” só aparecem em jornais brasileiros no mês de setembro de 1954.

ocorresse uma guerra atômica, sobre os “cientistas ignorantes” e sobre a história do inseto que teoricamente era mais forte que 900 homens, por ter sobrevivido à radiação. “Em todo caso, tudo o que for bom será preservado da destruição” (O MUNDO..., 1955, p. 4). Assim, embora acompanhassem o desdobramento do programa Átomos para a Paz, os jornais brasileiros não deixavam de explorar outras facetas do tema da energia nuclear. Ainda em abril de 1955, o jornal *A Noite* também noticiou uma hipótese de correlação entre explosões atômicas e alterações climáticas na Suíça, que havia sido descartada pelo Departamento de Meteorologia do país, após um inquérito aberto pela Organização Mundial de Meteorologia. Notícias como essas eram sempre publicadas junto com outras que traziam no título a insígnia “Átomos para a Paz” (AS EXPLOSÕES..., 1955, p. 5).

Em 10 agosto de 1955, uma notícia da Conferência de Átomos para a Paz que ocorria em Genebra, com o título “Todos fabricarão bombas atômicas”, mostrava a ambiguidade dos significados do programa “pacífico”:

Genebra, 10 (U.P.) – Os cientistas que assistem à conferência de Átomos para a Paz admitiram ontem com relutância, que todas as nações que estão conhecendo os segredos da energia atômica dentro em breve saberão também fabricar bombas nucleares. No entanto, estão todos decididos a fazer com que a conferência seja um triunfo, de modo que ninguém deseja falar a respeito desse assunto tão desagradável que o mundo terá de enfrentar mais cedo ou mais tarde: todas as nações poderão estar armadas com bombas atômicas (TODOS..., 1955, p. 4).

Em relação às atividades do programa de Eisenhower em si, é possível encontrar em jornais brasileiros notícias sobre o “imediato desenvolvimento da Energia Atômica para fins pacíficos”, como na *Tribuna da Imprensa* (RJ), que comentava o programa norte-americano e a relação do Brasil com os EUA, mostrando a foto de um aperto de mão entre o embaixador brasileiro em Washington João Carlos Muniz e o presidente Eisenhower, “após a assinatura do Tratado de Energia Atômica entre os dois países, em 31 de maio” de 1955 (IMEDIATO..., 1955, p. 8). Em outra notícia no mesmo jornal, assinada por John Kerigan e intitulada “Serão intensificadas as experiências com energia nuclear”, é ressaltado o caráter internacional da iniciativa de Eisenhower e sua disseminação:

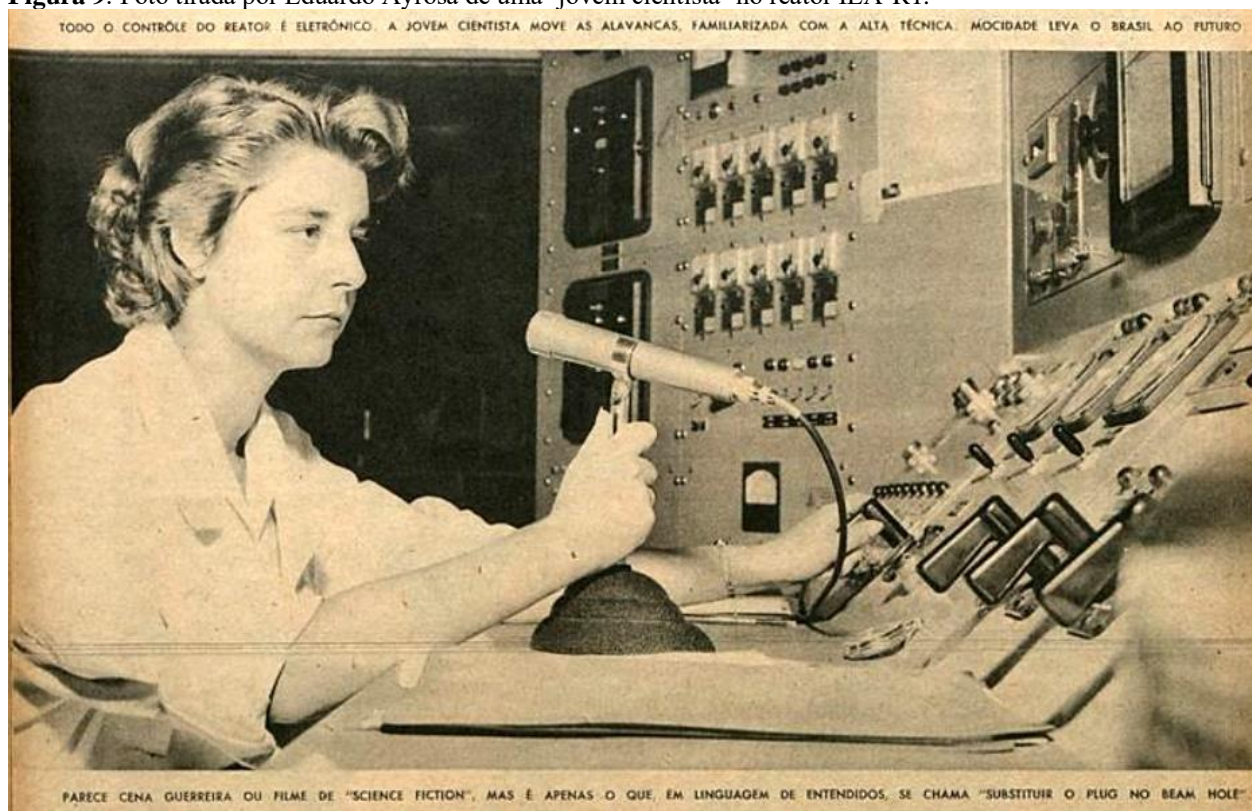
Os estudos relativos ao emprego da energia atômica para fins pacíficos já adquiriram um caráter internacional. Atualmente estão em vigor acordos bilaterais entre os Estados Unidos e onze outros países. Outros convênios estão sendo considerados por outros países interessados incluindo fornecimento de combustível pelos Estados Unidos, garantias contra uso inadequado de material, processos de manejo desse material e outras obrigações. Esses acordos servirão para execução do plano do presidente Eisenhower (KERIGAN, 1955, p. 3).

Alguns meses depois, na edição do dia 25 de janeiro de 1958 da revista carioca *Manchete* (1952-2007), publicação semanal que era uma das maiores do Brasil naquela época (perdendo apenas para a revista *O Cruzeiro*), uma matéria completa apresentando a entrada de São Paulo “no futuro usando energia atômica” abordava vários aspectos desse “mundo nuclear” para o público geral e mencionava também a atuação do *Átomos para a Paz* no Brasil:

Aproveitou, então, o Brasil o programa americano de “Átomos para a paz” e aceitou o oferecimento de 350 mil dólares de subvenção para a construção do reator, orçado em 800 mil, completando os governos brasileiro e paulista a importância necessária. Ato contínuo, os técnicos chefiados pelo prof. Damy puseram mãos à obra e em 16 meses o reator entrou em funcionamento (LINGUANOTTO, 1958, p. 64).

Além de introduzir ao público a chegada do Brasil na “Era Atômica”, a reportagem de Daniel Linguanotto, com fotografias de Eduardo Ayrosa, ainda ressaltou, por escrito e nas fotografias, como todo aquele aparato construído para o funcionamento do Reator IEA-R1, no Instituto de Energia Atômica, situado na cidade universitária da USP, com o apoio do *Átomos para a Paz*, simbolizava um deslocamento da ciência brasileira, passando da teoria à prática. Essa mesma ideia é reforçada intensamente em vários outros livros que abordavam o programa *Átomos para a Paz*, sua atuação no Brasil e os trabalhos da CNEN. Desse modo, era pela via do aparato e da tecnologia nuclear que a ciência seria efetivada no Brasil. “Onde há 14 meses era capinzal, numa das colinas da cidade universitária de São Paulo, funciona agora, num caixão de cimento armado, o maior centro de pesquisas atômicas do sul do hemisfério. Ali, um punhado de jovens cientistas brasileiros leva o Brasil a passar da teoria à prática” (LINGUANOTTO, 1958, p. 63).

Figura 9: Foto tirada por Eduardo Ayrosa de uma ‘jovem cientista’ no reator IEA-R1.



In: LINGUANOTTO, Daniel. O Brasil e os átomos. Nosso caminho para o futuro. *Manchete*, v. 5, n. 301, 25 de janeiro de 1958, p. 65.

Nesse sentido, se podemos pensar que a institucionalização das ciências no Brasil da década de 1950 está diretamente ligada ao planejamento nuclear e ao contexto de incentivo do desenvolvimento da energia atômica, deve-se considerar que o programa Átomos para a Paz foi uma instância fundamental para a consolidação de alguns aspectos dessa história, seja em termos discursivos, bolsas, auxílio de pesquisa, montagem de laboratórios, patrocínio de instrumentos científicos e tecnológicos, e distribuição de radioisótopos. Embora isso seja verdadeiro, não podemos imaginar que o Átomos para a Paz foi o germe do interesse da ciência brasileira pelos radioisótopos e outros artefatos nucleares.

Mais do que ferramentas de pesquisa e de terapia biomédica que emergiram no pós-guerra, os radioisótopos que resultaram da infraestrutura do projeto da bomba atômica e incorporados ao programa de distribuição da USAEC, nos Estados Unidos, também eram, como já mencionado, importantes para as relações externas. De acordo com Creager (2006b), os radioisótopos significaram o compromisso do governo norte-americano de “aproveitar os átomos para a paz” (CREAGER, 2006b, p. 651). Segundo John Krige (2006), o programa Átomos para a Paz foi uma tentativa de manter a superioridade nuclear dos EUA, garantindo que outros países, incluindo a União Soviética, “dedicassem seus recursos nucleares limitados

a programas civis sob vigilância internacional (KRIGE, 2006, p. 165). Mais do que um programa pacifista, foi uma peça essencial na estratégia de defesa da política externa norte-americana. O programa Átomos para a Paz teve como foco principal a América Latina, com ênfase no Brasil, México e Argentina. Mas o programa não atuou isoladamente, e conforme foi sendo estabelecido, começou a contar com o apoio de agências multilaterais e regionais recém-criadas, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) das Nações Unidas, criada em 1957, e a Comissão Interamericana de Energia Nuclear (IANEC) da Organização dos Estados Americanos (OEA).

No Brasil e na Argentina, antes da existência do programa Átomos para a Paz, comunidades de físicos nucleares já estavam consolidadas, e investimentos em programas nucleares já haviam sido feitos, como no caso da criação do CNPq (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016a, p.4). De acordo com Mateos e Suárez-Díaz (2016a), o Átomos para a Paz, atuou no redirecionamento dos programas nucleares já em andamento que tinham como objetivos a produção de energia elétrica e os usos militares, e reforçou a pesquisa acadêmica nas ‘ciências nucleares’.

No caso mexicano, como também analisam Mateos e Suárez-Díaz (2016b), a relação com as tecnologias nucleares se manteve 100% civil, diferente dos outros países citados. Entretanto, como argumentam as autoras, as propostas das agências e programas de uso pacífico da energia nuclear, foram traduzidas em poucos investimentos em ciência e tecnologia, além de culminarem na liderança mexicana contra a proliferação de armas nucleares, “que acabou levando à promoção do Tratado de Proibição de Armas Nucleares na América Latina e no Caribe, conhecido como Tratado de Tlatelolco, assinado na Cidade do México em 1967, que fez da América Latina a primeira região povoada sem armas nucleares do mundo” (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016b, p. 244). E no Brasil, como se deu a atuação do programa Átomos para a paz?

De acordo com levantamento documental de Ana Maria Ribeiro de Andrade (2012), feito nos arquivos do CNPq, o programa Átomos para a Paz foi oferecido pessoalmente por Eisenhower ao embaixador brasileiro em Washington, no dia 31 de maio de 1955, como uma das notícias citadas acima expõe. Em julho do mesmo ano foram firmados os acordos bilaterais referentes ao Programa Conjunto para o Reconhecimento dos Recursos de Urânio no Brasil e o Acordo de Cooperação para Usos Civis da Energia Atômica. A discussão em torno dos acordos envolveu uma delegação de especialistas estadunidenses ligados à USAEC e uma comissão brasileira nomeada pelo presidente Café Filho. De acordo com o livro de Olympio Guilherme (1957), esses acordos, juntamente com todo um histórico de acordos

analisado, foram criticados e considerados problemáticos para a constituição de uma política nuclear brasileira:

Por duas vezes, no início de 1956, o Estado-Maior das Forças Armadas (EMFA) dirigiu ao Presidente da República seu parecer sobre a desastrosa política nuclear brasileira. Na primeira, a 27 de fevereiro, examinou detidamente o Tratado de Pesquisas e o Programa de Cooperação, assinados em agosto de 1955, sem o seu beneplácito, neles apontando falhas lesivas aos interesses nacionais, pois não coincidiam com as diretrizes que então sugeria, baseado na experiência do passado e na manifesta parcialidade demonstrada pelo Itamarati no trato da matéria (GUILHERME, 1957, p. 195).

A participação do Brasil no programa Átomos para a Paz foi formalizada antes da Conferência de Genebra de 1955 para assuntos nucleares, assim como a maioria dos acordos do programa com outros países. E em janeiro de 1956, o primeiro grande saldo dessa relação começou a surgir. No dia 16 desse mês, a USP e o CNPq assinaram um convênio de cooperação, resultando na fundação do Instituto de Energia Atômica (IEA), que seria dirigido pelo físico Marcello Damy. Nesse instituto, como já abordado em vários momentos deste capítulo, seria instalado o reator do tipo piscina comprado da empresa Babcock & Wicox nos Estados Unidos pelo programa de Eisenhower. De acordo com Andrade (2012), Marcello Damy trabalhou em tempo recorde para a construção do prédio e investiu na formação experimental de professores e “de mais uma dezena de jovens magnetizados pelas perspectivas que a energia nuclear abria ao país” (ANDRADE, 2012, p. 121). Na década de 1950, ser moderno era “ser nuclear” (MATEOS e SUÁREZ-DIAZ, 2016b), e, nesse sentido, ciência e tecnologia estavam entre alguns dos elementos essenciais para a remodelação da nova ordem geopolítica do pós-guerra (MATEOS e SUÁREZ-DIAZ, 2016a).

De acordo com Mateos e Suárez-Díaz (2016^a), Brasil, Argentina e Colômbia já possuíam agências nacionais nucleares ou de pesquisa antes do programa Átomos para a Paz ser anunciado, sendo o Brasil o único país latino-americano a participar da comissão de 12 países organizada para redigir os estatutos da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), criada em 1957. Nesse sentido, é importante entender também a atuação de alguns operadores do programa, como o Fundo para o Desenvolvimento Atômico Pacífico (FPAD). O FPAD foi criado em 1954 e agregava indústrias privadas, universidades e agências do governo norte-americano. Ele tinha como objetivo explorar quais seriam os possíveis destinatários dos átomos pacíficos. Desse modo, os países visados foram classificados com base em seus diferentes estágios, como a existência ou não de agências reguladoras, seu

contexto tecnológico e científico. A classificação foi uma estratégia de segurança nacional dos EUA, e dizia respeito ao desenvolvimento das relações desses países com os EUA. A divisão ocorreu da seguinte forma: 1) países onde as tecnologias nucleares básicas estariam associadas ao uso de radioisótopos para medicina e indústria; 2) países no qual o uso de reatores de pesquisa teria as finalidades de treinamento, educação e produção de radioisótopos; 3) países com reatores de potência, uso e preparação de materiais fissionáveis, tais como urânio tório e plutônio; 4) países mais restritos (grupo que o Brasil tentou fazer parte, mas não conseguiu) com tecnologias para enriquecimento de materiais fissionáveis e tecnologias de uso duplo (fins civis e militares); 5) Por fim, países detentores de urânio e outros minérios radioativos, como o Brasil, a África do Sul e a Austrália. Nesse caso, o Brasil se tornou ator privilegiado e essencial para os EUA, o que fez com que conseguisse participar de eventos importantes como a organização dos estatutos da AIEA, como já mencionado (MATEOS e SUÁREZ-DIAZ, 2016^a, p. 3).

Nesse sentido, um memorando de 20 de outubro de 1955, estabeleceu que a assistência do programa de Eisenhower não seria necessária a países avançados como Reino Unido, Bélgica, França, Noruega e Holanda. Já outros países se encaixavam num grupo que poderia receber ajuda imediata, se assim quisesse, como Dinamarca, Japão, Espanha e Itália. Outro grupo também foi classificado como “dignos de atenção” e que abrangeria os que estariam iniciando as etapas mais básicas do processo de nuclearização, como o uso de radioisótopos em algumas áreas e a instalação de reatores e criação de centros de radioisótopos, como a Turquia, o México, a Argentina, as Filipinas, além de Paquistão, Israel, Iugoslávia e Tailândia (MATEOS e SUÁREZ-DIAZ, 2016^a, p. 4). Tão amplas e complexas quanto os acordos de cooperação em torno dos usos pacíficos da energia nuclear foram as aplicações dos radioisótopos, a matéria prima de todas essas trocas transnacionais.

Entre as décadas de 1950 e 1960, com a participação do programa Átomos para a Paz, os radioisótopos se tornaram instrumentos na agricultura, medicina, arqueologia, geologia e na pesquisa biológica na maioria dos países da América Latina. Como afirmam Mateos e Suárez-Díaz (2016a), no final dos anos 1950, por exemplo, radioisótopos estavam sendo utilizados em aplicações geológicas e médicas, incluindo pesquisas sobre contaminação e precipitação, no Brasil, Argentina, Chile, Colômbia, México e Venezuela. A Venezuela e o Equador, de acordo com as autoras, também exploraram seus usos em trabalhos de entomologia e na pesquisa agrícola (MATEOS e SUÁREZ-DIAZ, 2016^a, p. 4). Como veremos adiante, o Brasil também experimentou os radioisótopos nessas e em muitas outras áreas diversas ao longo desse recorte de tempo. Inclusive, em países como o Brasil e a

Argentina, onde já havia comunidades bem ativas de física nuclear¹⁰⁸, a iniciativa Átomos para a Paz atuou no sentido de limitar ou redirecionar os programas nucleares de geração de energia, e em contrapartida, reforçou o incentivo ao desenvolvimento acadêmico e científico (e, portanto, civil) relacionado aos radioisótopos.

Assim, é possível ter um panorama acerca do programa Átomos para a Paz e da natureza de sua atuação em alguns países da América Latina, em especial, neste caso, o Brasil. O efeito mais duradouro dessa iniciativa, que será explorado ao longo desta tese, foi fornecer os meios necessários para a criação, ampliação e consolidação de comunidades e de infraestruturas científicas, sobretudo nas áreas da física e medicina nuclear, radioquímica e radiobiologia. Por outro lado, como aponta o estudo de Mateos e Suárez-Díaz (2016a), o Átomos para a Paz fracassou em suas promessas de desenvolvimento econômico e social, os reatores de potência não geraram a energia elétrica prometida e almejada, e os radioisótopos não deram conta das ‘utopias’ de erradicação de doenças e da cura do câncer. Mas esses átomos serviram, junto de outros recursos e mecanismos, para a capacitação dessas comunidades locais de cientistas, técnicos e até mesmo das forças armadas (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016^a, p. 9).

O fato de os radioisótopos e demais empreendimentos ligados à energia atômica não terem cumprido com as expectativas iniciais de cura do câncer ou erradicação de outras doenças, alta produção energética ou desenvolvimento econômico e social, e mesmo assim terem propulsionado e capacitado comunidades de cientistas, por exemplo, serve para pensar nos significados de uma ciência *da* ou *na* Guerra Fria (ORESQUES, 2014). Nesse caso, não se trata de pensar apenas no impacto das tensões geopolíticas do conflito global em empreendimentos científicos, mas entender os próprios empreendimentos da ciência do período como algo inerente ao contexto. Portanto, uma ciência da guerra fria, seria uma ciência que enxergava a energia nuclear e os radioisótopos como a mais alta tecnologia, como Creager (2013) aponta, “após a descoberta do microscópio”, mas que, no fundo, acabou por ser limitada e circunscrita a certas fronteiras. Entender, assim, a relação entre as expectativas políticas e científicas do uso dos radioisótopos e os seus resultados, e os efeitos duradouros dessa dinâmica após os anos 1960, é a questão deste trabalho. Esses efeitos duradouros podem ser, por exemplo: a construção de grupos de pesquisa e da lógica/cultura de financiamento à pesquisa científica no Brasil; a relação entre diferentes linhas de pesquisa, disciplinas e

¹⁰⁸ Para um aprofundamento maior na história da física nuclear e na atuação de diferentes físicos nesse contexto ver o livro de ANDRADE (1999).

grupos e o saldo disso para diversas áreas do conhecimento; a construção de infraestruturas para a ciência.

Nesse sentido, a partir deste ponto, esta análise privilegiará de forma mais aprofundada essas relações entre o Átomos para a Paz, as infraestruturas científicas criadas a partir da década de 1950 e o desenvolvimento de diferentes áreas de pesquisa no Brasil. Um documento interessante para iniciar essa análise, já citado neste capítulo, é o livro intitulado *Brazil: Atoms for Peace*, publicação da CNEN de junho de 1959. Escrito em inglês e composto por várias imagens, fotos, mapas e reproduções de falas de personagens importantes incluía também um texto divulgando os trabalhos da CNEN e os benefícios que o Brasil teria se entrasse ‘de cabeça’ na Era Atômica. Frisando a todo momento o fato de estarem no tempo dos átomos, o livro explora a construção de um mundo pacífico através do manejo adequado da energia nuclear:

Nesta era inicial de libertação para o átomo, em que o Brasil, por meio de seus cientistas e estadistas (gente que trabalhava na ciência e na política ao mesmo tempo) se prepara para somar sua colaboração a todos os povos do mundo, a Comissão Nacional de Energia Nuclear, tendo como presidente o Almirante Octacilio Cunha, está tentando revelar o que seus técnicos fazem, como trabalham, como atuam, tendo como finalidade (que não será um patrimônio unilateral, mas de todas as pessoas na terra) a prosperidade construída em um mundo de paz (BRAZIL, 1959, s.p.)

Analisando o livro em questão, sem entrar em detalhes já abordados, como os cálculos em favor da utilização da energia nuclear ou a influência dos Estados Unidos na América Latina, é possível perceber que todo o planejamento e a organização relacionada ao estabelecimento de reatores nucleares e outras atividades utilizando radioisótopos, acabaram por criar uma estrutura institucional, política e científica que demoraria para acontecer no Brasil sem o impulso atômico. No livro, não só a formação, mas a constituição de uma identidade para um tipo de especialista que seria fundamental nesse processo - o engenheiro nuclear - era um dos principais pontos dos quais dependia o programa. Cursos de pós-graduação, parcerias feitas com universidades de outros países, mobilização de recursos, criação de institutos, dentre outros aspectos fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa científica também eram abordados com detalhes e visando a sua rápida implementação. Esse esforço pelo ‘nuclear’ modelou a prática científica no Brasil, tanto do ponto de vista institucional, quanto, em boa parte do século XX, do ponto de vista epistemológico.

O reator do tipo piscina de alta potência instalado no Instituto de Energia Atômica (IEA) foi visto como um ponto de inflexão que mudaria a ciência não só pelos jornais, mas por grande parte dos envolvidos. Na publicação da CNEN, o reator, resultado de apoio direto

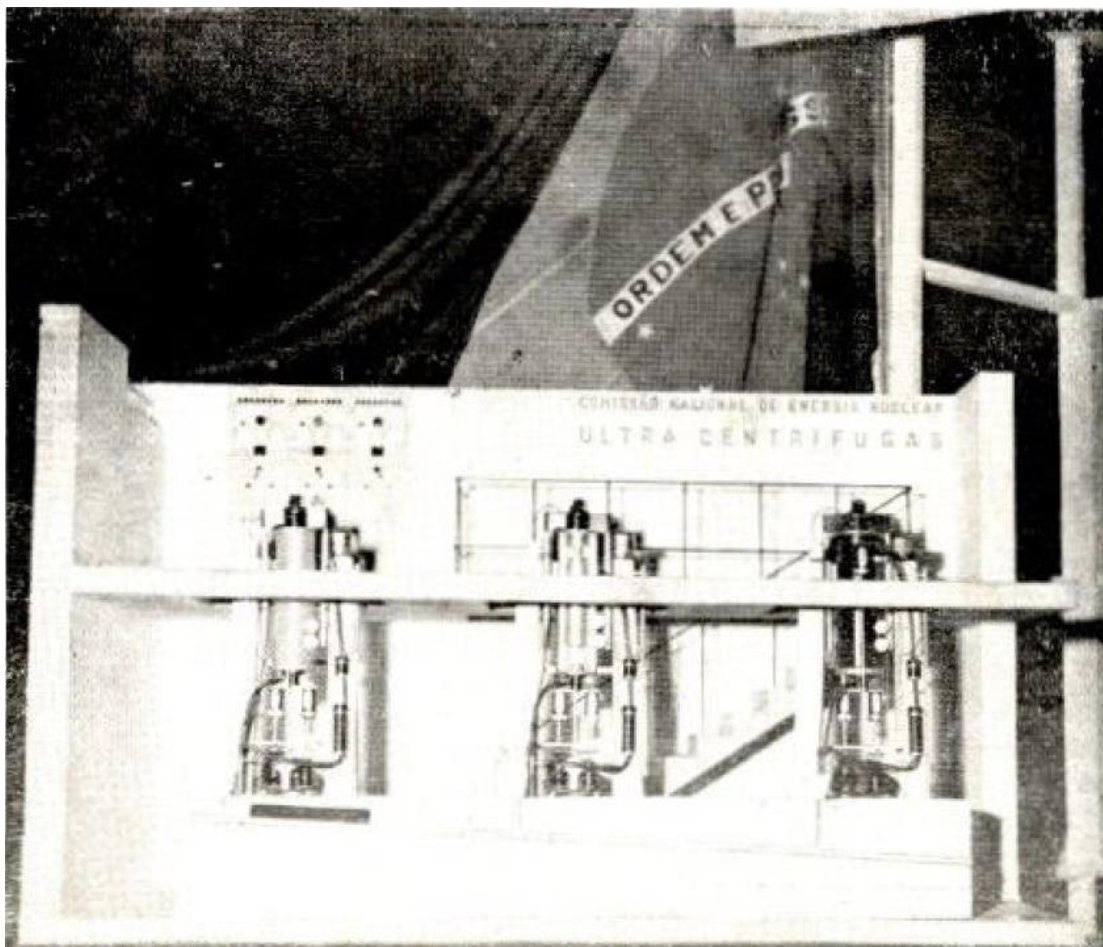
do programa Átomos para a Paz, também significava uma mudança radical nesse sentido: “Com o reator de São Paulo, passamos da teoria à prática” (BRAZIL, 1959, s.p.). O reator, construído na cidade universitária da USP, junto do IEA, instituto criado num convênio entre o CNPq, a USP e assinado pelo presidente Juscelino Kubitschek em 31 de agosto de 1956, parece ser não só um símbolo de mudanças na ciência brasileira, mas o principal ‘produto’ a ser divulgado pela CNEN nesse contexto. O livro explica em detalhes as características do reator e justifica a sua instalação listando vários aspectos ligados às finalidades principais do IEA, a casa do reator: a) contribuir para a formação científica em tecnologia nuclear de cientistas e técnicos oriundos de diversas universidades da Federação; b) estabelecer as bases, dados e protótipos para reatores projetados para fins industriais, “atendendo às necessidades do país”; c) produzir radioisótopos para ensino e pesquisa; d) desenvolver pesquisas sobre energia atômica “para usos pacíficos” (BRAZIL, 1959, s.p.).

Além do apoio financeiro direto e da ideologia de ‘pacificar os átomos’, o livro da CNEN também divulgou a mostra ‘Atoms for Peace’, que ocorreu em São Paulo, no Parque Ibirapuera, e que teve como objetivo apresentar o que estava sendo feito no Brasil na área dos usos pacíficos da energia nuclear. A mostra foi promovida pela CNEN, contou com institutos de pesquisa que utilizavam radioisótopos em diversas áreas, como o CBPF e o Instituto de Biofísica, e iria ser divulgada nas “principais cidades do país”.



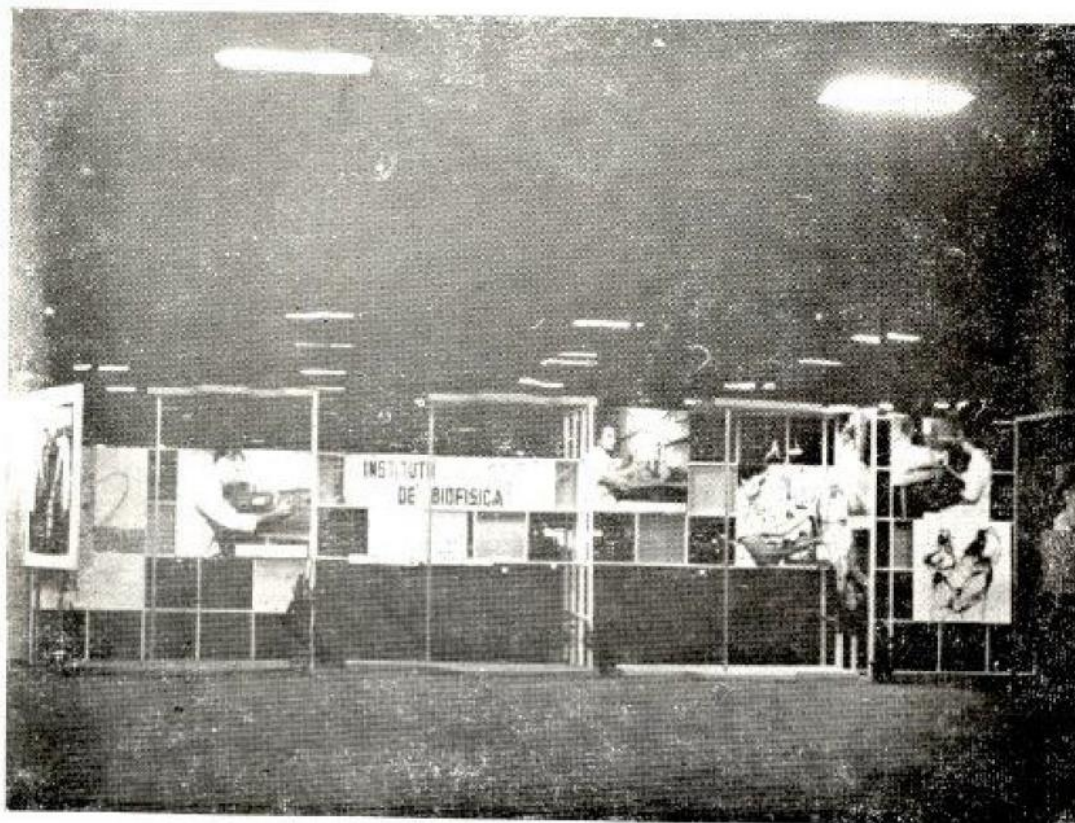
In: **BRAZIL: Atoms for Peace**. Rio de Janeiro: CNEN, 1959.

Figura 11: Fotos da Mostra *Atoms for Peace*, em São Paulo, parte 2. Não existem informações sobre a data, mas certamente ocorreu entre 1958 e 1959.



In: **BRAZIL: Atoms for Peace**. Rio de Janeiro: CNEN, 1959.

Figura 12: Exposição das atividades realizadas no Instituto de Biofísica, na Mostra *Atoms for Peace*, em São Paulo. Não existem informações sobre a data, mas certamente ocorreu entre 1958 e 1959.

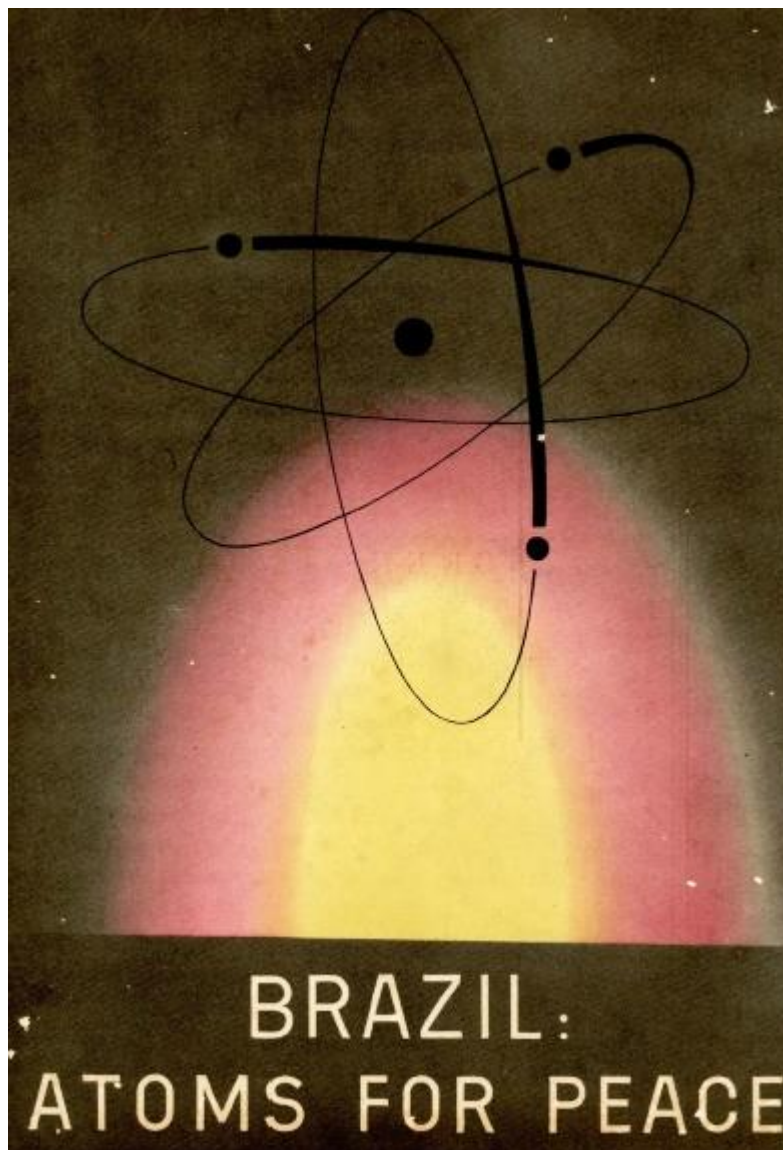


In: **BRAZIL: Atoms for Peace.** Rio de Janeiro: CNEN, 1959.

Um aspecto interessante do documento em análise é evidenciar o esforço da CNEN, em tão pouco tempo, em divulgar todas as atividades e resultados efetivos possíveis do IEA, de seu reator e da parceria com o Átomos para a Paz. No tópico de acordos e colaborações, são listadas parcerias com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos (SP), para irradiação de amostras em estudos sobre o desgaste de componentes em motores de explosão destinados à indústria automobilística; o Instituto de Agronomia de Campinas (IAC), e sua agenda de irradiação de sementes de frutas cítricas para causar mutações artificiais; com o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR) de Minas Gerais, para instalação de seu reator de pesquisas Triga e estudos de proteção radiológica; com a Universidade da Bahia e Academia de Engenharia, em colaboração na área da radioquímica; além de colaborações com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o Departamento de Abastecimento de Água e Esgoto da Secretaria de Via Pública do Estado de São Paulo, utilizando radioisótopos para determinar a vazão da rede de distribuição de água, com o SESI (Serviço Social de Indústrias), com a USP e com o serviço dos professores de medicina Baeta Vianna e Oromar Moreira, da Universidade Federal de Minas Gerais, para

fornecimento de iodo ^{131}I para estudos de bócio endêmico (BRAZIL..., 1959, s.p.).

Figura 13: Capa da publicação de 1959 da Comissão Nacional de Energia Nuclear.



In: **BRAZIL: Atoms for Peace**. Rio de Janeiro: CNEN, 1959.

Embora a CNEN estivesse estabelecendo, a partir do reator de São Paulo, uma disseminação de atividades práticas diversas, em relação aos cursos, aparatos tecnológicos e formação técnica a grande maioria das atividades envolvia as áreas da física, engenharia e geologia nuclear (para prospecção de minérios radioativos). Entretanto, o setor nuclear de modo geral sofria com um ínfimo percentual de recursos. Para o período de 1957 a 1961, por exemplo, apenas 0.3% dos recursos do programa de governo de Kubitschek seriam destinados a esse setor, enquanto 62% iriam para gastos com energia elétrica, 35,5% petróleo e 2% carvão mineral. Desse modo, a CNEN enfatizava o protagonismo de seus especialistas, que

mesmo diante da escassez de recursos e infraestrutura, estariam levando a cabo o programa de usos pacíficos da energia nuclear no Brasil:

Igualando o insignificante percentual destinado à energia nuclear, todo mérito parece pertencer aos pioneiros da CNEN, que enquanto se preparam para a racionalidade das técnicas, não deixam de apresentar entre suas características, um certo visionarismo sem o qual seria impossível confiar na engenhosidade humana em seu poder de superar a natureza e encontrar seus segredos. A tarefa é, portanto, enorme para a Comissão Nacional de Energia Nuclear, cuja eficácia tem de depender de controvérsias alheias à sua linha de atuação: algumas de caráter político, outras de caráter internacional e ainda outras de natureza tecnológica. No entanto, há uma firme convicção de que adotamos a abordagem correta: a liberação do átomo trará a liberação econômica que temos lutado tenazmente para conquistar (BRAZIL, 1959, s.p.),

O livro aqui mencionado sintetiza um pouco do significado do programa de Eisenhower para a ciência brasileira do contexto. Um aprofundamento maior dessas dinâmicas fugiria dos objetivos dessa pesquisa. Cabe salientar, entretanto, que as fontes e a literatura sobre a atuação do Átomos para a Paz na América Latina deixam claro que nada foi inventado pelo governo estadunidense. Já existia um grande interesse de cientistas brasileiros pela temática da energia nuclear e suas tecnologias, e esses mesmos cientistas, em suas diversas áreas, souberam aproveitar os incentivos, apoios e colaborações internacionais do contexto. Mais interessante para os objetivos dessa pesquisa, nesse sentido, é compreender o funcionamento da CNEN, como agência que resultou de uma cisão no CNPq, e que intermediou as relações entre o programa Átomos para a Paz, como também com outros programas e agências multilaterais, e os institutos e agendas de pesquisa no Brasil.

Se no tópico anterior destaquei as diferentes fases do programa nuclear brasileiro e algumas representações da energia nuclear no Brasil, identificando características como a busca pela autonomia, a militarização de alguns processos e o entendimento de que a energia nuclear seria a única alternativa viável para o futuro, no último tópico desse capítulo irei aprofundar como as infraestruturas científicas criadas em decorrência dos programas nucleares levaram a transformações de diferentes disciplinas e agendas científicas. Procurarei ressaltar, por fim, o papel dos radioisótopos nesse processo, como objetos tecnológicos que condensam as esferas políticas, diplomáticas e científicas, e se apresentaram como uma ferramenta oportuna para os cientistas brasileiros em seus complexos sistemas experimentais construídos.

1.4.2 A Comissão Nacional de Energia Nuclear: a energia atômica e a institucionalização das ciências no Brasil

A década de 1950 trouxe para o Brasil o início do que hoje chamamos de política científica no sentido de agências e programas especificamente dedicados à promoção e suporte das ciências. Uma peculiaridade não exclusiva do caso brasileiro, mas ligada ao contexto de Guerra Fria, é que a criação de agências de fomento à pesquisa científica esteve integralmente associada aos planos nucleares que na época começavam a ser colocados em prática. Criado em janeiro de 1951, o Conselho Nacional de Pesquisas, hoje Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), tinha como objetivo profissionalizar a carreira da ciência e da tecnologia no país e desenvolver e financiar atividades de pesquisa. Já a Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, hoje Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), criada em julho do mesmo ano, tinha como objetivo a formação de pessoal especializado para atender demandas públicas e privadas.

A articulação entre o governo Dutra e o almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva para a criação do CNPq passou pela vontade dos cientistas brasileiros em contribuir para a superação do “atraso crônico do país”. Entretanto, a opção pelo foco da agência no setor nuclear, indicando o papel estratégico atribuído à energia nuclear pelos militares, culminou numa distribuição de recursos quase que inteiramente para a área da física e num descontentamento geral entre os demais cientistas que participavam dos projetos da agência. Em pouco tempo, o CNPq se tornou um lugar de tensão e disputa, devido não só a desigualdade de recursos para as diferentes áreas de pesquisa científica, mas sobretudo pelo encaminhamento quase exclusivo da agência para a questão nuclear (ANDRADE e SANTOS, 2013).

Esses padrões característicos da institucionalização das ciências no Brasil da década de 1950 revela também como a circunscrição da pesquisa científica a uma agência com interesses nucleares, atrelada a aspectos globais da ciência, tecnologia, política e da própria episteme do período (ERICKSON et al, 2013), levou ao surgimento e desenvolvimento de disciplinas específicas. Tal foi o caso da radiobiologia, num sentido amplo uma ciência preocupada com as relações entre as radiações ionizantes e os sistemas biológicos, e, portanto, também ligada à física e aos financiamentos nucleares. A longo prazo, as tecnologias e políticas nucleares também propiciaram o surgimento de outras disciplinas, como a radioecologia, e impulsionaram diversas disciplinas já existentes, com a genética, a

bioquímica, a zootecnia, a agronomia e a biologia molecular. É evidente que isso não está unicamente ligado à criação e às intenções de agências nacionais ou mesmo internacionais específicas, mas é um exemplo expressivo da institucionalização das ciências na década de 1950, apontando para uma estreita relação entre ciência, Estado e desenvolvimento.

Essa amplitude da questão nuclear nos anos 1950 mostra também uma realidade mais complexa, dado que num primeiro momento poderíamos entender o contexto apenas como uma via única construída em direção ao programa nuclear e aos desenvolvimentos da energia atômica. Mas o fato é que mesmo disciplinas que se valeram dessas ferramentas disponíveis não se limitaram a uma agenda nuclear. Ou seja, isso evidencia não só a existência de redes independentes de cooperação entre cientistas e a criação de agendas de pesquisa para além do agenciamento do Estado e das agências financiadoras, mas também como essa dinâmica é muito mais complexa, seja em contextos como os do pós-guerra, em contextos democráticos ou mesmo em contextos autoritários. Ou seja, nem toda a radiobiologia e fotobiologia, por exemplo, se reduziu à compreensão do funcionamento de organismos irradiados ou contaminados por radiação em regiões próximas às usinas nucleares, ou a radioecologia, que de radioisótopos passou a utilizar isótopos estáveis para pesquisar, por exemplo, a poluição de rios amazonenses por mercúrio. Nesse sentido, a questão nuclear fomentou e promoveu, a partir de suas questões próprias, desdobramentos científicos e epistemológicos que foram além da corrida atômica.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é a principal instituição brasileira a ser estudada para compreender tanto o programa nuclear quanto as pesquisas com radiação e aplicações de radioisótopos. Ela é, até os dias de hoje, responsável pela regulação de toda e qualquer atividade relacionada ao tema no território brasileiro. Como já evidenciado ao longo deste capítulo, a CNEN surgiu a partir do CNPq, tendo sua criação em 10 de outubro de 1956, durante o governo Kubitschek, após o mesmo lançar suas “Diretrizes Governamentais para a Política Nacional de Energia Nuclear” e antes da publicação do relatório final da “CPI da Energia Atômica”¹⁰⁹, criada com o objetivo de averiguar documentos atribuídos a Juarez Távara, os acordos de cooperação com os EUA de 1955, e discutir a política de exportação de materiais físséis utilizados na produção de energia nuclear (ANDRADE e SANTOS, 2009). A criação da CNEN por Juscelino Kubitschek era uma estratégia para lidar com as tensões

¹⁰⁹ A Comissão Parlamentar de Inquérito para Proceder Investigações sobre o problema da energia nuclear no Brasil foi criada na resolução n.49 de 10 de fevereiro de 1956 e presidida pelo deputado Gabriel Passos (UDN-MG). Também seriam investigadas as empresas Orquima S.A. e a Mibra S.A, que beneficiavam monazita para extrair terras-raras e óxido de tório, a compra do material pelo CNPq e sua exportação para os EUA (ANDRADE e SANTOS, 2009, p. 228).

envolvendo o tema na época, além de reabilitar o programa atômico de Getúlio Vargas.

À CNEN de Kubitschek cabia propor soluções que orientassem a política nacional de energia atômica em todas as suas fases, como consta, por exemplo, em publicações já mencionadas neste capítulo (BRAZIL..., 1959). A CNEN ficaria responsável pela execução de todos os convênios, acordos e programas de pesquisa e tecnologia ligados à energia nuclear, regulando suas atividades a partir de um escopo voltado para os interesses nacionais. De acordo com Andrade e Santos (2009), embora a CNEN tenha passado a ter atribuições que eram de responsabilidade da extinta Comissão de Energia Atômica do CNPq, os primeiros anos da CNEN não corresponderam às expectativas de alguns membros da antiga comissão de reavivar aquele programa atômico de Álvaro Alberto. “Mesmo com a criação da CNEN, que pouco a pouco iria concentrar as atividades de pesquisa e prospecção de urânio e tório, o CNPq e o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) continuaram a realizar a tarefa até 1959, por falta de orçamento da nova instituição” (ANDRADE e SANTOS, 2009, p. 232).

Em sua primeira gestão, a CNEN foi presidida pelo almirante Octacílio Cunha, e assim procurou estabelecer sua estrutura institucional, recrutando pessoal qualificado, criando um organograma e organizando a carreira de seus futuros servidores, ainda em grande parte oriundos da área militar. Uma comissão deliberativa composta por Octacílio Cunha, o diplomata Octávio Augusto Dias Carneiro, os engenheiros químicos Francisco Humberto Maffei e Bernardo Geisel e o físico Joaquim da Costa Ribeiro, substituído em 1958 pelo geofísico Irnack de Amaral, ficava a cargo das decisões do órgão durante o governo Kubitschek. No período inicial, até a década de 1960, a CNEN executou várias atividades que o CNPq já realizava, como as prospecções, a formação de técnicos e cientistas, e outros projetos de usinas e centrais nucleares que não deram certo.

De acordo com Andrade e Santos (2009), durante o governo de Kubitschek o setor nuclear ficou muito aquém do esperado, devido não só ao enfraquecimento da produção científica e tecnológica com a redução do orçamento do CNPq, mas também pela CNEN ter adquirido a empresa Orquima S.A. já em sua fase pré-falimentar, sendo um dos maiores acionistas um grande amigo de Juscelino Kubitschek. Além disso, ao transferir a CNEN para a jurisdição do Ministério de Minas e Energia (MME), em fevereiro de 1961, como já abordado aqui, dificultou-se ainda mais as possibilidades de atuação da agência.

Diante de tantas dificuldades e adversidades políticas e econômicas, o que foi efetivado entre os institutos, grupos e programas de pesquisa que estiveram de alguma forma subordinados à CNEN? Em 1959, a CNEN criou o Laboratório de Dosimetria, em parceria

com a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), que em 1972 passou a se chamar Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) (ANDRADE e SANTOS, 2009). Antes disso, o Instituto de Energia Atômica (IEA) também já havia sido criado e também se juntaria ao quadro de instituições ligadas à CNEN.

Em agosto de 1959, um documento da CNEN, ao abordar as aplicações dos radioisótopos em áreas mais fundamentais da pesquisa científica, indicava que ainda se tratava de algo raro no Brasil, mencionando apenas superficialmente a importância do Instituto de Biofísica, “no preparo do pessoal especializado na aplicação de radioisótopos à biologia e à medicina” (O PROGRAMA..., 1959, p. 61). Ainda que o programa Átomos para a Paz tivesse grande importância na organização da própria CNEN e no apoio a uma série de instituições criadas ou integradas a partir dela entre as décadas de 1950 e 1960, grupos de pesquisa como o do Instituto de Biofísica ou do Centro de Medicina Nuclear da USP já estavam estabelecendo agendas de pesquisa com radioisótopos independentemente das políticas externas norte-americanas mais direcionadas. Esses institutos, possivelmente pelos seus graus de autonomia, não integraram o quadro de institutos que passaram a compor, a partir de 1962, o Plano Nacional de Energia Nuclear da CNEN, tais como o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR-UMG), o Instituto de Energia Atômica (IEA-USP), o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN-UB), o Laboratório de Dosimetria (CNEN-PUC-RJ, hoje IRD) e o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-ESALQ) (ANDRADE, 2006). Além dos institutos ligados diretamente à CNEN, outras instituições e laboratórios também se relacionavam com o órgão, seja pela necessidade demandada pela natureza da matéria prima das pesquisas, os radioisótopos, seja devido a cursos, eventos e outras parcerias com institutos mais bem localizados dentro da política nuclear. Institutos como o Instituto Oswaldo Cruz (IOC), o Instituto Biológico (IB-SP), o Instituto Butantan (SP), a Escola Paulista de Medicina, além de grupos de geneticistas, são alguns outros exemplos.

Produzir radioisótopos era um dos objetivos do programa nacional de energia nuclear em 1959, além de difundir o seu uso adequado na pesquisa científica, na indústria, agricultura e medicina (O PROGRAMA..., 1959, p. 56). Entretanto, a importação desses objetos era o que garantia a manutenção e desenvolvimento dos setores que o demandavam, pois a produção doméstica ainda não estava estruturada. Nesse sentido que o reator do IEA era encarado com grandes expectativas:

No Brasil, até agora, as necessidades crescentes de isótopos radioativos têm sido insatisfatoriamente atendidas pela importação, da qual decorrem deficiências provenientes das dificuldades na obtenção de divisas e de desembaraço alfandegário, que somadas aos prazos exigidos para embarque

e transporte, mesmo por via aérea, concorrem para a menor disponibilidade, no país, particularmente daqueles radioisótopos de curta “meia-vida”, como o iodo radioativo (O PROGRAMA..., 1959, p. 57).

De fato, o transporte de radioisótopos foi um grande problema ao longo de todo o século XX. A meia-vida, ou seja, a duração de um determinado radioisótopo em decaimento, é variável e em viagens longas o risco de perder a carga de isótopos era alto. A produção nacional, nesse sentido, ganharia ainda mais importância. Laboratórios anexos ao reator de São Paulo colocariam à disposição, após serem construídos, cerca de 70 tipos de isótopos artificiais, que seriam distribuídos e regulados pelo IEA e pela CNEN. Mas em documentos da CNEN de quase 10 anos depois, é possível perceber a permanência da dificuldade da produção local de radioisótopos, e a necessidade de ainda a defender diante da importação. A apresentação¹¹⁰ “Produção de radioisótopos na divisão de radioquímica do Instituto de Energia Atômica”, de Constância Pagano Gonçalves da Silva, publicada no nº 159 das Publicações IEA de junho de 1968, exibe uma listagem de radioisótopos que estavam sendo produzidos na divisão de radioquímica do IEA, mas aborda algumas dificuldades presentes. Dentre elas estavam as “operações descontínuas de alguns elementos e impossibilidade de produzir todos os radioisótopos como por exemplo o cobalto-60 para cobaltoterapia e carbono-14” (SILVA, 1968, p. 1). Constância Silva mencionava os problemas com a importação, tanto em relação à curta meia-vida de alguns isótopos, como já citado, mas também os custos e entraves burocráticos aduaneiros. Argumentava também que a produção local de radioisótopos era uma boa forma de treinar novos pesquisadores.

Silva (1968) relata o histórico do departamento de radioquímica do IEA como braço responsável pelo tratamento químico necessário para a utilização dos radioisótopos desde 1959. A cientista (1968, p. 3) também menciona a centralidade da produção de iodo-131, possivelmente o radioisótopo mais demandado pela medicina da época, sobretudo para o estudo do diagnóstico da função tireoidiana. Em 1959, as necessidades internas eram atendidas, principalmente, pela importação de radioisótopos fabricados em grande parte nos Laboratório Abbott, em Chicago, e Phillips, na Holanda.

Outros caminhos que depois se desenvolveriam no âmbito da aplicação de radioisótopos estavam florescendo. Nas aplicações industriais, por exemplo, algumas citadas pela CNEN em 1959 eram: o uso de radioisótopos na Companhia Siderúrgica Nacional, em

¹¹⁰ Originalmente apresentada na II Conferência Interamericana de Radioquímica, promovida pelas Comissão Interamericana de Energia Nuclear e Comissão de Energia Nuclear do México, de 22 a 25 de abril de 1968, no México.

Volta Redonda, no processo mecânico do controle de qualidade na produção de laminados; na inspeção de moldes e forjaria do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro; pela Petrobrás, na indústria do petróleo; no desgaste de peças de motores à explosão, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica, em São José dos Campos (O PROGRAMA..., 1959, p. 59). Nas aplicações de radioisótopos no campo da agricultura, estava em desenvolvimento um projeto para instalação de laboratório destinado à pesquisa de “certas radiações” na conservação de alimentos, preservação e desinfecção das colheitas feitas no país. Estudos dessa natureza estavam sendo realizados pelo Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícola da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no quilômetro 45 da Estrada Rio-São Paulo, Instituto Agrônomo de Campinas e pela Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, “onde são pesquisadas, por meio de radioisótopos, não somente as ocorrências naturais de fósforo e fosfatos em vários tipos de solo [...], mas também a bioquímica e a cinética da nutrição de certas plantas, principalmente de cafeeiros” (O PROGRAMA..., 1959, p. 60).

Em relação às aplicações médicas, em 1959 foram inaugurados os laboratórios especializados do Centro de Medicina Nuclear da Faculdade de Medicina da USP (que já existia desde 1949 como Laboratório de Isótopos), e do Serviço Nacional do Câncer ligado ao Ministério da Saúde, no Rio de Janeiro. Os cursos de metodologia de radioisótopos, já abordados neste capítulo, são mencionados como um dos serviços prestados por esses centros. E outros estabelecimentos de medicina hospitalar também estavam se organizando para empregar radioisótopos em suas clínicas, como o Hospital do Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Comerciantes (IAPC), no Rio de Janeiro, Salvador e Recife, e na Faculdade de Medicina de Porto Alegre (O PROGRAMA..., 1959, p. 60).

Avançando a década de 1960, já com a estruturação dos institutos de pesquisa agregados ao Plano Nacional de Energia Nuclear da CNEN, suas atividades estavam distribuídas da seguinte forma, a partir de um panorama do emprego da energia nuclear datado de 1968 (RIBEIRO, 1968): o Instituto de Energia Atômica (IEA) tinha centralidade para a CNEN pela produção de radioisótopos através de seu reator, mas também por pesquisas científicas em diversas áreas e treinamento e formação de pessoal. O Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), localizado na Universidade Federal de Minas Gerais em Belo Horizonte, criado em 1953, através de seu reator do tipo Triga, o segundo reator do Brasil, estava atuando sobretudo na irradiação de amostras de minérios de Araxá, além de pesquisa e formação de pessoal. O Instituto de Engenharia Nuclear (IEN-RJ), criado em 1962, possuía um reator (Argonauta), construído totalmente no Brasil por técnicos e operários brasileiros, e

atuava sobretudo na formação de pessoal, pesquisa científica e produção de alguns radioisótopos de vida curta. O Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da USP, em Piracicaba, criado em 1962, tinha disponível uma fonte de cobalto-60 e dois espectrômetros de massas, para oxigênio e deutério, e desenvolvia pesquisas, formação e treinamentos (RIBEIRO, 1968, p. 37-39).

Por sua vez, o Instituto de Biofísica (RJ), embora fosse pioneiro e uma das principais instituições a trabalhar com radioisótopos, de acordo com o documento da CNEN, ainda não fazia parte oficialmente do Plano Nacional de Energia Nuclear. Um convênio entre a UFRJ e a CNEN estava previsto para ser assinado em 1969, integrando finalmente o Instituto de Biofísica à Política Nacional de Energia Nuclear (URIEL, 1968, p. 40). Como já levantado aqui, não se pode atribuir apenas a essas instituições a distribuição e uso de radioisótopos no Brasil:

Outras instituições vêm realizando pesquisas, ensino ou trabalhos de interesse da CNEN, recebendo nesses casos, por convênio, um auxílio financeiro com destinação específica. São elas, geralmente, Institutos, Departamentos ou Escolas Universitárias. Estão sendo distribuídos pela Comissão [CNEN], este ano, 21 auxílios a instituições diferentes, num total de NCr \$ 1.360.000,00 [cruzeiro novo] (RIBEIRO, 1968, p. 40).

Dessa forma, para além das instituições do Plano Nacional de Energia Nuclear da CNEN, pode-se mencionar uma série de institutos de pesquisa que foram apoiados pela CNEN. Entre 1956 e 1965, por exemplo, ao menos 10 instituições foram contínua ou pontualmente apoiadas pelo órgão regulador da energia nuclear. Em 1958, por exemplo foi iniciada a instalação de 3 ultracentrífugas em colaboração com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), que entraram em funcionamento em 1959, para serem utilizadas em pesquisas e preparos técnicos ligados ao programa industrial da CNEN. No Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), foi iniciada em 1961 a construção de um protótipo de 3Mev para desenvolver a técnica de Linacs (acelerador linear), que por sua vez serviria para trabalhos de física do estado sólido. A máquina entrou em operação em 1963 e, em 1964, a construção de um Linear de 50Mev foi também iniciada. No Centro de Medicina Nuclear da Faculdade de Medicina da USP (CMN-FMUSP), que analisarei no próximo capítulo, entre 1958 e 1961 a CNEN contribuiu com a instalação de laboratórios para pesquisas com radioisótopos visando a construção de diagnoses e terapêuticas nucleares.

Na PUC-RJ, a CNEN manteve contato e apoio com o Departamento de Física que, como também veremos adiante, iniciou estudos de radioatividade natural no Brasil, a partir de 1958. Ainda no âmbito da física, a CNEN colaborou, desde 1962, com o Instituto de Física da

Universidade do Rio Grande do Sul, em pesquisas sobre espectroscopia nuclear e radioquímica. No Instituto Militar de Engenharia (IME), a CNEN investiu em pesquisas “técnico-econômicas” com foco na produção nacional de água pesada, a partir de 1964. Na virada da década de 1950 para 1960, a CNEN apoiou também os programas de pesquisas envolvendo a aplicação de radioisótopos na medicina, biologia e agricultura no Instituto de Biofísica da UFRJ (IBCCF), no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-ESALQ-USP), no Instituto de Pesquisas Biofísicas da Universidade do Rio Grande do Sul e no Instituto Estadual de Hematologia “Arthur de Siqueira Cavalcanti”, no Rio de Janeiro (CNEN, 1966, p. 21-22).

Em relação às instalações industriais da CNEN, nesse contexto a comissão possuía duas usinas (em Buena, no Estado do Rio de Janeiro, e em Cumuruxatiba, na Bahia) de beneficiamento de monazita, que estavam sendo geridas pelo seu Departamento Industrial e Comercial. A CNEN possuía também um contrato com uma empresa privada em Guarapari, no Espírito Santo. Além disso, o governo adquiriu da empresa Orquima S/A a Administração da Produção da Monazita (APM), usina de processamento hidrometalúrgico de monazita seriada em São Paulo e pertencente à CNEN. Não será possível analisar agora em detalhes as atividades da CNEN em relação ao desenvolvimento industrial e suas dinâmicas com empresas públicas e privadas. Mas é interessante perceber que a indústria, bem como a medicina, acabava por dar base para justificar o investimento no programa nuclear brasileiro, por serem setores-chave da sociedade e das disputas políticas. Ou seja, esses seriam os exemplos mais citados ou mais concretos dos usos pacíficos da energia nuclear. Entretanto, em 1968, a CNEN possuía como principais metas a pesquisa de minerais nucleares, sobretudo o urânio, a formação e aperfeiçoamento de pessoal e a expansão de programas de estudos e agendas de pesquisas (RIBEIRO, 1968, p. 45).

Como veremos a seguir, diferentes áreas do conhecimento científico ganharam impulso com esse contexto de incentivo ao átomo pacífico. Nesse sentido, os radioisótopos participam dessas dinâmicas como ferramentas que circulam entre esses diferentes espaços: a indústria, a diplomacia, a política e o laboratório. Cabe entender, e esse é o foco desta pesquisa, a natureza das transformações ocasionadas por esses objetos em algumas das principais áreas da pesquisa científica brasileira na segunda metade do século XX. A partir deste ponto, meu objetivo é entender a formação de novas práticas científicas que emergem com um contexto específico próprio da Guerra Fria, e com uma avalanche de possibilidades e ansiedades ocasionadas pelo domínio e compreensão dos átomos. Ligam-se essas práticas a reconfigurações teóricas do campo da biologia e da própria institucionalização das ciências no

Brasil.

Nesta tese, não é meu objetivo aprofundar a atuação da CNEN em detalhes. Nesse sentido, os outros capítulos seguirão os radioisótopos nas práticas e trajetórias de cientistas e na atuação de institutos e grupo de pesquisa impactados ou transformados de alguma forma pela emergência e utilização desses objetos. É do maior interesse para esta análise seguir os radioisótopos em suas transmutações ao longo da segunda metade do século XX, conectando-os a outras agendas e problemas, ao invés de circunscrever este estudo ao papel burocrático e político de uma instituição como a CNEN. Apesar disso, para finalizar este tópico, irei mencionar brevemente, com base em alguns relatórios anuais da CNEN¹¹¹, alguns outros aspectos envolvidos na história dos radioisótopos e na atuação da agência, seja em relação à aplicação desses objetos à pesquisa biológica e médica, ou então de forma mais genérica. Essa digressão explicativa é importante, pois, os relatórios anuais mencionados, que datam de 1966 - dez anos após a criação da agência - aos dias atuais, apresentam uma quantidade expressiva de dados. Não farei aqui uma análise exaustiva desses dados por fugir ao escopo, deste trabalho.

Como já abordei, ainda que superficialmente, alguns aspectos da CNEN nas décadas de 1950 e 1960, citarei agora alguns outros exemplos avançando para as décadas seguintes de atividades com radioisótopos. No início da década de 1970, em se tratando de aplicações de radioisótopos na medicina e na biologia, a CNEN delimitou algumas áreas consideradas prioritárias dentro do seu programa de atividades. Na esfera da infraestrutura, a CNEN previa manter um plano para a instalação em todo o território nacional de laboratórios pilotos de medicina nuclear em universidades. No âmbito da pesquisa, “foi dada ênfase aos trabalhos de investigação em tropicologia médica, uma vez que as doenças tropicais atingem a mais de 20 milhões de brasileiros, diminuindo sua vida ou sua capacidade” (CNEN, 1970, p. 135). Além disso, na Divisão de Radiobiologia do IEA-SP, por exemplo, estavam em curso pesquisas sobre volume plasmático com iodo-131, o comportamento da glândula tireoide em ratos chagásicos com dieta pobre de iodo, a excreção fecal de albumina em esquistossomóticos e outros temas que tinham os radioisótopos como principal ferramenta metodológica. O objetivo era entender o trânsito metabólico e fisiológico de certas configurações patológicas ou nutricionais como parte integrante da construção epistemológica desses sistemas experimentais (CNEN, 1970).

¹¹¹ Os relatórios anuais da CNEN podem ser acessados na Biblioteca Digital Memória da CNEN. Ver em: <https://memoria.cnen.gov.br/memoria/Relatorios.asp>. Acesso em: 09 de novembro de 2023.

Ainda em relação ao início da década de 1970, a aplicação de radioisótopos na agricultura foi registrada quase que exclusivamente a partir do trabalho do CENA-Esalq-USP, em Piracicaba, que desmembrava o uso de radioisótopos em pesquisas sobre solos, seus nutrientes, processos de fixação e absorção; pesquisas sobre plantas, estudando a adubação no café, absorção de nutrientes como o nitrogênio pelo trigo, e substâncias mutagênicas em extratos de frutas irradiadas; na pesquisa animal, os trabalhos registrados versavam sobretudo sobre estudos com insetos de importância agrícola, como certos besouros considerados pragas; na categoria ecologia, o trabalho desenvolvido no CENA em 1970 focou no estudo da amostragem de águas pluviais, superficiais e subterrâneas, no estado de São Paulo (CNEN, 1970, p. 150).

Em relação aos auxílios financeiros, em 1970 a CNEN concedeu o total de Cr\$ 3.338.604,51 (cruzeiros), sendo Cr\$ 228.409,25 desse valor destinados à aplicação de radioisótopos (7,6%). No programa de medicina, por exemplo, o maior aporte foi de 31.000,00 cruzeiros para o projeto intitulado ‘Estudo das funções da tireoide do metabolismo de animais marinhos’, da Universidade Federal de São Paulo (UFSP, hoje Unifesp). Apesar do programa ser classificado como de medicina, trabalhos diversos como o projeto de ‘Controle da radioatividade de ambiente’, do Instituto de Física da PUC-RJ, que recebeu o auxílio de apenas 7.000,00 cruzeiros, também se inseriam no mesmo escopo do fomento. No âmbito da agricultura, projetos de instituições do Maranhão, Pernambuco, Bahia e São Paulo receberam em média 10 mil cruzeiros cada, e envolviam temas como a esterilização de insetos por irradiação gama, geocronologia de águas subterrâneas e sedimentos, e a datação pelo método do carbono-14 em pesquisas geofísicas (CNEN, 1970, p. 153).

Além dos auxílios a projetos específicos, a CNEN apoiou alguns programas chamados de especiais, como os Coleta de Águas, Medicina Tropical, Laboratórios de Medicina Tropical, e Irradiação de Alimentos, totalizando o valor de Cr\$ 272.851,72. Uma década depois, o relatório do ano de 1980 apresentava alguns dados interessantes, em comparação. Nos gráficos impressos, apesar da dificuldade de leitura das porcentagens exatas, é possível ter uma noção dos valores totais investidos na aplicação de radioisótopos por áreas, instituições, e também da setorização dos recursos destinados às chamadas pesquisas fundamentais e aplicadas.

Pelos gráficos sobre a aplicação de radioisótopos em 1980, podemos ver que a maioria dos recursos foi destinada à agricultura, seguida pelas áreas médica e biológica, produção e, por fim, indústria e hidrologia. Nesse sentido, houve não apenas uma mudança no orçamento da CNEN, com um importante aumento, mas também na área que recebeu mais recursos. Em 1970, o programa de medicina havia sido o mais contemplado, sendo o programa de agricultura ainda bem menor em termos comparativos. A distribuição dos recursos também se reflete quando olhamos para as instituições. Em 1980, o CENA, instituto focado na pesquisa agrícola, ficou com quase metade dos recursos. Nos outros dois gráficos, no tocante a distribuição de recursos para as pesquisas fundamentais e aplicadas, vemos um equilíbrio maior entre as áreas contempladas. Química e geociências, materiais nucleares, instrumentação e controle, e radiação e dosimetria, foram, nessa ordem, as áreas que mais receberam recursos. Do ponto de vista das instituições, entretanto, houve um predomínio de aplicação de recursos no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), que, como vimos acima, era uma grande prioridade da CNEN.

Em 1985, o relatório anual da CNEN distinguia a pesquisa na área da saúde, descrita no tópico ‘Pesquisas’, e a pesquisa na área de agricultura e ecologia, itens do tópico ‘Desenvolvimento tecnológico’. No âmbito das pesquisas biomédicas, as principais instituições atuantes nesse contexto eram o IRD e o IPEN (antigo IEA-SP), além do Instituto de Câncer do Ceará (ICC), a Faculdade de Medicina e o Instituto de Biofísica da UFRJ, a Unirio-RJ, a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP/USP) e o Instituto Estadual de Hematologia Arthur de Siqueira Cavalcanti. No âmbito da agropecuária, o CENA ainda era a principal instituição, desenvolvendo projetos de engenharia genética, saúde e nutrição animal, despoluição hídrica, radiogenética, fertilidade do solo, melhoramento genético, radioentomologia, técnicas nucleares no estudo de ‘praguicidas’ e irradiação de alimentos. Na área de meio ambiente, o Instituto de Biofísica (IBCCF) aparece listado com o projeto ‘Estudo de metais pesados e urânio em cursos d’água’, e o CENA com seu programa de ecologia isotópica (CNEN, 1985).

Em meados da década de 1990, período em que identifiquei uma diminuição de pesquisas nas ciências da vida e ecologia utilizando radioisótopos, assim como Angela Creager (2013) verifica no caso norte-americano, os relatórios da CNEN de 1995 e 1996 apresentam o seguinte cenário para ambas as áreas: na saúde, os radioisótopos ainda eram considerados objetos de “extrema importância [...] no combate ao câncer, na análise do funcionamento da tireoide, na localização de tumores, na avaliação neurológica” (CNEN, 1996, p. 9), dentre outros temas. Além disso, vários projetos foram registrados para a área

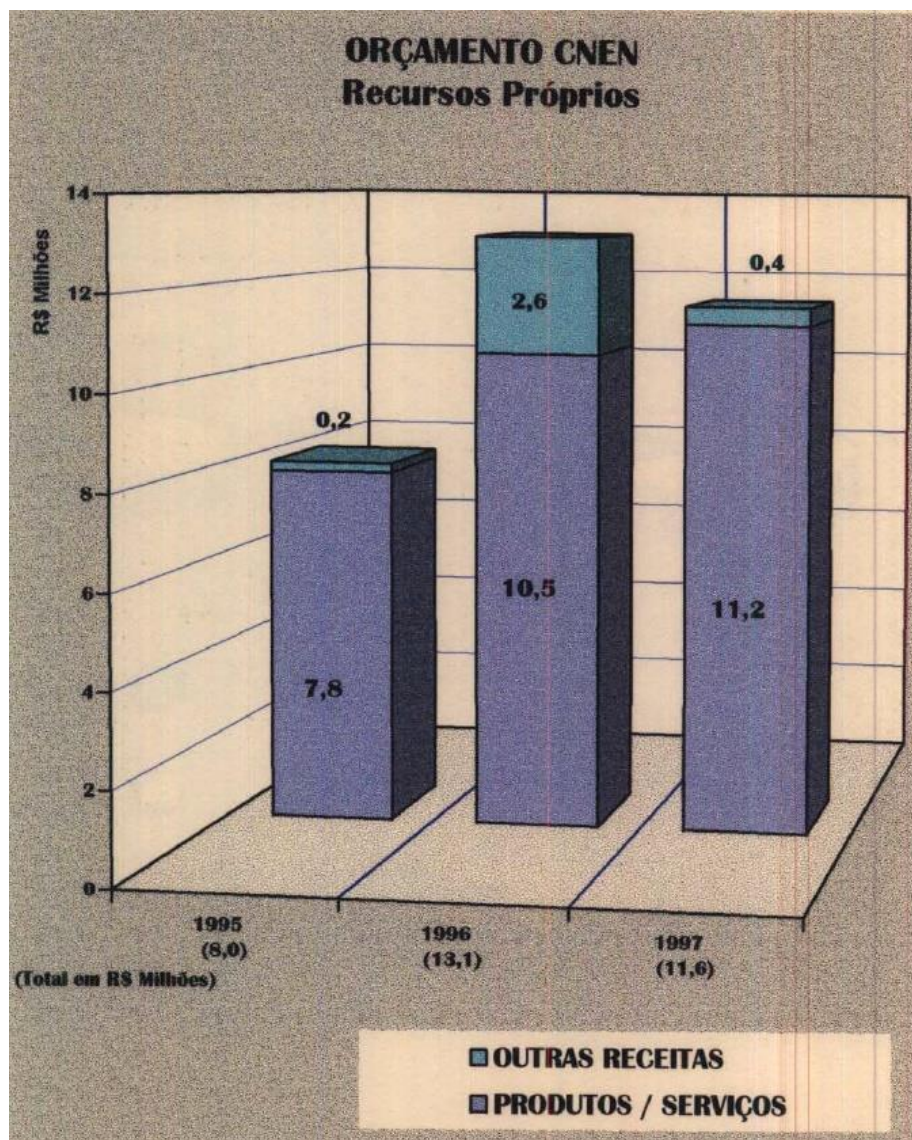
médica nos relatórios do biênio 1995-1996. Dentre eles, teve destaque a produção de 150 geradores de tecnécio por semana, o principal radioisótopo produzido e comercializado a partir do IPEN, com grande aplicação médica nesse contexto, “representando, em capacidade, a possibilidade de atendimento de cerca de 1 milhão pacientes/ano” (CNEN, 1996, p. 9). Outros dados importantes mencionados pelo relatório envolviam, por exemplo, o aumento da produção anual de radiofármacos em 30%, a aquisição de um novo acelerador Ciclotron e o investimento na produção de novos radioisótopos como o ETDM-samário-153, para alívio das dores em pacientes com metástases ósseas, o citrato de tálio-201, que até então era obtido apenas mediante importação, dentre outras tecnologias com foco em medicina nuclear. Nesse mesmo período, também foram desenvolvidas pesquisas envolvendo, por exemplo, a produção pelo IPEN e Instituto Butantã, de soro anti-veneno de cobra, para uso veterinário, através de veneno irradiado e atenuado com radiação gama (CNEN, 1996, p. 13).

Na área ambiental, a maioria das atividades entre 1995 e 1996 ficaram a cargo do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), situado em Belo Horizonte, Minas Gerais. Apesar de uma série de afinidades temáticas e projetos de pesquisas semelhantes, trabalhos mais específicos com radioisótopos, ou seja, mais próximos às atividades prioritárias da CNEN, não eram mais o foco, por exemplo, do Instituto de Biofísica (IBCCF-UFRJ), que podemos considerar como o primeiro grupo a desenvolver estudos na chave radioisótopos e meio ambiente, culminando em trabalhos de ecologia de ecossistemas, como veremos no capítulo 4. Esses trabalhos, estavam agora sendo desenvolvidos de maneira mais direcionada por grupos como o do CDTN:

No controle ambiental, as técnicas nucleares são empregadas na análise e detecção de poluentes ambientais, na medida da concentração de elementos tóxicos e na dispersão dos contaminantes. Outro aspecto importante, está na utilização da tecnologia nuclear para o mapeamento ambiental, através de estudos da chuva, da taxa de renovação das águas de reservatórios freáticos, da idade dos elementos do ambiente, da degradação da matéria orgânica do solo, etc. (CNEN, 1996, p. 14).

Em relação aos orçamentos próprios da CNEN nesse contexto, o gráfico abaixo, reproduzido do relatório anual, indica um aumento considerável de recursos de 1995 para 1996, mas, por sua vez, uma possível queda prevista para o ano de 1997.

Figura 16: Gráficos do orçamento próprio da CNEN nos anos de 1995, 1996 e 1997.



In: **CNEN. Relatório de Atividades 1995-1996.** Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1996, p. 71.

Como já mencionado acima, não será possível analisar a atuação e as várias mudanças ocorridas na CNEN ao longo de todo o recorte temporal desta tese. O que foi apresentado foi uma ínfima parte dessa história, ainda por ser feita. Apesar disso, pode-se ter uma noção, a partir do que foi escrito, de algumas das prioridades da CNEN em cada década, de 1970 aos anos 1990. Elementos como o orçamento reduzido para conduzir uma grande quantidade diversa de atividades, e a tentativa de manutenção, já próximo ao final do século XX, da centralidade dos radioisótopos, ao menos como fundamento e justificativa para a existência da CNEN, são aspectos que, mesmo sem uma análise extensa, já são perceptíveis nessa história.

A partir de agora, analisarei de forma mais aprofundada, as transformações ocasionadas pela emergência e circulação dos radioisótopos nas práticas científicas no Brasil,

com foco, inicialmente, nos campos da pesquisa agrícola, medicina nuclear e radiobiologia, e, posteriormente, na ecologia de ecossistemas. Para cumprir meu objetivo, nesse sentido, darei maior ênfase a instituições, grupos de pesquisa e personagens específicos, visando com isso, identificar aspectos que podem estar relacionados a tais transformações. Seguindo os radioisótopos, sigo também outros objetos dessa história. Neste ponto, passarei me debruçar sobre a história das ciências da vida e da ecologia no Brasil. A história da aplicação da radiação de um modo geral, assim como a história da energia nuclear no Brasil e a atuação e funcionamento interno da CNEN dentro do contexto da Segunda Guerra Mundial e da Guerra Fria, emolduram os sentidos políticos, culturais e econômicos da apropriação dos radioisótopos nos sistemas experimentais das ciências da vida.

Este capítulo introduziu uma miríade de temas relacionados à história da radiação no Brasil, desde o final do século XIX até as representações culturais e sociais mais contemporâneas da energia nuclear. A intenção aqui foi proporcionar uma visão panorâmica, preparando o terreno para análises mais detalhadas nos próximos três capítulos. Cada tópico mencionado será minuciosamente explorado em sua própria seção, garantindo uma compreensão mais profunda. Nos capítulos subsequentes, concentrar-me-ei especialmente na história da aplicação dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, aprofundando ainda mais nossa leitura da história das ciências no Brasil da segunda metade do século XX. Este capítulo serve como um prelúdio, e é nos próximos que cada fio desta trama complexa será desvendado, contribuindo para uma compreensão mais rica e matizada da temática central desta tese.

2 - "Um incremento extraordinário às ciências biológicas": radioisótopos e ciências da vida no Brasil

No tópico anterior a este capítulo, abordei apenas alguns aspectos da constituição e atuação da CNEN, dando exemplos de institutos relacionados ao órgão nuclear e, a partir da documentação oficial, busquei mapear esse ecossistema institucional. Este capítulo abordará como algumas áreas da ciência brasileira se relacionaram institucionalmente com os radioisótopos, mas também como esses objetos foram pensados e utilizados na constituição de grupos e programas de pesquisa do ponto de vista epistemológico. Para tanto, terei como foco pesquisas em medicina nuclear, agronomia, radiobiologia e fotobiologia. Essas áreas do conhecimento, por si só já bem diversas, representam os principais núcleos de pesquisa com radioisótopos nas ciências da vida no Brasil, além das pesquisas com radioisótopos em temas ambientais, que serão nosso foco nos últimos capítulos desta tese. Isso significa que, desde o início da década de 1950, essas especialidades estiveram preocupadas em dominar as técnicas isotópicas, angariar financiamento para seus programas e treinar pessoal. Esses elementos se refletem em vários aspectos existentes na história da medicina nuclear, da agronomia e da radiobiologia no Brasil. Alguns pontos importantes para narrar essa história de maneira a evidenciar como cada área se relacionou com esses objetos tecnológicos, envolvem compreender a circulação do conhecimento sobre o tema entre pesquisadores brasileiros e entre agências e instituições internacionais; os radioisótopos mais utilizados e a quais linhas de pesquisa se vinculavam; os instrumentos científicos específicos e técnicas de cada área; as agendas de pesquisas desdobradas a partir dos radioisótopos e o significado dos radioisótopos para cada área, envolvendo as opiniões de alguns cientistas.

Sendo esses os principais campos da pesquisa biológica nos quais os radioisótopos inicialmente figuraram no Brasil, um primeiro elemento fundamental para o desenvolvimento de um trabalho pioneiro por parte desses cientistas foi a criação de cursos de metodologia de radioisótopos. Evidentemente, esses cursos só existiram, como já mencionei em momentos anteriores desta tese, devido ao incentivo de agências multilaterais surgidas no pós-guerra, como a UNESCO e a AIEA, e de programas como o norte-americano Átomos para a Paz. Desse modo, esses cursos representam não só um primeiro contato de muitos estudantes, médicos e cientistas com os radioisótopos, ou a possibilidade de formar pessoal para integrar os recém-criados laboratórios de isótopos ou de medicina nuclear. Representam, também, o interesse dessas agências no tema dos usos pacíficos da energia nuclear e na forma como a América Latina estava desenvolvendo seus programas atômicos. Os cursos de metodologia de radioisótopos são, nesse sentido, um ótimo ponto de partida para pensar na forma como

diferentes áreas da pesquisa biomédica iniciaram seus trabalhos com esses objetos. A partir deles, bem como da trajetória e atuação de alguns cientistas expoentes de cada grupo, é possível iniciar uma análise sobre como os radioisótopos integraram, transformaram ou impactaram sistemas experimentais na pesquisa biológica brasileira.

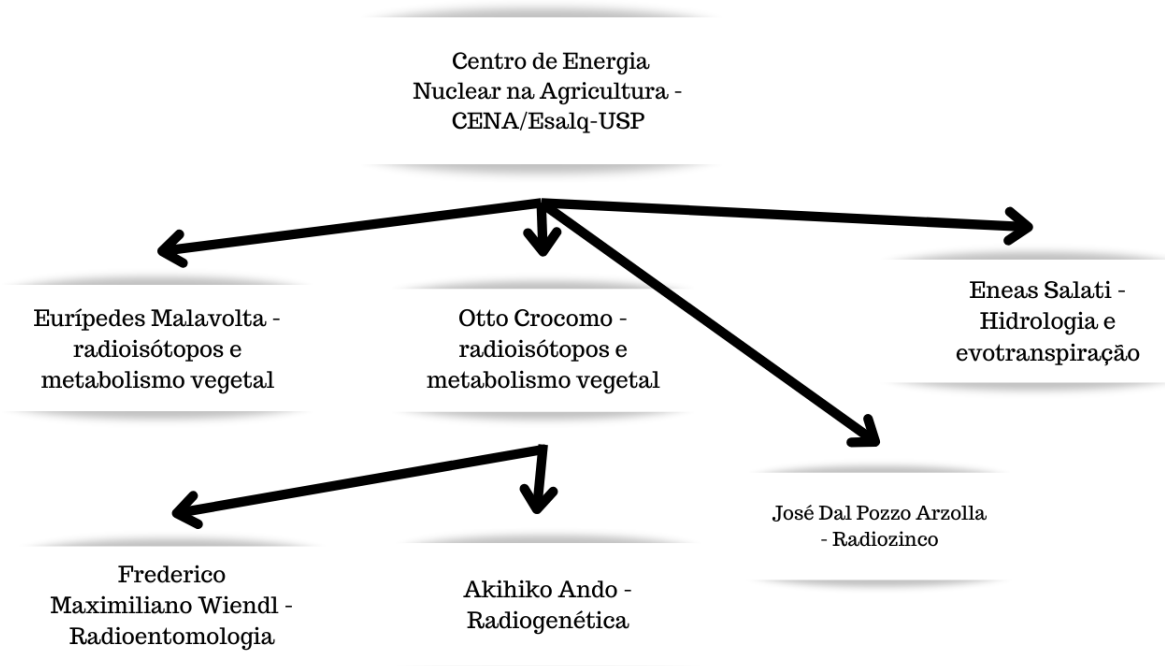
Neste capítulo será necessário operar um recorte institucional, assim como selecionar alguns personagens dessa história para análise mais aprofundada. Nesse sentido, privilegiarei o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP), para investigar as aplicações de radioisótopos na pesquisa agrícola e na agricultura; o Centro de Medicina Nuclear (CMN) da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), que contribuiu para a construção de uma nova especialidade médica no Brasil a partir dos radioisótopos, além de constituir uma agenda de pesquisas médicas, biológicas e bioquímicas em consequência das possibilidades dadas por esses objetos; o setor de radiobiologia do Instituto de Energia Atômica (IEA), ligado à CNEN e à USP, que além de ser a casa do primeiro reator nuclear ativo da América Latina, foi um dos espaços de circulação de radioisótopos e de pesquisas diversas com esses objetos, sendo privilegiados aqui os trabalhos ligados à medicina nuclear e bioquímica; por fim, os laboratórios de radiobiologia e fotobiologia do Instituto de Biofísica, no Rio de Janeiro, um dos primeiros lugares nos quais os radioisótopos figuraram como objetos tecnológicos em pesquisas científicas no Brasil, e onde surgiram pesquisas pioneiras em biologia molecular, com trabalhos utilizando elementos radioativos em seus procedimentos.

As instituições selecionadas para este capítulo, bem como os campos do conhecimento biológico e médico que representam, foram escolhidas a partir de um critério de relevância histórica. Foram grupos de cientistas, agendas de pesquisas e sistemas experimentais que se moldaram a partir da interação com os radioisótopos e suas conexões institucionais, políticas e epistemológicas. Esta análise, entretanto, não tem como objetivo esgotar o conhecimento sobre o uso de radioisótopos na pesquisa biológica do pós-Segunda Guerra Mundial no Brasil, seja em relação às instituições existentes, a trajetórias científicas ou aos temas e configurações experimentais desenvolvidas.

2.1 Radioisótopos na agricultura: o caso do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP)

2.1.1 Da criação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq) às primeiras pesquisas com radioisótopos na agricultura

Figura 17: Diagrama dos principais personagens ligados ao CENA-Esalq/USP de acordo com esta análise.



Em 1959, um livro publicado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) acerca das atividades empreendidas no Brasil envolvendo os usos pacíficos da radiação, menciona trabalhos feitos pelo Instituto de Agronomia de Campinas com irradiação de sementes de frutas cítricas com o objetivo de causar mutações artificiais (BRAZIL, 1959). Atividades como essas, embora já estivessem sendo desenvolvidas durante quase toda a década de 1950, foram pouco registradas nos relatórios das agências e institutos nucleares no Brasil, como os da própria CNEN. Embora a prática de irradiação na agricultura possua um histórico mais alargado, com trabalhos pioneiros como o de G. A. Runner (1916) sobre os efeitos dos raios de Röntgen no tabaco e no besouro (*Lasioderma serricorne*), ou do prêmio Nobel George de Hevesy, que já em 1923 publicava um estudo sobre o metabolismo de plantas utilizando radioisótopos, foi sobretudo na década de 1950 que essas técnicas receberam maior atenção. Diretamente relacionado ao *boom* de radioisótopos no imediato pós-guerra (CREAGER, 2013), é nesse contexto que técnicas nucleares foram introduzidas intensivamente na entomologia estadunidense, sendo importantes nomes desse processo E. F. Knipling, R. C. Busland e A. W. Lindquist. Em 1959, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) firmou convênios com o Japão e a República Federal Alemã, desenvolvendo os primeiros grandes projetos internacionais sobre energia nuclear na área agrícola. Trabalhos sobre metabolismo, fertilização e nutrição de plantas, e sobre a eficácia da adubação foram financiados pela AIEA, sendo que desde 1957 a Food and Agriculture Organization (FAO)

também iniciava pesquisas nesses campos (LEÃO, 1997, p. 44-45).

Em estudo sobre o uso de radiação na pesquisa agrícola alemã, Zachmann (2015) aponta para o grande aumento de pesquisas com radioisótopos na Alemanha a partir de 1955, em grande parte devido ao fornecimento de reatores e outras tecnologias pelos EUA à Alemanha Ocidental e pelos soviéticos à Alemanha Oriental (ZACHMANN, 2015, p. 315). Essa relação evidencia como determinadas práticas científicas e novas configurações epistemológicas estão sujeitas à disponibilidade de recursos e são influenciadas pelo direcionamento geopolítico e diplomático de cada país.

No Brasil, as primeiras tentativas de aplicação de técnicas nucleares na agricultura ocorreram na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), em Piracicaba-SP, no início dos anos 1950. Sendo a terceira escola de agronomia mais antiga do país, a ESALQ surgiu em 1901 e foi incorporada à Universidade de São Paulo (USP) em 1934, quando da sua criação. Ao longo das primeiras décadas do século XX, a ESALQ se tornou um importante espaço para o desenvolvimento de estudos agrônômicos no Brasil.

Até o ano de 1934, a ESALQ foi administrada pela Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, funcionando como uma fazenda-escola na qual existiam cursos de agricultura prática em nível secundário onde eram articulados ensino teórico da agronomia e práticas experimentais (MOLINA, 2022). Após passar a fazer parte da USP, o ensino secundário técnico perdeu espaço para o que se tornou um *campus* universitário. De acordo com Molina (2022), ao longo de sua história, a ESALQ teve um papel importante para a classe ruralista paulista, fomentando a propriedade privada e o que o autor chama de ‘modernização conservadora’, “quando as transformações tecnológicas não alteraram as desigualdades sociais” (MOLINA, 2022, p. 14). Apesar disso, as pesquisas e o ensino desenvolvidos na ESALQ não se limitaram à cidade de Piracicaba, ou mesmo ao estado de São Paulo. De acordo com Rangel (2006), a história da ESALQ em suas primeiras décadas, pode ser dividida em dois momentos: da sua criação, em 1901, até 1916, marcada pela tentativa de criar uma escola-modelo; de 1916 até 1934, período marcado pela busca por reconhecimento como uma instituição de pesquisa e ensino superior (RANGEL, 2006, p. 51).

Existe uma considerável historiografia especializada sobre as escolas de agricultura e a pesquisa agrícola no Brasil. Na década de 1990, trabalhos importantes como os livros de Sonia Regina de Mendonça (1997), ‘O Ruralismo Brasileiro (1888-1931)’, e de Maria Alice Rosa Ribeiro (1997), ‘História, Ciência e Tecnologia: 70 anos do Instituto Biológico de São Paulo na defesa da agricultura, 1927-1997’, apresentaram-se como contribuições relevantes à reflexão histórica sobre o mundo agrícola, conectando ciência, política, indústrias e

tecnologia. Posteriormente, institutos como o Instituto Agronômico de Campinas (RAMOS e PIACENTE, 2016), a Escola de Agronomia e Veterinária da UFG (NUNES et al, 2012) e a Escola de Agronomia da Amazônia (SOUSA, 2019) também foram objeto de investigações específicas. Além disso, diversos outros temas já receberam atenção, como a construção da agronomia como campo científico (ARAÚJO, 2010), divulgação científica e agropecuária (WELTMAN, 2008), agricultura e cooperação internacional (SILVA, 2009), pragas agrícolas (SILVA, 2006, 2022), agrotóxicos (CARVALHO, NODARI e NODARI, 2017; LIGNANI e BRANDÃO, 2022), entomologia (RANGEL, 2006) e pensamento agroambiental brasileiro (MOLINA e NORDER, 2014). Apesar da gama relativamente ampla de trabalhos de história das ciências na agricultura, e da relevância histórica da ESALQ nesse processo, não existem muitos trabalhos de história das ciências sobre essa instituição.

Um dos poucos trabalhos da literatura especializada sobre a ESALQ, sobretudo acerca da ‘segunda fase’ pela qual passou a instituição (1916-1934), é a tese de Habib (2010). Buscando entender as conexões entre agricultura e ciências biológicas a partir da história dos estudos em genética animal e vegetal na instituição, Habib analisou a produção científica da ESALQ entre 1917 e 1937, através da atuação dos agrônomos Carlos Teixeira Mendes (1888-1950), Octavio Domingues (1897-1972) e Salvador de Toledo Piza Jr. (1898-1988). O estudo de Habib questiona a ideia de que a institucionalização da genética na ESALQ está diretamente ligada à chegada do pesquisador alemão Friedrich Brieger para assumir a cadeira de Citologia e Genética, em 1937. A autora argumenta que antes disso, pesquisas em genética já haviam sido iniciadas na instituição através dos agrônomos mencionados. Essas pesquisas, ainda de acordo com Habib, foram desconsideradas no debate sobre a institucionalização da genética no Brasil, pois são anteriores à emergência da teoria sintética da evolução. Aqui interessa-me apenas mencionar que desde a década de 1910, como a tese de Habib explicita, desenvolveu-se na ESALQ pesquisas ‘fundamentais’ em biologia, sempre em associação com uma ciência aplicada, ou demandas do mundo agrícola.

A partir de uma visão panorâmica sobre as publicações dos *Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”*, periódico da ESALQ inaugurado em 1944 e que durou até 1991, é possível ter uma noção geral dos temas trabalhados até a emergência dos estudos com radioisótopos na instituição. Em seu primeiro ano, é possível ver pesquisas que vão desde estudos experimentais sobre a origem do milho e considerações sobre o mecanismo da evolução (BRIEGER, 1944a, 1944b), passando por trabalhos mais ligados à indústria, como os processos de fermentação na Sociedade de Usinas de Açúcar Brasileira de Piracicaba (VALSESHI, 1944), além de estudos ecológicos da família de angiospermas aquáticas

Podostemaceae do salto de Piracicaba (ACCORSI, 1944) e sobre novas espécies encontradas de *Phasmidas*, os populares bichos-pau (PIZA JR, 1944). Essa é uma pequena amostragem da diversidade de temas publicados nos anais da ESALQ e, portanto, que eram pesquisados na instituição. A prevalência de trabalhos sobre genética e criação de animais é evidente nos artigos da década de 1940.

Nos primeiros anos da década de 1950, a ESALQ era dirigida pelo professor José de Melo Moraes, que enxergava na genética e na energia nuclear o futuro da agricultura. Um dos pioneiros no uso da radiação na agricultura no Brasil, o engenheiro agrônomo Eurípedes Malavolta, formado em 1948 na ESALQ, viajou aos Estados Unidos em 1952, para estudar na Universidade de Berkeley, na Califórnia. Nessa viagem, foi instruído a aprender as novas técnicas nucleares, como foi comum na trajetória de alguns personagens da história dos radioisótopos no Brasil nesse mesmo período, como Tede e Verônica Rapp de Eston, Eduardo Penna Franca e Luiz Renato Caldas. Essas viagens visando o aprendizado das técnicas isotópicas, em sua maioria para os EUA, eram financiadas geralmente pela Fundação Rockefeller ou por programas como o Átomos para a Paz. Dos EUA, onde trabalhou com P. R. Stout, Malavolta trouxe um problema de pesquisa: como as orquídeas absorviam os fertilizantes? Provou, com um escalímetro (*scaler*) emprestado diretamente com Tede Eston¹¹², da Faculdade de Medicina da USP, que as orquídeas eram beneficiadas pela adubação foliar, e publicou seus resultados em 1953 na *Revista da Agricultura*, um dos primeiros trabalhos do gênero no país (LEÃO, 1997, p. 71). Esse ‘movimento’ de Malavolta marcou o início dos estudos com radiação na ESALQ.

Antes desse trabalho, Malavolta havia publicado alguns artigos sobre outros temas nos anais da ESALQ, como no caso dos ‘Aspectos Matemáticos e Estatísticos da Lei de Mitscherlich (GOMES e MALAVOLTA, 1949), ‘Pesquisas sobre a análise estatística de experiências de adubação com o auxílio da Lei de Mitscherlich (GOMES e MALAVOLTA, 1951) e ‘Estudos químico-agrícolas sobre o enxofre (MALAVOLTA, 1952), sua tese de Livre Docência para a cadeira de química agrícola. No artigo de 1953, resultado de uma palestra realizada no dia 19 de agosto daquele mesmo ano no Clube dos Orquidófilos de Piracicaba, e, portanto, com uma linguagem mais coloquial, Malavolta apresentou pela primeira vez um estudo utilizando um radioisótopo. O agrônomo atribuiu seu primeiro contato com isso quando começou “a fazer um trabalhinho com zinco radioativo em orquídea” (MALAVOLTA, 1953, p. 251). Para explicar a sua audiência como os radioisótopos atuavam

¹¹² Além do scaler, Tede Eston também forneceu o zinco radioativo utilizado no experimento de Malavolta.

na planta com a finalidade de elucidar aspectos de sua nutrição, Malavolta recorre a uma interessante imagem: “o elemento radioativo atua como “espião” dentro da planta” (MALAVOLTA, 1953, p. 256).

Explicando aos ouvintes sobre seus experimentos, Malavolta conta como utilizou radioautografias para verificar onde o zinco radioativo se acumulava nos tomateiros experimentais, além de comparar as vantagens e desvantagens do método radioautográfico, que daria apenas um resultado qualitativo. Para resultados quantitativos, seria necessária a utilização de um contador Geiger-Müller. A seguir, citarei um trecho de seu texto, com o objetivo de retratar o passo a passo de como um experimento utilizando radioisótopos era feito naquele contexto:

Vamos passar agora ao experimento a que me referi: preparamos uma solução diluída de zinco radioativo, na forma de cloreto; a seguir em 3 plantas fornecidas pelo colega Marcilio Dias foi feita a aplicação da maneira seguinte: marcamos em determinada folha uma área de 4cm²; nessa área pincelamos a solução radioativa. Três dias depois colhemos a folha e a outra imediatamente na sua frente; na primeira passamos um algodão embebido em ácido clorídrico diluído com o fim de retirar da superfície o zinco porventura retido mecanicamente; a seguir a folha foi dividida em 3 porções: base, área em que se fez a aplicação e ponta. Depois os tecidos foram incinerados, as cinzas retomadas em ácido clorídrico e alíquotas das soluções foram postas para evaporar; em seguida fez-se a contagem (MALAVOLTA, 1953, p. 257).

Assim como ocorreu também no Instituto de Biofísica, no Rio de Janeiro, a partir desses primeiros empreendimentos com radioisótopos, os pesquisadores da ESALQ não só conseguiram doações de equipamentos básicos da Fundação Rockefeller, como um contador Geiger-Müller, como também passaram a receber visitas de pesquisadores internacionais. Em 1956, por exemplo, a ESALQ recebeu o professor C. C. Delwiche, da Universidade da Califórnia, criador do primeiro espectrômetro de massas para nitrogênio-15. Com essas trocas, Eurípedes Malavolta continuou a desenvolver pesquisas com radioisótopos. Juntou-se a ele Otto Crocomo, da cadeira de química, que estava pesquisando, com o auxílio de radioisótopos, o metabolismo de aminoácidos do ciclo ornitina-ureia no cafeeiro (LEÃO, 1997).

As primeiras pesquisas com radioisótopos na ESALQ, ainda na década de 1950, ou seja, antes da criação do CENA, utilizaram zinco radioativo, ou radiozinco. Além do já mencionado trabalho de Malavolta com as orquídeas, no mesmo ano, em parceria com A. B. Carlton, do Department of Plant Nutrition da Universidade da Califórnia, em Berkeley, foi publicado nos anais da ESALQ uma nota de pesquisa, em português e inglês, sobre os estudos que Malavolta estava envolvido sobre a distribuição do radiozinco no tomateiro, buscando

determinar o período de exposição mais adequado para se obter as radioautografias nos momentos em que o radioisótopo emitisse radiações gama. O objetivo da publicação era ressaltar que o tempo e a técnica de amostragem deveriam ser olhados com mais cuidado em trabalhos sobre a distribuição de nutrientes em plantas a partir de radioautografia (MALAVOLTA e CARLTON, 1953). No ano seguinte, em parceria com Pellegrino, assistente de química analítica, Malavolta publicou mais alguns estudos sobre o mesmo tema (MALAVOLTA e PELLEGRINO, 1954). Esses experimentos, utilizando radiozinco no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) haviam sido iniciados em 1952, no já mencionado Department of Plant Nutrition da Universidade da Califórnia, com radioisótopos obtidos através de um ciclotron da instituição. Eles prosseguiram na ESALQ com material fornecido por Tede Eston do Laboratório de Isótopos da USP, que desenvolvia estudos e atividades em medicina nuclear. A pesquisa executada em Piracicaba tencionava verificar se o zinco poderia se translocar de órgãos mais velhos para mais novos quando o fornecimento de micronutrientes à planta fosse interrompido. A verificação da intensidade da translocação e distribuição do zinco também era um dos pontos importantes dos experimentos. Nessa publicação, a predileção pelo uso do radioisótopo radiozinco (Zn^{65}) foi explicada em detalhes por Malavolta e Pellegrino:

O zinco radioativo que tem uma meia vida de 250 dias (meia vida é o período no fim do qual a atividade do radioelemento se reduz à metade; a seguir, em um outro período igual, o material perde metade da atividade remanescente e assim por diante) é muito útil nos estudos de absorção e translocação desse micronutriente por causa da sua longa meia vida e da facilidade de detecção das suas bastante energéticas radiações gama (MALAVOLTA e PELLEGRINO, 1954, p. 79).

Nessa citação, é interessante também perceber o cuidado dos autores em explicar conceitos básicos envolvendo os radioisótopos, como é o caso do de meia-vida. Na introdução desse mesmo artigo, Malavolta e Pellegrino citam desde a descoberta da ‘radioatividade induzida’, em 1932, e explicam em detalhes o que são os isótopos radioativos, como funcionam e os métodos e instrumentos para detectar as radiações emitidas, como as radioautografias ou os contadores Geiger-Müller. O tom didático da exposição de um experimento complexo de laboratório pode indicar, como de fato ocorria, o grau de novidade que os radioisótopos então representavam. Apesar disso, teses de doutoramento, como a do engenheiro agrônomo e assistente de química orgânica e biológica José Dal Pozzo Arzolla já estavam sendo produzidas e defendidas. Em outubro de 1955, Arzolla apresentou na ESALQ a tese ‘Contribuição ao estudo da absorção e da translocação do radiozinco no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)’. As ‘doenças fisiológicas’ ocasionadas por carência de zinco nas plantas

constituíam a principal preocupação que incentivou trabalhos como os de Arzolla. O trabalho do agrônomo frisava que a disponibilidade do zinco radioativo possibilitou o estudo de problemas novos, mas também de problemas antigos, de forma ‘mais cômoda’. Assim como Malavolta, ele explicita conceitos básicos envolvendo os radioisótopos, sua produção e uso em pesquisas biológicas. O estudo do metabolismo do zinco no cafeeiro era justificado por Arzolla pela planta ser “do máximo interesse econômico para o Brasil” (ARZOLLA, 1955, p. 6).

Explorando mais essa rede de trabalhos com radiozinco na ESALQ, tem-se no ano seguinte à tese de Arzolla, em 1956, mais uma nota de pesquisa publicada. Assinaram ela o próprio Arzolla, além de Malavolta e H. P. Haag, ambos da Cadeira de Química Orgânica e Biológica da ESALQ-USP. A publicação desta vez resultava de um trabalho feito com o apoio da Fundação Rockefeller e aprovado no 5º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, ocorrido em Pelotas em julho de 1955. O trabalho verificava a absorção do zinco marcado com o radioisótopo Zn65 nas raízes, em comparação com a absorção foliar, além de investigar a translocação do radiozinco e sua absorção em decorrência da concentração de micronutrientes metais pesados, como ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e molibdênio (Mo), elementos aplicados na nutrição da planta (ARZOLLA, HAAG e MALAVOLTA, 1956, p. 114). O artigo em questão menciona a carência de zinco em cafezais de várias regiões do Estado de São Paulo. Em 1962, ano de criação do Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura (CNENA), que em 1966 viria a ser Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), os mesmos autores publicaram mais um estudo sobre o metabolismo do zinco no cafeeiro utilizando radiozinco. Patrocinado pela Fundação Rockefeller e pelo CNPq, o estudo buscava avaliar o modo mais eficaz de aproveitamento do zinco pela planta e os fatores que influenciavam os processos de absorção, translocação e acúmulo, representados por alguns micronutrientes em diferentes concentrações. Igualmente evocando o problema da “carência de zinco, que afeta os cafezais no Estado de São Paulo”, o estudo propunha que a “correção de deficiências de Zn no cafeeiro deve ser mais eficiente pulverizando-se a folhagem” (ARZOLLA, HAAG e MALAVOLTA, 1962, p. 48).

Na década de 1950, com o Plano de Metas de JK confeccionado em meio a um ideário desenvolvimentista, tem-se a expansão da agricultura mecanizada no Brasil, com um grande incentivo à produção de trigo e de fertilizantes (MENDONÇA, 2004, p. 71). A busca pela compreensão e domínio, do ciclo do fósforo, por exemplo, com a descrição do metabolismo de nutrientes entre planta e solo, reflete tanto uma demanda nacional e industrial, quanto um período de protagonismo dos radioisótopos nos sistemas experimentais da pesquisa agrícola,

nesse caso, em especial, o radiozinco. Esses aspectos se relacionam também com a intensificação das modificações de várias dinâmicas ecológicas da Grande Aceleração (STEFFEN et al, 2015), que indicam de forma nítida o impacto das ações humanas no Sistema Terra a partir de 1945. Sendo a Grande Aceleração um importante elemento na formalização do Antropoceno como época geológica, os fertilizantes, ao lado de outros fatores da chamada modernização da agricultura, incluindo os radioisótopos, certamente podem ser considerados agentes dessa aceleração (MCNEIL e ENGELKE, 2014).

Outros radioisótopos além do radiozinco foram utilizados nas primeiras pesquisas com esses elementos desenvolvidas na ESALQ, com questionamentos relativamente semelhantes. Em 1959, Malavolta, Neptune Menard e W. L. Lott, do IBEC Research Institute, de Nova York, publicaram estudo avaliando a melhor maneira de aplicar superfosfato no cafeeiro plantado em terra roxa misturada, utilizando o radiofósforo (^{32}P) como marcador. O radioisótopo para o estudo também foi fornecido pelo Laboratório de Isótopos da FMUSP, que nesse contexto já se tornara Centro de Medicina Nuclear (CMN). O radiocarbono também foi utilizado em pesquisas sobre fixação do dióxido de carbono e fosforilação na bactéria *Nitrobacter agilis*, novamente numa parceria entre Malavolta e os norte-americanos Delwiche e Burge, da Universidade da Califórnia, em Berkeley (MALAVOLTA, DELWICHE e BURGE, 1960). Esse trabalho foi realizado durante uma nova estadia de Malavolta nos Estados Unidos nesse mesmo período, com bolsa da Fundação Rockefeller.

Nesse contexto, o radiocarbono (^{14}C) foi utilizado na tese de livre docência da Cadeira de Química Orgânica e Biológica por Otto Jesu Crocomo, outro agrônomo que desenvolveu estudos com radioisótopos no CENA. Em março de 1959, Crocomo apresentou sua tese sobre o metabolismo da ureia- ^{14}C aplicada às folhas de cafeeiros normais e deficientes em nitrogênio. A utilização do radioisótopo carbono-14 no trabalho, sugerida por Malavolta, permitiu “a observação de importantes e interessantes fatos metabólicos e fisiológicos entre os quais uma sugestão à possibilidade da existência do ciclo da ornitina ou de KREBS e HENSELEIT, em folhas de café, e a distribuição do carbono pelas mesmas” (CROCOMO, 1959, p. 2).

Apesar da exploração de diferentes radioisótopos na ESALQ não ter sido uma linha de pesquisa sobressalente, se compararmos com a imensa variedade de outros temas estudados na instituição, é interessante observar como essas pesquisas possuíam uma dimensão internacional, angariavam financiamento de entidades como a Fundação Rockefeller, faziam circular radioisótopos e trocas com outros grupos brasileiros, como no caso do grupo do casal Eston no CMN-FMUSP, e tinham um tom propositivo em suas questões epistemológicas,

além de conectá-las a problemas de ordem econômica. Em outro estudo de Crocomo e Menard sobre a distribuição do enxofre radioativo (S^{35}) no cafeeiro, também financiado pela Fundação Rockefeller, além do Instituto Brasileiro do Café e CNPq, os autores mencionam que o conceito clássico da raiz como único órgão que absorve nutrientes em plantas estava há algum tempo sendo alterado. Crocomo e Menard (1961) apontavam a absorção foliar como processo também importante na incorporação de substâncias químicas para o bom crescimento das plantas. Essas novas noções sobre a absorção de nutrientes em plantas se davam a partir da utilização de radioisótopos em pesquisas sobre o metabolismo vegetal:

O uso de radioisótopos tem mostrado a vantagem da aplicação de nutrientes por via foliar em plantas de interesse econômico, como o caso do fósforo (MALAVOLTA et al., 1957) e da ureia- C^{14} , fonte de nitrogênio e carbono (CROCOMO, 1959; 1960) e tantos outros casos, auxiliando grandemente na elucidação do metabolismo dos vegetais (CROCOMO e MENARD, 1961, p. 170).

Além dos radioisótopos já citados, e dos problemas de pesquisa ligados ao tema do metabolismo das plantas, é possível também encontrar estudos como o de Catani, Perez e Bergamin Filho (1963) sobre a separação do estrôncio do cálcio utilizando uma coluna de resina de troca de cátions, na qual era passado uma solução contendo cálcio e estrôncio radioativo (Sr-89) (CATANI, PEREZ e BERGAMIN FILHO, 1963). Apesar de se tratar de um trabalho mais propriamente de radioquímica, é interessante mencioná-lo para demonstrar a existência de outros grupos e pesquisas que também utilizavam radioisótopos dentro da ESALQ e para entender como as atividades de pesquisa desses grupos estavam conectadas. Os pesquisadores citam o trabalho de Eduardo Penna Franca e Pinto Coelho de 1958 e 1959 sobre a determinação do estrôncio-90 no leite em pó, urina e ossos de recém-nascidos, mostrando como grupos de diferentes institutos trabalhando com radioisótopos intercambiavam conhecimentos sobre esses novos objetos. Eles também evocam uma discussão mais ampla sobre o decaimento do estrôncio, preocupante naquele contexto:

O interesse pelos métodos analíticos de determinação do estrôncio tem crescido muito nos últimos anos. Este fato foi motivado pelo aumento de concentração de estrôncio na atmosfera, no solo, nos vegetais, no leite, etc. provocado pela queda de detritos ativos (cinza atômica) ou “fall out”, como consequência do desenvolvimento das provas nucleares, que diversos países estão executando (CATANI, PEREZ e BERGAMIN FILHO, 1963, p. 26).

No início da década de 1960, pesquisadores da ESALQ que compartilhavam interesse nas aplicações de radiação na agricultura, passaram a se concentrar num único local. O grupo

pioneiro era formado por nomes como Ademar Cervellini, André Martin Louis Neptune, Eneas Salati, Frederico Maximiliano Wiendl, Henrique Bergamin Filho, Klaus Reichardt, Renato Amilcare Catani, Otto Jesu Crocomo, Eurípedes Malavolta, dentre outros. Alguns desses personagens, como Otto Crocomo e Eurípedes Malavolta, foram fundamentais para a construção e desenvolvimento do CENA, através da sua articulação internacional e intramuros, como se pode inferir das publicações acima analisadas. Ao longo da década de 1960, Crocomo e Malavolta participaram de eventos importantes para demarcar o lugar do CENA nos debates sobre radiação. Um desses eventos foi o *Simpósio sobre Usos Pacíficos das Radiações*, que trouxe ao Brasil os maiores especialistas da época no tema, como o radiobiologista Alexander Hollaender, do Oak Ridge National Laboratory. Organizado pela Academia Brasileira de Ciências (ABC) em 1967, no Rio de Janeiro, o evento posteriormente resultou na publicação de *A Energia Atômica e o Futuro do Homem*, livro no qual Malavolta e Crocomo publicaram o texto “Radioisótopos em Agricultura” representando sua atuação pioneira na área (MALAVOLTA e CROCOMO, 1968).

2.1.2 Radioisótopos e agendas de pesquisa no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP)

Inicialmente batizado de Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura (CNENA), o CNENA foi oficializado em agosto de 1962 num convênio entre a ESALQ, a CNEN e a USP. Após a assinatura do convênio, a principal atividade administrativa da instituição foi a realização do Curso Latino Americano Sobre Aplicação de Radioisótopos na Agricultura. Previsto para julho de 1963, o curso teria a duração de 10 semanas e contemplaria um total de 20 participantes. Além disso, alguns dos equipamentos necessários já haviam sido adquiridos, e alguns estavam aguardando a importação, que talvez não acontecesse “em tempo útil, visto a impossibilidade de adiamento na prestação de contas da verba destinada pela Comissão [CNEN] para o Curso em questão” (RELATÓRIO, 1962, p. 1). Desde o início a projeção internacional da instituição foi algo importante para o seu funcionamento. Ainda em 1962, projetos e orçamentos estavam em progresso com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), em Viena, com o objetivo de realizar um outro curso, dessa vez internacional, uma demanda da própria AIEA. Em relação às atividades didáticas, em 1962, Eurípedes Malavolta ministrou o Curso Internacional de Fisiologia Vegetal, patrocinado pela Organização dos Estados Americanos (OEA). Como veremos mais adiante em relação às agendas de pesquisa executadas na instituição, o leque de cooperação

com instituições nacionais e internacionais era bastante alargado. Para além de sua projeção internacional, e dos trâmites com a CNEN, o CNENA também marcou presença nas atividades regulares da ESALQ. Em 1962, o novo centro colaborou, por exemplo, com as cadeiras de física e química orgânica da ESALQ e com um curso optativo da cadeira de física sobre pesquisas biológicas com radioisótopos.

No ano seguinte, em 1963, os pesquisadores ligados ao CNENA reafirmaram a posição da instituição ao narrar os 10 anos desde que as primeiras pesquisas em energia nuclear haviam se iniciado na ESALQ. O relatório de 1963 ressalta a centralidade dos radioisótopos no desenvolvimento dessas pesquisas, que já teriam alcançado a marca de 20 trabalhos com energia nuclear. A criação do CNENA, com a assistência da CNEN, aumentou a quantidade desses trabalhos em pouco tempo. Para o recém-criado centro de pesquisas, era fundamental ressaltar os pontos positivos de suas atividades e os resultados de seus trabalhos. Era desse modo que seria possível justificar a demanda pela construção de “prédio próprio para o CNENA, onde pudessem ser concentradas suas atividades, que no momento se desenvolvem em vários laboratórios da ESALQ” (RELATÓRIO, 1963, p. 1). A necessidade de um prédio novo para o CNENA já havia sido solicitada ao reitor da USP, e a expectativa dos pesquisadores era de que no ano seguinte, em 1964, a construção pudesse ser iniciada.

Com 53 trabalhos realizados e mais 11 em andamento, o CNENA também marcou presença, a convite da CNEN, em congressos e reuniões científicas nacionais e internacionais. De 9 a 4 de setembro de 1963, participaram de uma reunião técnica sobre o Uso de Isótopos em Estudos de Problemas em Solo Orgânico, ocorrida no Centro Federal de Pesquisas de Agricultura, em Brunswick, na Alemanha. A existência, organização, finalidades e programas do CNENA foram apresentadas por Cervellini, Catani e Malavolta no mesmo ano, em evento sobre a utilização de reatores em pesquisa, ocorrido no IEA-SP. Nesse mesmo evento, Enés Salati falou de espectrometria de massa, técnica que ainda seria bastante utilizada por diferentes centros de pesquisa com radioisótopos no Brasil; Catani fez uma fala genérica sobre estudos com radioisótopos, e Ando e Vencovsky abordaram a radiosensibilidade de sementes, tema que seria largamente explorado na década de 1970 no CENA. No relatório de 1963, um evento que ainda não teria ocorrido também foi mencionado. Em março de 1964, no Chile, o 5º Simpósio Interamericano sobre Aplicação de Energia Nuclear para Fins Pacíficos teve a presença de Malavolta, que falou sobre a fixação do dióxido de carbono por bactérias nitrificantes.

Nesse segundo ano de atividades do CNENA, a instituição recebeu bolsistas da AIEA e da Universidade do Ceará, sendo um deles peruano. Os agrônomos estudaram metodologias

de traçadores radioativos em solos e plantas. Além disso, a presença do CNENA em atividades de ensino nesse ano pode ser dividida em duas partes. Primeiramente, a sua colaboração nas cadeiras de física e na de química orgânica e biológica da ESALQ, nas quais engenheiros agrônomos em formação poderiam optar por fazer um curso de Nutrição de Plantas, “no qual estão sendo empregados isótopos radioativos produzidos no IEA” (RELATÓRIO, 1963, p. 8). A atividade educacional de maior investimento, entretanto, era o Curso Latino-Americano de Energia Nuclear na Agricultura, patrocinado pela CNEN e promovido em nível de pós-graduação durante 8 semanas. Observando a listagem de alunos do curso de 1963, um total de 20 ‘técnicos’, é perceptível que a grande maioria era originária da própria ESALQ. Entretanto, marcaram presença o estagiário peruano Carlos Alvizuri, o agrônomo do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo Fernando Coelho, além de três pesquisadores do Instituto de Genética da USP, um do Instituto Biológico de São Paulo e um da Universidade de Assunção, do Paraguai. Assim como os alunos – com exceção dos internacionais –, os professores provinham todos de instituições do estado de São Paulo, sendo a maioria da ESALQ, mas também do IEA, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro (FFCLRC) e do Instituto de Genética da USP. O curso de metodologia de radioisótopos era bastante intenso, sendo dividido entre 74 horas de aulas teóricas e 78 horas de aulas práticas.

Em 1964, o relatório de atividades do CNENA aponta que o convênio estabelecido entre a CNEN e a USP “vem possibilitando a intensificação de trabalhos de pesquisas relativos à aplicação de radioisótopos na agricultura ao par de melhores condições para o desenvolvimento das mesmas devido a aparelhamentos de laboratório [...]” (RELATÓRIO, 1964, p. 1). O CNENA estava se constituindo enquanto um importante centro para formação de novos pesquisadores que atenderiam demandas de várias instituições pelo país, além de consolidar intercâmbios científicos “com pesquisadores nacionais e estrangeiros que, em parte, foi consolidado pela realização dos Cursos Latino Americano e Regional de Radioisótopos Aplicados na Agricultura, em 1963 e 1964, respectivamente” (RELATÓRIO, 1964, p. 1). Um boletim especializado para a divulgação das pesquisas do CNENA também foi editado, “cujos segundo, 3º e 4º números se encontram no prelo das oficinas impressoras do Serviço de Informação Agrícola do Ministério da Agricultura” (RELATÓRIO, 1964, p. 1). Entretanto, o curso de metodologia de radioisótopos era, ainda, a principal atividade do centro. Ao menos era isso que constava para o ano de 1964. O curso de 1964 foi divulgado no jornal, como também ocorria com os cursos de metodologia de radioisótopos do Instituto de Biofísica e do Centro de Medicina Nuclear.

A edição do *Correio Agrícola* do dia 10 de abril de 1964 do jornal *Correio da Manhã* (RJ), anunciou um “curso sobre radioisótopos”. O Curso Regional sobre a Aplicação de Radioisótopos na Agricultura, resultado de uma cooperação entre a AIEA e a CNEN, seria ministrado no recém-criado CNENA, e teria como objetivo “habilitar especialistas a utilizarem a energia nuclear em pesquisas fitotécnicas e pedológicas” (CURSO..., 1964, p. 8). O curso, que teria duração de 2 meses, contaria com a participação de professores estrangeiros e brasileiros, e estava limitado a um total de 20 alunos, sendo a maioria de escolha da AIEA, que indicaria estudantes de diferentes países convidados da América Latina, e apenas 6 vagas ficariam com o Brasil. Na mesma edição do jornal, o diretor do CNENA Ademar Cervellini, mencionava que o trabalho com radioisótopos na instituição já possuía pelo menos 10 anos, porém carecia de meios de divulgação.

Mantendo e, até mesmo, aumentando gradativamente suas trocas internacionais, em 1964 o CNENA recebeu bolsistas estagiários de diferentes países do globo. Como bolsista da AIEA, o agrônomo coreano Duck Seung Kim chegou em março na instituição, para estudar durante 12 meses a utilização de componentes do solo no metabolismo de plantas. Seus trabalhos, que também compreendiam o papel de fertilizantes, como nitrogênio, enxofre e fósforo, tinham cópias de relatórios endereçadas trimestralmente para a AIEA e para a CNEN. De El Salvador, a cientista F. M. Espinosa, chefe da Seção de Química Agrícola do Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC), estudou por 4 meses a aplicação de técnicas de radioisótopos na agricultura, com foco na fertilidade de solos e nutrição de plantas. Em âmbito regional, da FFCL de Rio Claro, o CNENA recebeu dois estagiários, a pedido do físico Nicolao Jannuzzi.

Como professor visitante, o CNENA recebeu o fisiologista vegetal Hans Oberlander, chefe do Laboratório de Radioisótopos da Agricultural Experiment Station de Viena, na Áustria, enviado diretamente pela AIEA. Oberlander também estudava nutrição de plantas e química de solos, e colaborou ativamente no Curso Regional sobre a Aplicação de Radioisótopos na Agricultura. Sua previsão de estadia era de 6 meses.

As atividades do CNENA em 1964 continuaram numa crescente, seguindo o padrão dos anos anteriores. Foi ministrado, por exemplo, um curso regional sobre o emprego de radioisótopos em pesquisas de solos e plantas, de 22 de setembro a 13 de novembro, sob o patrocínio da AIEA e a CNEN. Além disso, uma conferência foi apresentada pelo especialista em produção de radioisótopos Gerard Newman, do IEA, sobre radioisótopos na agricultura, e de 9 a 22 de dezembro Oberlander fez uma série de seminários, como, por exemplo, a marcação de plantas e microrganismos com radiocarbono em estudos do solo, dentre outros

temas. No evento do Chile, já sinalizado em 1963, Malavolta esteve presente como um dos delegados do Brasil, e foi presidente da sessão sobre Ecologia e Biologia Marinha. Além disso, participou de uma entrevista à imprensa chilena falando sobre o CNENA. Nas considerações que fez voltando ao Brasil, chama atenção suas impressões sobre o lugar do Brasil nas pesquisas com radioisótopos:

Embora o Brasil seja o país da América Latina mais destacado no campo da Energia Nuclear, a sua representação ao V Simpósio foi, talvez, a menor de todas no que tange ao número de participantes; a meu ver caberia à Comissão Nacional de Energia Nuclear a tarefa de estimular e financiar uma participação maior já que a organização do Simpósio não pode custear as despesas de todos os possíveis participantes (RELATÓRIO, 1964, p. 4).

O curioso é que, apesar da crítica direta de Malavolta à atuação da CNEN, em faltar com o incentivo e o financiamento à participação de mais brasileiros em congressos internacionais, no relatório de 1964, o diretor da CNENA, Cervellini, parece querer atenuar a crítica de Malavolta, enfatizando o apoio à sua participação no evento: “Registramos e agradecemos a ajuda de custas prestadas pela CNEN ao referido participante do V Simpósio” (RELATÓRIO, 1964, p. 5). Malavolta também marcou presença, ainda que não fique claro se presencialmente ou apenas através da publicação de seus trabalhos, na 3ª Conferência Internacional Sobre a Utilização Pacífica de Energia Atômica, ocorrida em Genebra. Além do trabalho de Malavolta, Crocomo e Andrade, intitulado ‘The effect of liming in the availability of phosphate in “cerrado” soils of Brasil’, Malavolta e Cervellini publicaram outro texto sobre o lugar da energia nuclear na pesquisa agrícola brasileira. Novamente, é interessante perceber o esforço dos cientistas do CNENA em publicizar, seja a nível nacional ou internacional, as suas atividades. Esse aspecto pode estar relacionado com a manutenção do grande investimento financeiro no centro. Em 1964, por exemplo, seis projetos de pesquisa diferentes foram submetidos à AIEA, para serem financiados pelo Plano de Assistência Técnica para 1965. Entretanto, apenas dois projetos foram aprovados, sendo um sobre cinética e absorção de fósforo em solos brasileiros, e o outro sobre a radiogenética da *Arabidopsis thaliana*, que apesar de não ser uma planta de interesse econômico, era um modelo experimental para a genética tal qual as drosófilas.

Para além dos novos projetos submetidos e aprovados, já existiam alguns em andamento. Dentro do mesmo Plano Ampliado de Assistência Técnica da AIEA, o projeto "Uso de isótopos radioativos nas pesquisas de água do solo", em andamento, solicitava a doação de aparelhos que juntos totalizavam US\$ 10.375,00, e seria feito em colaboração com

o Instituto de Estudos de Solos Tropicais (IEST)¹¹³, juntamente com 13 técnicos. Também envolvendo o tema dos solos, o projeto "Waste Retention Properties of Lateritic Soils" (Propriedades de retenção de resíduos de solos lateríticos) havia sido submetido à AIEA para ser desenvolvido em colaboração com V. N. Kosyakov, da Division of Health, Safety and Waste Disposal, da AIEA. Relacionado a esse último projeto, solicitado pelo radiobiologista do Instituto de Biofísica-RJ Luiz Renato Caldas, o CNENA apresentou à CNEN projeto de pesquisa para estudar a disponibilidade de fósforo e nitrogênio e sua adubação em várias culturas de interesse econômico, além de irradiação de sementes visando obter novas variedades, e a irradiação para erradicação de pragas (RELATÓRIO, 1964, p. 6). Outro projeto apresentado à CNEN propunha o emprego de radioisótopos na cultura de milho. Esse projeto se relacionava a demandas da Organização das Nações Unidas (ONU), que pretendia realiza-lo no Brasil "no próximo ano, por intermédio da Junta de Assistência Técnica, sediada no Rio de Janeiro" (RELATÓRIO, 1964, p. 6).

Embora o CNENA fervilhasse de projetos, pesquisas em andamento, novidades, intercâmbios e eventos em geral, 1964 foi marcado por uma série de problemas. No relatório desse ano, o diretor do CNENA, Ademar Cervellini, fez uma justificativa juntamente com um apelo à CNEN, comentando sobre as condições do centro e os planos que não foram colocados em prática, como a construção do prédio novo:

Em fins de 1963 tivemos oportunidade de apresentar à apreciação da Comissão, um número relativamente grande de projetos que deveriam ser desenvolvidos durante 1964. Tivemos também, logo depois, a grata satisfação de ver aqueles projetos e a verba que a eles se destinava, aprovados integralmente. Todavia, por força de mudanças de administrações e cortes de verbas determinados por ordens superiores, não tivemos a oportunidade de desenvolver os projetos inicialmente apresentados. A este Centro destinou-se porém a verba para a realização do Curso Regional, já previamente acertado entre a Comissão e a Agência Internacional, o qual constituiu-se como a principal atividade deste Centro durante 1964. Paralelamente porém, tornou-se possível a realização de alguns projetos de pesquisas ou pelo menos iniciar outros, conforme indicamos no relatório (RELATÓRIO, 1964, p. 12).

Apesar do otimismo de Cervellini, em 1964 o CNENA foi diretamente impactado pelo golpe civil-militar recém ocorrido no Brasil. De acordo com Molina (2022), após o golpe de 1964 as atividades ligadas ao tema da energia nuclear foram suspensas devido a uma nova política instaurada pela ditadura militar. Segundo Leão (1997), em 1964, por exemplo, as

¹¹³ O relatório do CNENA não dá maiores detalhes a respeito do IEST, deixando difícil identificar qual é exatamente esse instituto.

obras para a construção do novo prédio que abrigaria o CNENA foram interrompidas pouco depois de terem sido iniciadas, devido aos poucos recursos e ao encerramento forçado das atividades pelas “ordens superiores” de que menciona Cervellini no relatório citado acima. O prédio só foi concluído em 1968. Ao lado do edifício, foi erguida uma câmara de irradiação doada em 1966 pela AIEA, que abrigaria uma fonte de cobalto 60.

Com o golpe militar, o CNENA foi, em resumo, extinto. O que havia sido construído até aquele ponto pelos pesquisadores do centro, entretanto, ficou longe de ser esquecido. Na verdade, os pesquisadores buscaram se adequar às novas exigências dos militares (MOLINA, 2022, p. 113). Após alguns anos de “adequação”, em 1966, a instituição se reergueu com o nome de Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), porém devido a uma iniciativa do governo do Estado de São Paulo. Em decorrência dessas mudanças forçadas no CENA, não existem relatórios dos anos de 1965 e 1966. Em 1967, entretanto, um novo relatório foi produzido. O curioso é que, sendo o primeiro relatório de atividades da instituição feito após a mudança de nome para CENA, sua estrutura ainda é igual aos relatórios dos anos anteriores, constando inclusive em sua capa a insígnia CNENA e o nome Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura. No seu interior, entretanto, é detalhada a criação do CENA, como instituto anexo da USP, criado pelo decreto nº 46.794, de 22 de setembro de 1966. Na introdução do relatório, que apresenta o número do decreto e o novo nome do centro, não é feita nenhuma menção à situação enfrentada pelo CNENA-CENA nos últimos anos, em decorrência do golpe militar. Apesar da finalização do novo prédio e instalações de laboratórios, a situação orçamentária era bastante complicada:.

Dado o programa de contenção de despesas, determinado pelo Sr. Governador do Estado de São Paulo, com reduções bastante expressivas, ao CENA, não foi, até o momento, atribuída uma dotação orçamentária; em virtude desta restrição e principalmente da conseqüente impossibilidade de contrato de pessoal, as atividades do Centro tem-se restringido à coordenação dos trabalhos de aplicação da energia nuclear nos diferentes ramos da agronomia e que vem sendo realizados na ESALQ por seus docentes (CENA, 1967, p. 1).

Os cursos de metodologia de radioisótopos continuavam como uma das principais atividades da instituição. Em 1967, o curso foi ministrado por Otto Crocomo, da cadeira de bioquímica da ESALQ, com duração de 10 dias e contando com 8 participantes graduados em engenharia agrônoma. Percebe-se a grande diferença estrutural entre os cursos de radioisótopos de 1963 e 1964, antes das transformações ocorridas no centro, para o de 1967, bastante enxuto e considerado um “curso livre”. Apesar de várias restrições e problemas, em 1967 o CENA ainda conseguiu sediar, com a colaboração da CNEN e o patrocínio da Divisão

Conjunta da FAO/AIEA da Energia Atômica na Agricultura, a III Reunião do Programa Coordenado de Adubação do Milho com emprego do ^{15}N e ^{32}P , que contou com a presença de representantes da AIEA, Argentina, Peru, Romênia, Colômbia e México. O relatório de 1967 antecipa a programação de alguns convênios, como o com Israel, para pesquisas sobre física de solo e economia de água em solos do cerrado, e o com a Universidade de Tokio, visando um curso de radiogenética. Todos esses convênios eram firmados sempre em parceria com a AIEA e a CNEN. Esperava-se também o início das atividades de irradiação utilizando a bomba de cobalto 60 que já havia sido instalada em 1966.

Depois de alguns anos relativamente conturbados, em 1968 o CENA integrou-se ao Plano Nacional de Energia Nuclear (convênio USP e CNEN), junto de outras instituições, passando a funcionar de modo mais efetivo (ANDRADE, 2006). Além do novo convênio firmado entre a CNEN e a USP, a busca por um orçamento próprio para que o CENA pudesse funcionar na prática como um centro de pesquisa científica foi facilitada devido ao início da gestão de Hervásio Guimarães de Carvalho, presidente da CNEN de 1969 a 1982 e apoiador assíduo da instituição (LEÃO, 1997, p. 80). Apesar disso, em seu primeiro ano de funcionamento como CENA, o centro enfrentava várias dificuldades, como, por exemplo, o espaço ainda restrito para acomodar a grande demanda por estágios de bolsistas de outras instituições.

O relatório de 1968, mais completo e detalhado que os anteriores do CNENA, apresenta uma divisão mais complexa do CENA através de setores. O centro se dividia entre os setores de nutrição vegetal, solos e fertilizantes, genética e radiogenética, preservação de alimentos, espectrometria de massa e dosimetria (CENA, 1968a, p. 5). O CENA também continuava presente no ensino regular da ESALQ, com a disciplina de Metodologia de Isótopos na pós-graduação, e noções de estrutura atômica e aplicações de energia nuclear na agricultura na graduação. Outros cursos não ligados ao ensino regular da ESALQ também continuavam sendo promovidos, como o Curso de Radiogenética, em colaboração com o Instituto de Genética da USP e patrocinado pela CNEN e AIEA, ministrado por H. Yamaguchi, da Universidade de Tóquio; Curso de Irradiação de Alimentos, patrocinado pela CNEN e pela Comissão de Energia Atômica de Israel; Curso de Biologia Molecular, patrocinado também pela CNEN e AIEA; Curso O Fluxo da Água Através do Sistema Solo-Planta-Atmosfera, com patrocínios da CNEN e da comissão israelense. O CENA também participou de eventos em países como Chile, França e Uruguai e estabeleceu mais outros convênios e intercâmbios científicos.

No relatório de 1968, buscou-se evidenciar como o CENA, apesar da recente criação,

atendia “à prioridade atribuída pela CNEN no setor de radioisótopos, objetivando sua ampla difusão [...] o Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA *ultrapassou* o programa proposto [...]” (CENA, 1968b, p. 43, grifo do autor). Os pesquisadores do CENA ressaltavam o dinamismo da instituição, que além de ter ultrapassado as expectativas da CNEN, somava um total de 37 planos de pesquisa naquele ano, e mais 5 cursos. “Todas as atividades adicionais referidas, foram realizadas dentro do orçamento proposto, sem acréscimos” (CENA, 1968b, p. 44). O orçamento em questão referia-se ao valor de NCr\$ 170.000,00, além de mais NCr\$ 80.000,00 para a aquisição de um espectrômetro de massa que deveria atender ao projeto de hidrologia desenvolvido na instituição.

Construído com recursos próprios da ESALQ, em abril de 1968 o prédio do CENA foi concluído, com 900 m². A partir desse fato, o CENA passou a crescer rapidamente, sempre com apoio da CNEN, pelo seu orçamento anual, e da USP, através dos docentes da ESALQ. Além das instituições do convênio, foram fundamentais para o desenvolvimento do CENA a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e a AIEA. Um importante acordo de cooperação científica internacional foi assinado em 1972 entre a CNEN e a *United Nations Development Programme* (UNDP), administrado pela AIEA. O convênio, chamado nos relatórios de Projeto BRA/71/556, tinha como objetivo fomentar o desenvolvimento de pesquisas que utilizassem tecnologias nucleares na agricultura, e previa um orçamento, durante 5 anos, de 1,3 milhões de dólares. Um escritório da AIEA foi instalado no campus do CENA, o que demonstra a centralidade que aquele centro de pesquisas passou a ter nesse contexto, tanto para os planos da CNEN, quanto para as agências de caráter internacional (LEÃO, 1997). No início da década de 1970, personagens da ditadura militar, como os presidentes Emílio Médici e Ernesto Geisel também fizeram visitas ao CENA, ainda durante a mesma ditadura que interrompeu os trabalhos da instituição em 1964.

Para Molina (2022), a partir de 1971 o CENA passou a ter um aumento nos intercâmbios com “instituições estrangeiras ocidentais do eixo capitalista sob orientação estadunidense” (MOLINA, 2022, p. 114). Entretanto, o que é possível perceber pela documentação, é que desde a década de 1950 existiu uma relação estreita entre os pesquisadores fundadores e o próprio CENA com instituições norte-americanas, como a Fundação Rockefeller, por exemplo. Diferentemente do que foi argumentado por Molina (2022), a ligação do CENA e da própria ESALQ com os Estados Unidos não decorre do golpe civil-militar, mas é algo presente ao longo de várias décadas, atravessando diferentes contextos políticos. Isso se relaciona com outro ponto também levantado pelo mesmo autor.

Molina argumenta que o CENA foi um projeto da ditadura, “criado por tecnocratas e militares no poder, colaborou para aumentar a eficiência da agricultura comercial, especialmente dentro do esquema capitalista de modernização conservadora” (MOLINA, 2022, p. 117). De fato, é inegável que existe uma relação intrínseca entre a produção científica do CENA, os interesses econômicos ligados à agricultura paulista, e mesmo o interesse dos militares, como também mostrarei a seguir. Entretanto, afirmar que a criação do CENA decorre exclusivamente dos anseios de tecnocratas e militares no poder é uma argumentação simplista. O argumento de Molina (2022) é equivocado ao tratar do CENA apenas como um reduto de técnicos à serviço da ditadura. O autor faz uma correlação apressada, por exemplo, entre o fim da ditadura, na década de 1980, e o surgimento de pesquisas sobre meio ambiente e “processos de destruição de biomas” (MOLINA, 2022, p. 117). O CENA, na verdade, resultou das movimentações diplomáticas e geopolíticas do contexto do pós-guerra que afetaram grande parte da pesquisa científica no mundo. Se olharmos em retrospecto, ao menos desde 1953 nota-se uma complexidade nas agendas de pesquisa dos cientistas do CENA, que transcende, ainda que esteja ligada a contextos políticos específicos, o interesse de grupos hegemônicos. O pesquisador do CENA Éneas Salati, por exemplo, desde o final da década de 1960 trabalhava com temas que iam bem além dos interesses do mundo agrícola, fazendo estudos pioneiros em hidrologia e estudando a precipitação chuvosa da floresta amazônica.

Aprofundando ainda mais este debate, cabe também uma reflexão a partir do trabalho de Sonia Regina de Mendonça sobre a relação entre agrônomos e política no Brasil (1930-1961) (MENDONÇA, 2010). Esquadrinhando as características formativas do aluno ‘esalquiano’, Mendonça afirma que o *habitus*, no sentido bourdieiano, do agrônomo formado na ESALQ, “seria marcado por profundo tecnicismo”, entretanto, de forma adequada “à condição de herdeiros de um capital econômico e social muito próximo das posições dominantes no campo político” (MENDONÇA, 2010, p. 128). Em seu estudo, a autora faz uma análise dos quadros de alunos e professores da ESALQ, indicando a predominância de filhos de fazendeiros que demandavam qualificação para gerir os negócios da família, num padrão de endogenia reproduzido por diversas vezes. A partir de uma análise desses elementos de 1901 a 1961, Mendonça definiu a condição de classe desses profissionais como “agrônomos com terra”.

Comparando a condição dos agrônomos paulistas com aqueles formados na Escola Nacional de Agricultura (ENA), criada pelo Ministério da Agricultura no Rio de Janeiro, Mendonça percebe diferenças significativas nas características de cada profissional:

Considerando que a ESALQ se destinava à formação de “agrônomos com terra” evidencia-se que esses profissionais se tenham afirmado, antes de mais nada, como grandes proprietários/empresários do setor agroindustrial, num típico caso onde a dimensão de classe sobrepujou a dimensão escolar/profissional. Logo, pode-se concluir que, para os agrônomos paulistas, a intermediação de sua entidade profissional era politicamente menos estratégica do que no caso dos agrônomos diplomados pela ENA, na maioria oriundos de setores médios urbanos e dependentes do diploma para ascensão político-social (MENDONÇA, 2010, p. 139).

Embora a análise de Mendonça seja bastante pertinente para a compreensão da formação histórica da ESALQ, quando pensamos no lugar social do CENA, algumas contradições ou defasagens podem aparecer. Argumento, nesse sentido, que nem Molina (2022), tampouco Mendonça (2010), bastam para explicar de maneira satisfatória as dimensões sociopolíticas da atuação científica do CENA. Importante sublinhar que o artigo de Sonia Mendonça não se debruça sobre o CENA, pois teve como limite temporal o ano de 1961, ou seja, um período anterior à criação do instituto. Apesar disso, minha crítica não decorre do recorte temporal, dado que na década de 1950 já existiam pesquisadores trabalhando com radiação na ESALQ. Meu argumento diz respeito, na verdade, a uma lacuna existente na tese de Mendonça, e também não contemplada por Molina (2022). Ou seja, como explicar a criação de um ‘Centro de Energia Nuclear na Agricultura’, em Piracicaba-SP, numa instituição (ESALQ) marcada pelas características elencadas por Mendonça, se o tema da radiação teve pouca ou nenhuma penetração significativa na agricultura industrial paulista? Dito de outra forma, qual seria o interesse dos agrônomos que criaram e mantiveram o CENA, no desenvolvimento dessas agendas de pesquisa, se estes fossem meros representantes técnicos de fazendeiros, negociantes e grandes proprietários paulistas?

Nesse sentido, argumento que não podemos interpretar a condição histórica do CENA e de seus cientistas se levarmos em consideração apenas sua conexão com a elite agrária de São Paulo, ou a existência de demandas técnicas diretamente oriundas do regime militar brasileiro. Temos, num primeiro plano, a dimensão internacional do CENA, e, com isso, interesses relacionados da mesma forma ao internacionalismo científico preconizado pelos pesquisadores da instituição, em relação às agendas de agências multilaterais como a AIEA. Esse aspecto merece ser melhor explorado. Para Olival Freire Junior (2007), existe uma diversidade de formas de ação política dos cientistas, mesmo durante regimes autoritários. Isso não quer dizer que não houve repressão ou perdas, por exemplo, com o golpe militar de 1964, mas evidencia uma complexidade maior existente na relação entre ciência, democracia

e autoritarismo. É nesse sentido que esta análise contraria o que afirma Molina (2022) em relação ao CENA. Ou seja, embora de fato existam conexões entre o CENA e os interesses de grupos econômicos e políticos específicos, para entender a sua atuação é necessário compreendê-lo a partir de agenciamentos mais amplos, como a própria circulação de radioisótopos, técnicas e conhecimentos ligados a esses objetos, a diversidade de intercâmbios científicos nacionais e internacionais, e a construção de um conhecimento científico que, novamente, não se limitou a interesses imediatos de grupos específicos. De acordo com Rodrigo Patto Sá Motta (2014), se observarmos a relação entre universidades e ditadura à luz do conceito de cultura política, compreendendo os eventos desse período a partir da tradição política brasileira, é possível perceber as ambiguidades e mesmo os paradoxos da ditadura com relação aos cientistas, estudantes e universidades. De forma menos dual ou simplista, Motta aponta a existência de um ‘espectro’ de atitudes de acadêmicos, composto por características como resistência, acomodação, omissão ou adesão (MOTTA, 2014). Esse dado é interessante para pensar a relação entre Estado e sociedade na produção de conhecimento, mas também na relação entre ciência e ditadura e, por outro lado, ciência e democracia.

Entre as décadas de 1960 e 1970, o setor agrícola brasileiro concentrava-se em culturas de exportação, como o café e a cana-de-açúcar, além da produção voltada ao abastecimento doméstico. A expansão desse setor, de acordo com Gonzalez e Costa (1998), previa a expansão de culturas através da agregação de novas terras e do emprego agrícola, e não pelo aumento da produtividade. Com os militares, tem-se a modificação desse cenário, sobretudo pelo seu projeto ‘modernizador’, não só da agricultura mas da economia brasileira como um todo:

Esse objetivo de transformação seria conseguido a partir da modernização das técnicas agrícolas e de investimento em capital humano. [...] A adoção, então, de uma política voltada à modernização do setor rural mostrava-se preferível à reforma agrária (cuja discussão no início da década de 1960, permeou a cena política) como solução do problema da baixa produtividade (GONZALES e COSTA, 1998, p. 10).

Nesse sentido, a opção pelo investimento maciço na mecanização da agricultura industrial foi a forma pela qual os militares decidiram tratar a questão agrária no país, reformulando aspectos técnicos a partir da adoção de fertilizantes, corretivos, agrotóxicos, melhoramento de sementes e maquinário, ao invés de distribuir as terras de forma igualitária, descentralizando a produção nacional. Desse modo, é evidente que o termo ‘modernização conservadora’, cunhado e disseminado desde a década de 1970 (PIRES e RAMOS, 2009), e utilizado por Molina (2022) para compreender o projeto político da ESALQ, é bastante

pertinente. Apesar disso, o que proponho com esta análise é entender a existência de especificidades no caso do CENA, ou de iniciativas como o Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos, criado em 1969, que explorarei no próximo tópico. Ou seja, no tocante aos radioisótopos e radiação, esse processo envolvendo militares, agricultura, ciência e modernização se complexifica, seja pela natureza da história da energia nuclear no Brasil, ou pela própria configuração global da questão nuclear, tratada no primeiro capítulo desta tese.

Além disso, o produto principal do CENA também não pode ser pensado de forma unidimensional. Apesar dos objetivos do CENA estarem relacionados ao desenvolvimento e aplicação de técnicas nucleares de interesse para a pesquisa agrônoma e para a agricultura em geral, não podemos enxergar o uso dos radioisótopos como algo passivo entre aqueles cientistas. Na esteira do grande incentivo de aplicação pacífica dos átomos na pesquisa agrícola, os radioisótopos representaram uma nova fonte de financiamento de pesquisas, incorporação de técnicas e instrumentos científicos, sendo encarados como objetos tecnológicos que deveriam ser largamente explorados. Não se pode concluir, entretanto, a existência de uma incorporação passiva da radiação por parte dos pesquisadores. Pelo contrário, ainda que os radioisótopos fossem unanimemente considerados a descoberta mais importante após a invenção do microscópio, agrônomos como Malavolta e Crocomo (1968) faziam um alerta e frisavam suas limitações:

Não se deve, porém, estimar demasiadamente a importância da energia nuclear nesse campo de trabalho. A radiação ou os radioisótopos são instrumentos de pesquisa como outro qualquer – talvez um pouco mais perigosos. Não se pode pretender com eles resolver todos os problemas: muitas questões podem ser solucionadas sem eles. O experimentador tem que planejar os seus trabalhos de energia nuclear com cuidados iguais – ou maiores – do que o dedicado a outros ensaios. Do contrário, pouco proveito tirará deles (MALAVOLTA e CROCOMO, 1968, p. 76).

Mencionando o alto preço dos instrumentos e máquinas necessários para a produção de radioisótopos antes da Segunda Guerra Mundial, Malavolta e Crocomo (1968), no final da década de 1960, comemoravam a possibilidade de montar um laboratório com certa eficiência sem muito dinheiro no pós-guerra. Os cientistas citam a produção de alguns isótopos que estava sendo feita na IEA-USP e no IPR-MG. Como já vimos em outro tópico desta tese, a produção nacional de radioisótopos na década de 1960 ainda era deficitária. Entretanto, os brasileiros já estavam começando a elaborar manuais sobre o uso de radioisótopos, como é o caso do manual de biofísica de Penna Franca (1961) e manuais de técnicas isotópicas agrícolas (MALAVOLTA et al, 1967). Ou seja, para além de dificuldades de infraestrutura,

cientistas brasileiros da pesquisa agrícola, médica ou biológica, acompanhavam de perto os desdobramentos dos usos dos radioisótopos nas ciências.

Em geral, o emprego da radiação na agricultura desenvolveu-se a partir de alguns tópicos de pesquisa, tais como as mutações causadas em plantas, os estudos sobre o efeito estimulante no crescimento (metabolismo vegetal), a irradiação de insetos que atuavam como pragas na agricultura, a conservação de alimentos e as medições da densidade e da água nos solos. Todas essas agendas de pesquisa ganharam vida no CENA extrapolando a mera dimensão de ‘interesses tecnocratas’, mas se constituindo a partir de uma configuração complexa entre demandas epistemológicas, políticas, sociais e econômicas que articulavam a escala local e global. Para além dos trabalhos em geral envolvendo radiação, de acordo com Malavolta e Crocomo (1968), os radioisótopos mais utilizados como traçadores em pesquisas, eram os seguintes: ^3H , ^{14}C , ^{24}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{42}K , ^{45}Ca , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{82}Br , ^{86}Rb , ^{90}Sr , ^{131}I (MALAVOLTA e CROCOMO, 1968, p. 67). Alguns deles eram mais requisitados e largamente utilizados em diferentes áreas do conhecimento científico, como o carbono-14 (^{14}C), o fósforo-32 (^{32}P), o cobalto-60 (^{60}Co) e o iodo-131 (^{131}I). Na pesquisa agrícola, os radioisótopos adquiriram várias funções. Permitiram uma maior sensibilidade das análises de trajetória ao seguir elementos em processos metabólicos, o que seria impossível a partir de métodos químicos usuais; facilitaram o estudo do movimento de elementos ou compostos marcados, pelo fato de que produzem uma radioautografia, ou seja, uma “foto” de si mesmos; por se comportarem igual aos seus átomos “irmãos” não-radioativos, permitiram o estudo de reações dinâmicas em condições de equilíbrio (MALAVOLTA E CROCOMO, 1968, p. 67). Na prática, os radioisótopos foram utilizados, por exemplo, para medir a disseminação e a densidade de uma população de insetos e a sua longevidade, determinar as regiões de uma planta nas quais os elementos se concentram, absorção e translocação de nutrientes e até mesmo em estudos com animais.

Dito isso, irei analisar agora, de forma mais aprofundada, a partir da ideia de sistemas experimentais (RHEINBERGER, 1992a, 1992b), de que forma os radioisótopos estiveram presentes historicamente nas linhas e projetos de pesquisas desenvolvidos no CENA. Para isso, utilizarei tanto os relatórios de atividades, desde o início da década de 1960 até o início da década de 1980, os boletins técnicos, científicos e didáticos publicados pelo CENA na década de 1970, o periódico institucional *Energia Nuclear e Agricultura* e também os Anais da ESALQ. A grande quantidade de material coletada e cotejada tem como objetivo compreender, a partir dos vários materiais produzidos pelo CENA e por seus pesquisadores, o papel dos radioisótopos na construção de sistemas experimentais da pesquisa agrícola, mais

do que a finalidade de uma análise detalhada de todo o conteúdo divulgado.

As publicações internas do CENA da década de 1970 são dispostas em boletins divididos por setores. A partir de 1979 é criado o periódico *Energia Nuclear e Agricultura*, uma espécie de continuação dos boletins. Com relação aos boletins, estão disponíveis para consulta e download no site do CENA um total de 82 publicações, sendo 49 boletins científicos, 22 didáticos e 11 técnicos¹¹⁴. Desse total, ao menos 30 trabalhos focam diretamente estudos com radiação e radioisótopos. Entretanto, para além dessa temática, é possível constatar a grande diversidade de agendas de pesquisa. De acordo com levantamento de Regina Machado Leão (1997), os principais programas de pesquisa desenvolvidos no CENA a partir da década de 1970 podem ser divididos em três grandes projetos: os estudos sobre feijão, os estudos sobre as águas subterrâneas do nordeste do Brasil, e o ciclo hidrológico dos rios amazonenses (LEÃO, 1997).

Coordenada pelo agrônomo Eneas Salati (1933-2022), a pesquisa sobre o tema das águas foi largamente explorada dentro da instituição. Utilizando um espectrômetro de massas, aparelho que tornou possível a detecção e identificação de moléculas, e que permitiu a medição das proporções de oxigênio na água, o grupo chefiado por Salati estudou, por exemplo, a concentração de deutério nas águas de chuva de algumas regiões do Estado de São Paulo (MATSUI, SALATI e FERRAZ, 1971), assim como a quantidade de oxigênio-18 em águas subterrâneas do nordeste brasileiro (SALATI et al, 1971). Estudaram também a evaporação da água do solo (REICHARDT, 1972), a ‘evotranspiração real’ (FERRAZ, 1972), a economia da água no cerrado (CERVELLINI et al, 1972), dentre outros temas. Esses trabalhos foram desde conclusões básicas, como a de que o oxigênio-18 e o deutério poderiam ser utilizados em alguns casos como isótopos traçadores de águas subterrâneas, até conclusões que marcariam os estudos sobre o clima e a floresta amazônica. O grupo de Salati ganhou notoriedade, sobretudo, por indicar que as moléculas de água que passavam sobre a floresta, oriundas do oceano, eram evaporadas em forma de chuva. Os famosos “rios voadores” ficaram conhecidos dessa forma após esses cientistas do CENA medirem vários milímetros de chuva carregados pelas nuvens, que desciam da Amazônia para a região sudeste do Brasil.¹¹⁵

De 1962 a 1964, ainda como CNENA, foram conduzidos 85 trabalhos de pesquisa no total. Os radioisótopos estavam presentes de formas distintas já nos trabalhos de 1962. Tanto

¹¹⁴ Esse material encontra-se disponível no repositório digital do site do CENA. Ver mais em <http://www.cena.usp.br/publicacoes-cena>. Acesso em: 16 de novembro de 2023.

¹¹⁵ Esse é um achado na verdade bastante posterior. Os estudos de Salati foram notórios por mostrar o alto nível de "reciclagem" da água na floresta.

como traçadores, para entender, por exemplo, a translocação de cálcio no cafeeiro, a partir da utilização do radiocálcio “fazendo-se contagens dos diversos órgãos da planta e submetendo-as a radioautografia” (RELATÓRIO, 1962, p. 2), quanto como objetos para determinar a contaminação, por exemplo, do estrôncio-90 em produtos agrícolas. Nesse contexto, como veremos no capítulo seguinte, uma série de iniciativas para rastrear o grau de contaminação do estrôncio em alimentos estava sendo feita, em decorrência das discussões sobre as possíveis consequências da precipitação radioativa, ou fallout - o produto das explosões nucleares.

Além de trabalhos dessa natureza, pesquisas irradiando adubos e vegetais também estavam em andamento. Ambas as pesquisas contavam largamente com a colaboração do Instituto de Energia Atômica (IEA), também ligado à USP, seja para obter os próprios radioisótopos, para utilizar seu reator, o primeiro ativo da América Latina, ou mesmo para realizar análises utilizando equipamentos como o espectrômetro de massas. Em 1963, os trabalhos utilizando radioisótopos aumentaram de forma expressiva no CENA, em grande medida em decorrência dos cursos de metodologia. Manteve-se o cálcio e o estrôncio radioativo nas pesquisas, mas ganharam espaço trabalhos utilizando outros radioisótopos, como o fósforo radioativo, junto de pesquisas que podemos considerar mais ligadas à radiobiologia, como a de Akihiko Ando e Vencovsky, sobre a sensibilidade de sementes envelhecidas de fumo aos raios gama (RELATÓRIO, 1963, p. 2). Nos materiais relacionados aos cursos que estavam sendo ministrados, os radioisótopos aparecem como ferramenta útil no estudo do metabolismo mineral, animal e vegetal, e vinculam-se ao conhecimento sobre os processos de fotossíntese, como no caso da cana-de-açúcar. Esses elementos também estavam sendo empregados em estudos sobre a fertilidade do solo, na avaliação de teores de diferentes nutrientes disponíveis e do efeito residual dos fertilizantes (RELATÓRIO, 1963, p. 4).

A quantidade de pesquisas que estavam em andamento em 1963, era considerada grande devido à pequena equipe de pesquisadores do Centro. Além disso, a relação de pesquisas apresentadas no relatório de 1963 indica a colaboração do grupo do CNENA com outras instituições ligadas ao emprego dos radioisótopos, como a já mencionada IEA, mas também o Instituto de Biofísica, do Rio de Janeiro. Com o IEA, por exemplo, o trabalho citado envolvia uma abordagem mais radioquímica, sobre a variação natural da composição isotópica do oxigênio. Já com o Instituto de Biofísica, as pesquisas relacionavam-se ao projeto de investigação das regiões brasileiras de elevada radioatividade natural, que iniciava naquele contexto tendo participação central do Laboratório de Radioisótopos coordenado por Eduardo Penna Franca, como veremos no próximo capítulo. Essas pesquisas trataram da

absorção e translocação do rádio-228 e do tório-228 em hortaliças, bem como do acúmulo de radioatividade natural de areias monazíticas em hortaliças e forragens. Esses estudos feitos em colaboração com o Instituto de Biofísica certamente possuíram um papel importante naquele momento, dado que boa parte do programa de radioatividade ambiental envolvia a medição e detecção de radiação em alimentos cultivados na região estudada (Morro do Ferro-MG, Araxá-MG e Guarapari-ES).

Além disso, outras pesquisas com radioisótopos também se conectavam com temas estudados por pesquisadores do Instituto de Biofísica, como Eduardo Penna Franca. Como exemplo, a já mencionada determinação de estrôncio-90 em produtos agrícolas, e a identificação de radioatividade na castanha do Pará, que foi tema de estudos de Penna Franca desde os anos 1950, e que nos anos 1960 lançou hipóteses que, de acordo com o cientista, nunca puderam ser confirmadas devido à falta de interesse de algum fisiologista vegetal em aprofundar o assunto (PENNA FRANCA, 1992, p. 72). Outros estudos com radioisótopos também foram feitos nesse ano, visando verificar a eliminação do fósforo por sementes em germinação e raízes, a influência do fósforo nos processos metabólicos do radiozinc no cafeeiro, o potássio no ciclo da ureia, o magnésio na absorção do fosfato (^{32}P), e as transformações e ciclagem do mesmo ^{32}P no solo da região do cerrado (RELATÓRIO, 1963, p. 7).

Em 1964, vários trabalhos sobre mutações causadas por irradiação em plantas e sementes, coordenados pelo técnico do Instituto de Genética Akihiko Ando, foram destacados no relatório. Estudo utilizando o ^{65}Zn (radiozinc) como traçador em exame sobre a cinética e absorção de zinco por raízes de cafeeiro foi feito por pesquisadores do departamento de química da ESALQ com colaboração do CNENA, que nesse contexto já tinha um papel fundamental na cooperação com outros grupos de pesquisa exteriores e intramuros. Trabalhos feitos por Neptune Menard, e Campanelli com milho, parte do convênio firmado com a AIEA, utilizaram o ^{32}P e o ^{15}N (isótopo estável de nitrogênio) para entender a disponibilidade desses nutrientes e a melhor forma de aplicação de adubos. Campanelli, Pizza Jr, Neptune Menard e K. Igue também estudaram, em colaboração com o Instituto Agrônomo de Campinas-SP, o poder residual da adubação fosfatada em solos tropicais, a partir da utilização do chamado 'superfosfato radioativo', e a absorção do fósforo pelo pessegueiro utilizando o mesmo superfosfato (RELATÓRIO, 1964, p. 9). Além da absorção ou adubação, a eliminação do fósforo por sementes e raízes de plantas como as do arroz também era estudada, e os estudos do fallout em produtos agrícolas (café, arroz, trigo e leite) continuavam através dos trabalhos de Cervellini, Reichart e Salati.

Em 1967, a listagem de pesquisas do CENA contabiliza um total de 26 trabalhos, entre aqueles considerados concluídos ou em andamento. Em geral, tanto os radioisótopos quanto as plantas e sementes variavam um pouco, mas as pesquisas sempre tinham como eixo o estudo do metabolismo de diferentes nutrientes, a partir de um determinado radioisótopo escolhido, muitas vezes aquele disponível para envio pelo IEA, e que estivesse relacionado com algum elemento essencial da adubação das plantas. Fatores que poderiam contribuir ou dificultar a translocação de nutrientes, ou sua absorção, também eram estudados, como no caso da influência do vírus “vira-cabeça” no metabolismo do fósforo em plantas de tomate, trabalho conduzido por Crocomo, Caldas, Barioni Gusmán e Basso. A distribuição do fósforo utilizando o radioisótopo ^{32}P em componentes celulares das chamadas ‘plantinhas de rábano’, bem como o metabolismo da ornitina – ^{14}C e arginina ^{14}C também eram objetos de Crocomo e Barioni Gusmán. Outros trabalhos investigando a cinética da absorção de ^{32}P em raízes de limão galego sadio e infectados com o “vírus da tristeza dos citros” estavam sendo conduzidos.

Entre essa ampla quantidade de trabalhos que compunham uma agenda de pesquisas relativamente homogênea, além de trabalhos com uma vertente mais forte em química, estudos de água e solo, ou radiobiologia e genética, surgiam às vezes pesquisas com ferramentas menos comuns. Esse foi o caso do trabalho de Louis Neptune, O. G. Brasil e Otto Crocomo, que buscaram interrelacionar o fósforo e o céσιο no gergelim (*Sesamum indicum* L.), utilizando o radioisótopo céσιο-137 (RELATÓRIO, 1967, p. 4).

Em 1968, como já dito anteriormente, o CENA começou a se estruturar de forma mais efetiva, passando a ter uma divisão mais complexa de setores e, conseqüentemente, mais diversidade de pesquisas. Assim, irei, nesta análise, me atentar especificamente a aspectos que chamem atenção ou que fujam do padrão já tratado até aqui. As pesquisas em metabolismo de plantas utilizando radioisótopos continuaram normalmente, como os estudos de absorção, translocação e distribuição do fósforo (^{32}P), mas agora vinculadas ao Setor de Nutrição Vegetal. Crocomo e Louis Neptune iniciaram também trabalho sobre a interrelação potássio-céσιο em ‘plantas superiores’, mas dessa vez utilizando o céσιο-134. Os estudos com radioisótopos de meia-vida longa, como o estrôncio-90 e o céσιο-137, possuíam relação com uma preocupação da FAO, da ONU e de outros pesquisadores pelo globo, que identificaram que produtos da fissão nuclear estavam penetrando diretamente em culturas agrícolas, seja por via foliar, floral ou pela base. Com o objetivo de conhecer a fisiologia desses elementos oriundos da fissão nuclear em plantas superiores, outros estudos feitos por Crocomo, Brasil e Rossi tinham como tema a absorção, translocação e lavagem do estrôncio-89. (CENA, 1968a,

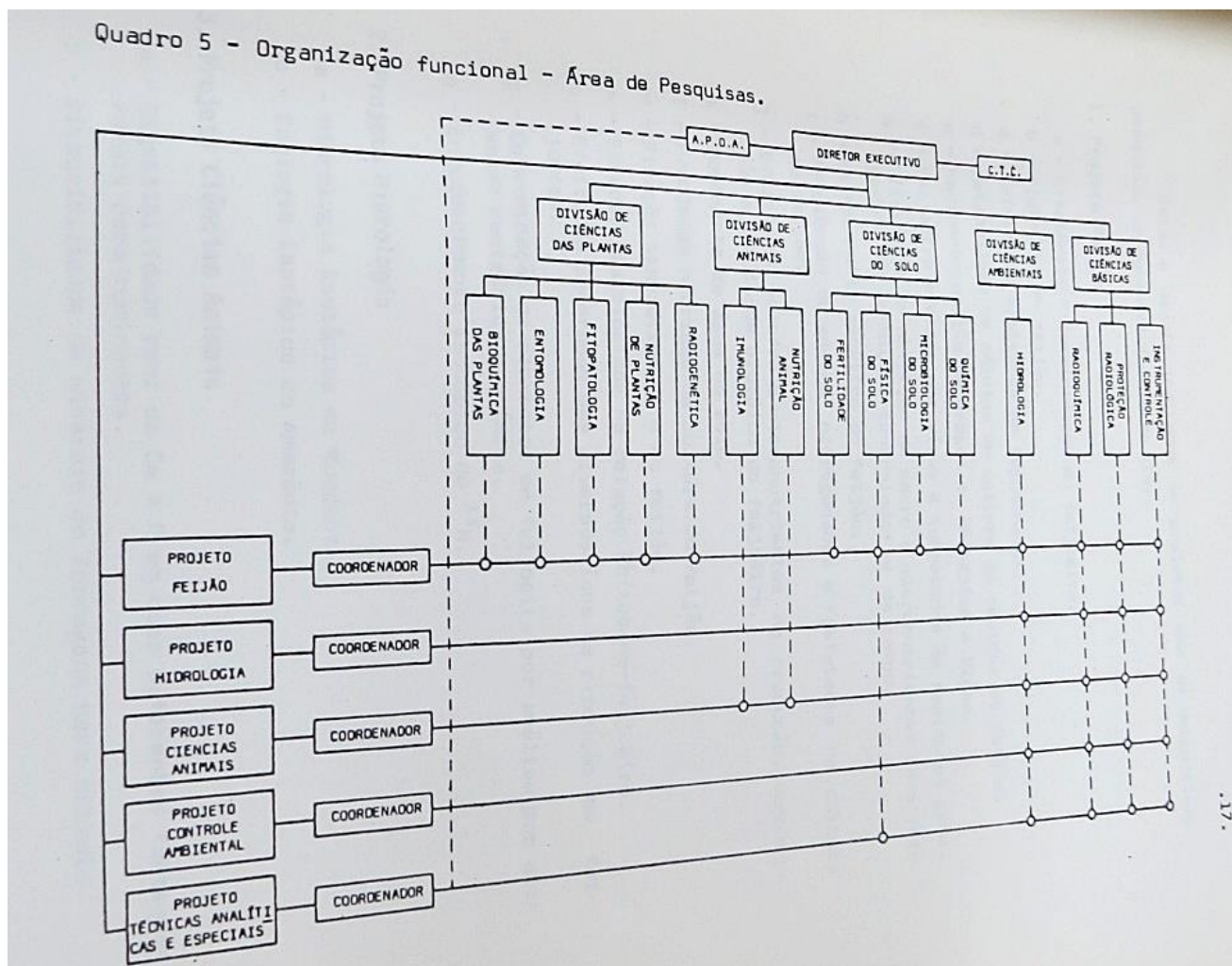
p. 10).

Enquanto no Setor de Genética Ando continuava seus estudos de radiobiologia e radiogenética irradiando uma série de objetos vivos, no novo Setor de Preservação e Alimentos iniciam-se os trabalhos de Frederico Wiendl, que estudava os efeitos da radiação gama em pragas agrícolas. Wiendl conduzia experimentos com irradiação total de insetos de interesse agrícola, e estava testando técnicas radioativas para a esterilização desses animais. O cientista foi o nome mais prolífico nesse tema dentro do CENA, como veremos depois. Ainda que não utilizassem os radioisótopos como traçadores para investigações metabólicas, como no Setor de Nutrição Vegetal, esses trabalhos bebiam das mesmas fontes de conhecimento, financiamento e instrumentos dos trabalhos com radioisótopos estritos. Assim, é importante especificar aqui que os trabalhos de irradiação, mais ligados a uma certa tradição radiobiológica, também se encaixam nesta análise, sobretudo por fazerem parte de um mesmo padrão de sistema experimental. Isso também estará evidente em outros grupos de pesquisa que ainda investigaremos.

Entre 1968 e 1975, o CENA passou a ser dividido em 16 seções, reunidas em 5 grandes Divisões, integrando alguns projetos específicos em conjunto, mas também envolvendo trabalhos não vinculados aos projetos. Os projetos em curso nesse período eram: Projeto Feijão, Projeto Hidrologia, Projeto Ciências Animais, Projeto Controle Ambiental e Projeto Técnicas Analíticas e Especiais. O Projeto Feijão, um dos principais programas de pesquisa do CENA a partir da década de 1970, surgiu não só devido à escassez de informações sobre eles, mas por “permitir o desenvolvimento de técnicas nucleares em praticamente todos os aspectos da pesquisa agrícola e pela importância social que representa, como alimento básico da dieta de grande parcela da população brasileira” (CENA, 1975, p. 14).

Além de ser pouco conhecido cientificamente, no âmbito da produção agrícola o descaso com o feijão era alto. Sendo o Brasil um dos maiores produtores dessa cultura no mundo, era também o que apresentava um dos menores rendimentos. “Para agravar a situação, sabia-se que mais de 30% da quantidade colhida era sistematicamente destruída por pragas e doenças, antes de chegar à mesa dos consumidores” (LEÃO, 1997, p. 93). Esses dados não só justificaram um grande projeto de 5 anos de pesquisa encabeçado pelo CENA, como também, em paralelo, fomentou a criação do Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos, que trazia a grave questão do desperdício da produção agrícola brasileira em relação à fome da população, e que defendia o uso da radiação como solução para esses graves problemas de dimensão nacional. Esse programa será abordado no próximo subtópico.

Figura 18: Organização do CENA por divisões, áreas de pesquisas e projetos.



In: CENA. **Centro de Energia Nuclear na Agricultura – 1968-1975**. Piracicaba-SP: CENA, 1975, p. 17.

O Projeto Feijão visava, sobretudo, contribuir para o aumento da produtividade e teor de proteína da cultura, melhorando o seu valor como alimento. Por sua vez, o Projeto Hidrologia, desenvolvido pelo grupo de Eneas Salati, dividia-se em duas áreas geográficas: o vale do rio Pajeú, em colaboração com a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), visando compreender o balanço de sais no vale, além da dinâmica de salinização das águas subterrâneas e de açudes, e seus níveis de salinidade. A outra área contemplada pelo grupo de Salati era a da bacia do rio Amazonas, no qual se estudava um modelo de circulação do vapor d'água atmosférico “a fim de se conhecer a porcentagem de precipitação determinada por reciclagem local da água” (CENA, 1975, p. 15). O Projeto Ciências Animais era focado em nutrição animal, o Projeto Controle Ambiental estudava poluentes em alimentos e nas águas e também tinha a bacia do Amazonas como foco, investigando os ciclos do nitrogênio e do carbono na floresta. Por fim, o Projeto Técnicas Analíticas e Especiais,

tinha como foco estudos de radioquímica e química analítica dentro do CENA.

Sendo o maior projeto do CENA, o Projeto Feijão aglutinava uma grande diversidade de pesquisas, desde a eficiência fotossintética do feijão, suas proteínas, o metabolismo de suas células, a radioentomologia de suas pragas, infecções por vírus e irradiações, absorção de macro e micronutrientes, melhoramento genético, problemas hídricos na sua cultura, fixação de nitrogênio, estudos fisiológicos, dentre outros (CENA, 1975, p. 18). A mesma variedade temática não ocorria nos outros projetos. Apesar de o CENA ter ganhado novos contornos na década de 1970, ampliando suas agendas de pesquisas, não se restringindo apenas ao uso de radioisótopos na agricultura, nesse período os radioisótopos e o tema geral da radiação estavam bem presentes na formação dos estudantes, através dos cursos e dos boletins didáticos, e também em algumas agendas específicas de pesquisas.

Os boletins didáticos eram documentos mais extensos, apostilas guias com temas-chave para a aplicação prática de jovens cientistas. Além de sistematizarem informações básicas importantes em português, ainda compilavam dados da literatura atual sobre os temas tratados, baseados inclusive nas próprias pesquisas em curso dos professores que assinavam os boletins. Carl G. Lamm, primeiro diretor do projeto da AIEA no Brasil a partir de 1972 e pesquisador do laboratório de química da Universidade da Dinamarca, responsável pelo Projeto Especial de Desenvolvimento da Produção Agrícola Através da Aplicação de Tecnologia Nuclear, desenvolvido no CENA com o apoio da AIEA, publicou em 1972 o manual intitulado “Proteção radiológica e segurança em trabalhos com radiações ionizantes” (1972), baseado em ampla bibliografia e em seus anos de experiência e destinado às atividades didáticas e de pesquisa do CENA, podendo ser lido, de acordo com o autor, sem dificuldade por aqueles com alguma noção de física nuclear e química (LAMM, 1972).

Professores mais experientes do CENA, como Otto Crocomo, também escreviam materiais didáticos. Em dezembro de 1973, Crocomo publicou com Luiz Carlos Basso o boletim “Radioisótopos em Bioquímica”, com um total de 71 páginas. Baseado em cursos ministrados anteriormente por esses pesquisadores, como o Curso de Introdução à Energia Nuclear na Agricultura e o Curso Intensivo teórico-prático de Fundamentos de Metodologia de Radioisótopos, o texto apresentava fundamentos teórico-metodológicos e regras para a condução de experimentos, indo, portanto, de uma explicação geral sobre o átomo como traçador até as aplicações das técnicas isotópicas voltadas para problemas específicos da agricultura (CROCOMO e BASSO, 1973). Outros boletins didáticos são mais específicos que os demais aqui citados, como o escrito por Antonio Barioni Gusman, Akihiko Ando e Epaminondas Sansigolo de Barros Ferraz, “Radiossensitividade em sementes”, de 1975. O

Boletim menciona o grande número de interessados oriundos de diferentes institutos e programas do Brasil que apareceram no CENA após a instalação de sua fonte de raios gama. Segundo o Boletim, entre os materiais mais irradiados estavam as sementes de culturas cultivadas no país. Nesse sentido, o campo de estudos de “radiosensitividade” das sementes iniciava-se com grande interesse, ainda com muitas lacunas em aberto (GUSMAN, ANDO e FERRAZ, 1975).

Em outro boletim do mesmo ano, Frederico Maximiliano Wiendl, importante nome dos estudos entomológicos da instituição, escreveu sobre “A desinfestação de grãos e produtos armazenados por meio de radiações ionizantes” (1975). Em seu texto, mencionou uma série de problemas ligados ao mundo agrícola, como danos causados por insetos em grãos e produtos armazenados, fazendo uma defesa do uso da radiação como melhor forma de lidar com essas dificuldades. Considerou a irradiação uma técnica promissora, eficiente, econômica, atóxica e livre de poluentes:

A irradiação nos provê de uma poderosa arma, sendo um novo método de preservar alimentos controlando efetivamente as pragas. A sua maior recomendação é o fato de ser absolutamente eficiente no controle, além de não permitir o acúmulo de resíduos tóxicos. Pode ser introduzida eficientemente na moderna tecnologia dos produtos alimentares, na sua estocagem e armazenamento, oferecendo tratamento e efeitos instantâneos. A aplicação de energia em forma de radiações ionizantes é atualmente reconhecida como sendo um dos melhores métodos de tratar alimentos e rações, sem ocasionar problemas de salubridade, com a grande vantagem de ser baixo custo (WIENDL, 1975a, p. 2).

Sua defesa da radiação num boletim didático reflete anos de experiência irradiando insetos e dialoga com questões que estavam sendo pensadas a nível nacional naquele contexto, além de expressar uma parte do que era feito no CENA. Os boletins científicos publicados pelo CENA refletem, a diversidade de trabalhos que utilizavam radioisótopos como traçadores de processos biológicos no Centro durante a década de 1970, como publicações sobre o metabolismo do composto arginina-guanido- ^{14}C em girassol (ROSSI e CROCOMO, 1973), sobre a melhoria dos métodos de contagem na determinação de cloro em folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) (FERRAZ, ZAGATTO e NASCIMENTO, 1975), sobre a marcação de ovos de *Ceratitis capitata* (Wiedmann) através de esperma radioativo (^{32}P) (WIENDL e PACHECO, 1975) e sobre técnicas para estudos ecológicos sobre a mosca cubana *Lixophaga diatraea Towns* com uso de traçador radioativo (SGRILLO et al, 1977).

Dos trabalhos que usavam radiação de forma mais direta, seja em radiogenética, radiobiologia e radioentomologia, publicados nos boletins científicos do CENA, a maioria

utilizava a técnica da irradiação, seja de insetos, alimentos ou sementes. Foram contabilizadas 19 publicações sobre o tema nos boletins científicos, entre 1972 e 1977, sendo um total de 10 espécies diferentes de insetos estudados, além de alimentos como arroz, feijão, ervilha, macarrão e milho. Muitos dos trabalhos de irradiação de insetos eram coordenados por Frederico Wiendl, e abordavam a longevidade, mortalidade, reprodução, dieta e esterilização, em geral de coleópteros, em sua maioria ligados a algum dos alimentos citados.

As publicações acima mencionadas dividem-se em trabalhos com foco no comportamento de sementes irradiadas ou nas alterações das propriedades nutritivas de alguns grãos, como o feijão; os efeitos da radiação em insetos alimentados com grãos irradiados, com foco na interação entre o inseto, seu desenvolvimento e a cultura a ser preservada; e, também, trabalhos sobre o efeito da radiação no ciclo de vida dos insetos, sem intermédio de uma dieta irradiada. Ou seja, trata-se de diferentes métodos e técnicas de irradiação, com objetivos específicos distintos, mas sempre visando compreender a radiação em relação a insetos considerados pragas agrícolas, e o melhoramento do cultivo de grãos de alta importância alimentícia.

Das 10 espécies de insetos estudados, apenas uma não pertencia à ordem dos coleópteros. A traça dos cereais (*Sitotroga cerealella*), lepidóptero que juntamente com o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais mots.*), constitui um dos grupos mais importantes de pragas de armazenagem do milho, foi irradiada (ovos e adultos) com o objetivo de compreender sua letalidade e fecundidade (WIENDL, BOVI e ARTHUR, 1975). Já os gorgulhos-do-milho, foram submetidos a uma dieta com arroz irradiado com diferentes doses de *KRad* (0, 20, 100, 500, 1500), concluindo-se que sua longevidade e reprodução aumentavam com uma dose de 20 *KRad*, enquanto nas outras dosagens esses aspectos diminuía (WIENDL et al, 1974). Em outro trabalho com o mesmo besouro, gorgulhos-do-milho foram criados com dieta à base de milho e macarrão irradiados, apenas mudando as doses de *KRad* e observando uma diminuição da sua longevidade e reprodução (exceto em milho irradiado com uma dose de 100 *KRad*) (WIENDL, 1975b). Em outro trabalho também conduzido por Frederico Wiendl e publicado em 1975, explorou-se a percepção de radiações gama por organismos vivos. O estudo concluiu que existia o que ele chamou de 'radiopercepção' pelo besouro agente do gorgulho-do-milho, evidenciada pelo seu afastamento da fonte radioativa (WIENDL e WALDER, 1975).

Outras espécies de insetos estudados foram o caruncho-do-feijão (*Callosobruchus maculatus*), caruncho-do-feijoeiro (*Zabrotes subfasciatus*), caruncho-do-café (*Araecerus fasciculatus*), broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), besouro castanho (*Tribolium*

castaneum), besouro-do-fumo (*Lasioderma serricorne*), gorgulho dos cereais (*Rhyzopertha dominica*) e o besouro *Laemophloeus ferrugineus*. Em seus estudos com os insetos, Wiendl também fez experimentos com feijão armazenado, investigando a influência do ambiente e da radiação gama sobre o desenvolvimento de uma população de *Zabrotes subfasciatus* no feijão. Nesse caso, entretanto, o foco do trabalho era no besouro, e não no feijão (WIENDL e LINK, 1974). Porém, como enfatiza Leão (1997), o “feijão atômico” ou “superfeijão”, como ficou amplamente conhecido na imprensa o trabalho que misturou radiação e feijão, foi um dos principais projetos do CENA nesse período. Sendo uma cultura ainda pouco conhecida nos meios científicos, o feijão passou a ser estudado em profundidade nesse contexto, envolvendo, como já dito acima, diversas seções da instituição, com o objetivo de conhecer, melhorar e enriquecer as leguminosas mais consumidas e selecionar aquelas mais resistentes a pragas. Trabalhos com diferentes objetivos foram publicados nos boletins científicos do CENA, tal como o artigo “Efeito da radiação gama (^{60}Co) nas propriedades organolépticas e nutritivas do feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Mulatinho)” (FONSECA et al, 1974) e “Influência do teor de umidade na radiosensibilidade em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)” (VENDRAMIM e ANDO, 1975).

Em 1976, o CENA comemorou seus 10 anos de existência, no mesmo ano em que se tornou oficialmente um centro especializado pelo Conselho Universitário da USP. O relatório de atividades de 1976 mencionava que o Centro havia ultrapassado todas as expectativas de sua criação, estabelecendo um sólido programa de pesquisas preocupado com os problemas da agricultura brasileira. As agendas de pesquisa elencadas pelo relatório como as que marcaram a atuação do CENA durante uma década foram os estudos sobre os recursos de água na Amazônia e na região nordeste; o melhoramento genético de culturas básicas como feijão, arroz, e trigo; métodos para redução das perdas de grãos armazenados; o aperfeiçoamento de práticas de aplicação de fertilizantes e a fixação biológica do nitrogênio, além das investigações sobre a qualidade da proteína e eficiência fotossintética e a deficiência de minerais em animais (CENA, 1976, p. i).

De acordo com os dados do relatório de 1976, nesses 10 anos, 307 alunos haviam passado pelo Curso de Introdução à Energia Nuclear na Agricultura, 156 no curso de pós-graduação e mais 545 alunos se formaram em cursos de especialização promovidos pela instituição. Na década de 1970, até aquele momento, pelo menos 20 pesquisadores estrangeiros passaram pelo CENA, bem como pesquisadores ligados ao CENA foram para o exterior. “Criou-se assim, nestes 10 anos, um centro de pesquisas que se iguala a seus congêneres de países desenvolvidos, não só pela qualidade de sua produção científica mas

também pelas suas instalações e facilidades” (CENA, 1976, p. i).

A trajetória institucional do CENA não constitui o principal estudo de caso desta tese, razão pela qual não pretendo esgotar as parcerias, intercâmbios, linhas de pesquisas e relações políticas e econômicas dessa instituição. O propósito de estudar o processo de formação do CENA, ainda na década de 1950, e suas agendas de pesquisa com radioisótopos e radiação até pelo menos o fim da década de 1970, é mapear o movimento de constituição de agendas e equipes de pesquisa ocasionado pela integração dos radioisótopos em sistemas experimentais da biologia. Nesse movimento há no início da década de 1950 um grande investimento na exploração dos radioisótopos em diferentes sistemas experimentais no início da década de 1950, utilizando-os para sanar dúvidas em aberto em vista das enormes possibilidades de pesquisa que eles abriam. Em um momento posterior, a disseminação de técnicas de radioisótopos e a parceria com agências multilaterais de energia nuclear se tornaram tão capilarizadas, que transformaram a forma pela qual o CENA passou a lidar com aqueles objetos.

Dito de outra forma, se entre as décadas de 1950 e 1960, os radioisótopos possuíam um lugar central nos trabalhos de experimentação dos pesquisadores do CENA, servindo como traçadores ou marcadores de nutrientes, isótopos estáveis ou outros objetos que formatavam os estudos de metabolismo, sobretudo vegetal, a partir da década de 1970 esses isótopos se integraram de tal forma à paisagem dos laboratórios e aos sistemas experimentais, que se tornaram apenas mais um dos objetos disponíveis frente a diversidade metodológica das agendas de pesquisa, ocupando posição menos centralizada. Esse processo, que, como dito acima, também ocorreu em outros grupos de pesquisa, como no caso do Instituto de Biofísica-RJ, pode ser pensado à luz da dinâmica circulatória própria dos sistemas experimentais, nos quais os objetos científicos e tecnológicos mudam de lugar conforme se opera a máquina que gera as perguntas (RHEINBERGER, 1992). Nesse caso, os radioisótopos foram incorporados como base, elementos infra estruturais das investigações científicas que, por sua vez, decorreram do processo de seu uso experimental. Além de entender esse movimento como algo próprio dos sistemas experimentais, no qual objetos científicos viram objetos tecnológicos conforme o seu uso, é importante se questionar em que medida a utilização de radioisótopos, nesse caso, na pesquisa agrícola, acompanha eventos da história da energia nuclear no Brasil, bem como das tendências experimentais em outros países. Isso não é algo que será elucidado no decorrer desta tese.

Na história do CENA, é bem evidente a ampliação das linhas de pesquisa a partir do uso dos radioisótopos. Por exemplo, uma das preocupações do CENA, decorrente em grande

parte do seu histórico de relação com os outros setores da ESALQ, “era o número restrito de áreas de interesse para a pesquisa agrônômica atuantes no CENA” (CENA, 1977, p. 2). Essa preocupação levou a uma cooperação com a ONU, para implantar no CENA um programa de assistência técnica, “com o objetivo de desenvolver as áreas das quais o CENA se ressentia. A ideia foi finalmente concretizada em 1972” (CENA, 1977, p. 2). Nesse mesmo período, o CENA também conseguiu a colaboração do programa de assistência ao desenvolvimento do governo da Dinamarca, o DANIDA, que contribuiu para a criação do laboratório de radioquímica:

Estes fatores, isto é, um lugar físico próprio para o exercício de suas atividades, a criação de um orçamento próprio, os cursos para formação de pessoal, a implantação e a eficiência do programa de assistência técnica do PNUD [UNDP] e posteriormente também da DANIDA com a conseqüentemente criação de novas seções, é que marcaram realmente o surgimento do CENA (CENA, 1977, p. 2).

Com o apoio do Projeto das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), referido pelo CENA sempre como Projeto BRA/71/556, que focava no desenvolvimento da produção agrícola através da aplicação de técnicas nucleares, o CENA participou dos principais desenvolvimentos da energia nuclear na agricultura, a nível global. Ao longo da década de 1970, com o apoio do PNUD, o uso dos radioisótopos e técnicas associadas foi explorado na área de melhoramento genético, buscando por exemplo, aumentar a variabilidade de certas culturas. Na entomologia, foram aplicados no controle de insetos mediante esterilização dos machos. Na análise da fertilização e nutrição de plantas, na pesquisa dos mecanismos de absorção de nutrientes pelas plantas. Nos problemas ambientais, no estudo da contaminação e poluição dos solos. Na produção animal, o uso de radioisótopos foi empregado para pensar a dinâmica da alimentação, por exemplo, de animais bovinos. Nas ciências do solo, na determinação da umidade e da densidade e na irradiação de alimentos, que irei explorar no próximo subtópico (LEÃO, 1997, p. 46-47).

A aplicação dos radioisótopos em todas essas agendas de pesquisa a partir da década de 1970, não se dava, como mencionado acima, da mesma forma que ocorria na década de 1950 e parte da década de 1960. A tendência passou a ser associar o uso de radioisótopos com outras tecnologias (LEÃO, 1997, p. 47). “Vem sendo desenvolvidas técnicas de análises químicas altamente sensíveis e que são implantadas em rotinas que permitem uma eficiência raramente alcançada por outros laboratórios” (CENA, 1977, p. 4). Esse ponto é importante para compreendermos a natureza do CENA e o papel dos radioisótopos na constituição e no

desenvolvimento das pesquisas feitas na instituição. Ou seja, ao mesmo tempo em que o CENA buscou demarcar seu espaço como um centro especializado nas aplicações de todas as possibilidades que a energia nuclear poderia oferecer para a agricultura, angariando, com isso, apoio financeiro de uma série de instituições e agências diferentes, o centro não se deteve exclusivamente nas técnicas e objetos próprios do universo da radiação. Entretanto, é inegável que a radiação, ou os radioisótopos, foram os fios condutores das atividades e conexões ali formadas. De 1968 a 1977, por exemplo, de todas as fontes de financiamento do CENA, as mais significativas foram a CNEN, a própria USP, e o PNUD, sendo que este último só começou a repassar recursos significativamente a partir de 1972. Ou seja, mesmo com o potencial de um centro voltado às demandas da agroindústria paulista, suas maiores apoiadoras eram agências ligadas à energia nuclear, como a CNEN e o programa da ONU para incentivo de técnicas nucleares na agricultura, além da própria AIEA (CENA, 1977, p. 12).

As transformações que esta análise vem tentando demonstrar, podem ser evidenciadas em mais alguns exemplos. Na década de 1980, para além da aplicação de técnicas nucleares na agricultura, passa a se intensificar algo que já vinha sendo estabelecido na instituição: as pesquisas no que chamarei genericamente aqui de ecologia aplicada¹¹⁶. Em 1984, por exemplo, foi iniciado o projeto “O Uso de Isótopos em Estudos Sobre os Efeitos das Alterações no Uso da Terra Sobre a Ecologia e o Clima da Amazônia Brasileira”, o BRA/0/010, que envolvia o CENA, a CNEN, o Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia (INPA), o CNPq e a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA). Sendo o maior projeto do CENA após o convênio com a PNUD em 1972, o projeto em questão foi financiado pela AIEA pelo valor de 5,8 milhões de dólares (LEÃO, 1997, p. 99). O novo projeto tinha, de acordo com Leão, o objetivo de “formar um amplo banco de dados contendo as informações essenciais para a exploração econômica racional da região amazônica, assegurando a proteção dos recursos naturais” (LEÃO, 1997, p. 100). Na década de 1980, teve lugar no CENA também os estudos sobre o rio Piracicaba, emblemático corpo d’água que corta a cidade de mesmo nome, e que sofria há décadas com a crescente poluição.

“Nos últimos 30 anos, métodos que eram apenas experimentais, tornaram-se rotina” (RELATÓRIO..., 1983, p. 2). Essa frase justifica a minha explicação acima, acerca do movimento pelo qual os radioisótopos passaram no CENA, mas também pode ser aplicada a outros grupos. Esse processo, de algo experimental virar ‘rotina’, favoreceu, assim, a

¹¹⁶ No capítulo 4 farei uma discussão mais aprofundada acerca das terminologias da disciplina ecologia.

incorporação de novas agendas de pesquisa no CENA, tal como os grandes projetos mencionados da década de 1980. Além disso, a perda generalizada de interesse nas potencialidades da energia nuclear influenciou a força de agências que fomentavam o tema. O contexto político da redemocratização igualmente impactou os rumos das pesquisas científicas com tecnologias nucleares do Brasil, o que explorarei mais adiante. O fato é que o CENA, historicamente, procurou se manter na vanguarda das aplicações nucleares, mas não conseguiu restringir suas linhas de pesquisas apenas ao uso metabólico de radioisótopos como traçadores, ou a irradiação de sementes, insetos e alimentos:

O CENA vem desenvolvendo pesquisas agrônômicas e ambientais utilizando diversas metodologias não convencionais, entre as quais as técnicas nucleares. Durante o período de 1980 a 1983, houve um avanço nos diversos setores contemplados com projetos de pesquisa (RELATÓRIO..., 1983, p. 4).

Apesar disso, os radioisótopos demarcaram a identidade daquela instituição, transcendendo a figura de apenas uma ferramenta útil para a pesquisa agrícola, como venho argumentando:

Cientistas do solo, geneticistas, entomologistas, fisiologistas, veterinários, e cientistas de alimentos, estão todos empenhados em desenvolver a tecnologia necessária para aumentar a produção de alimentos. Todos esses campos científicos vêm, nas últimas décadas, tendo a vantagem da aplicação da ciência nuclear (RELATÓRIO..., 1983, p. 1).

Os radioisótopos unificaram as agendas do CENA, condensando as diversas atividades daqueles cientistas que, nem sempre lidavam diretamente com esses objetos. Eles serviram como agentes mediadores entre o CENA, cientistas de outros países, agências multilaterais e internacionais, políticos ligados à ditadura militar brasileira ou aos governos que a sucederam, indústrias e a própria sociedade civil. Os radioisótopos justificaram a criação do CENA como um centro único de pesquisas. Esses objetos eram vistos como dotados de uma moderna tecnologia, quando ascenderam como possibilidade na década de 1950, e, desse modo, simbolizaram as atividades empreendidas na instituição. Porém, com a constituição e o desenvolvimento de diferentes sistemas experimentais, como os estudos de metabolismo vegetal e a esterilização de pragas agrícolas, os radioisótopos foram adquirindo cada vez mais o papel de objetos tecnológicos. Viraram parte da infraestrutura daquelas pesquisas, mas sem perder, com as novas configurações experimentais, a importância simbólica para a instituição, que se consolidou e se manteve como referência nos seus usos agrícolas e ambientais.

De acordo com Mateos e Suárez-Díaz (2015), desde o início de sua circulação os

radioisótopos estiveram envolvidos em intercâmbios entre países como os Estados Unidos e os latino-americanos. Esses elementos físico-químicos se tornaram o melhor exemplo das aplicações pacíficas da energia atômica, servindo como uma excelente ferramenta de diplomacia (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2015). O mundo agrícola se mostrou fundamental para o desenvolvimento de tecnologias nucleares, pois, de acordo com Oatsvall (2014), forneceu uma “saída pacífica” para a pesquisa atômica. As tecnologias nucleares, entretanto, não eram facilmente distribuídas para países considerados menos desenvolvidos (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2021). Nesse sentido, não se pode enxergar os radioisótopos ou o seu uso na pesquisa científica como “mera aplicação” de uma nova tecnologia, sem considerar as interrelações entre atores que estabeleceram as redes para a formação de uma cultura de utilização desses objetos na ciência. Outro estudo de Mateos e Suárez-Díaz (2021) mostra, por exemplo, que a partir de 1958, a AIEA, fazendo parte do Programa Ampliado de Assistência Técnica da ONU, buscou fomentar a necessidade de uma assistência técnica nuclear pelo mundo, visando com isso, estabelecer uma ideia de desenvolvimento por etapas, que tinha como início as aplicações de radioisótopos na medicina, agricultura e indústria, e iria até mesmo à criação de reatores nucleares. As intenções da AIEA, como estudam Mateos e Suárez-Díaz (2021) para o caso mexicano, encontraram contextos institucionais, científicos e de desenvolvimento bastante diversos e heterogêneos.

Para Helen Anne Curry (2016), ao mesmo tempo em que as agências de energia nuclear incentivaram programas de pesquisa e sistemas experimentais a utilizarem uma nova ferramenta cara e em expansão, esperando resultados benéficos desse uso, o “sistema agrícola” exigia inovações capazes de manter o modo de produção industrial avançando de forma rápida. Todos esses elementos mencionados, ao mesmo tempo em que se relacionam, de forma geral, com a natureza da experiência de uso de radioisótopos na agricultura pelo CENA, jogam luzes também sobre outros projetos que, na década de 1960, começaram a surgir. É o caso do programa de irradiação de alimentos, que veremos a seguir.

Enfim, esse mapeamento do papel dos radioisótopos na história do CENA serve para elucidar as transformações que esses objetos ocasionaram no campo da agricultura, como possibilidades institucionais, experimentais e políticas.

2.1.4 Irradiação de alimentos: outros projetos e problemas

O objetivo deste subtópico é apresentar, de forma sucinta e breve, outro desdobramento dos radioisótopos na agricultura, mais focado em sua dimensão aplicada.

Assim, analisarei agora o Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos, buscando estabelecer algumas discussões sobre as dimensões política, social e científica imbricadas na história dos radioisótopos na agricultura brasileira.

Criado em 1969 e ligado à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos financiou uma série de trabalhos desenvolvidos por bolsistas da CNEN, pesquisadores do Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar (CTAA) do Ministério da Agricultura, do Instituto Militar de Engenharia (IME) e de outras instituições que já estavam no circuito da CNEN nesse contexto, como o próprio CENA. Esses trabalhos visavam estabelecer parâmetros para a aplicação da irradiação na agricultura brasileira, fazendo estudos específicos com algumas técnicas e culturas selecionadas. Documentos do Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos acessados pelo arquivo virtual da CNEN mostram desde trabalhos teóricos de estatística, como os processos de inferência de parâmetros, do professor J. J. da Serra Costa (1971, 1972), estudos gerais sobre os efeitos da irradiação sobre o arroz e o trigo (MASSA, FAGUNDES e CRUZ, 1971), levantamentos bibliográficos sobre o valor nutritivo do milho irradiado (SIQUEIRA, 1971), estudos sobre a influência da irradiação sobre a composição química de alguns alimentos (MASSA et al, 1973) até o uso da técnica de espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) na determinação da irradiação em alimentos (DIAS FILHO, 1974).

De acordo com Del Mastro (1999), os primeiros trabalhos publicados no Brasil sobre irradiação de alimentos datam de 1968, e são de autoria de Frederico Wiendl, que, como já mencionado neste capítulo, foi pioneiro em trabalhos com irradiação de insetos e alimentos na seção de entomologia do CENA. O CENA foi, na verdade, o primeiro e um dos principais centros de experimentação de irradiação, seja de alimentos, insetos, sementes e plantas em geral. Mas além do CENA, o IEA/IPEN também produziu trabalhos na área, em colaboração com o grupo de Piracicaba. No mapeamento de Del Mastro, entre 1968 e 1970, alguns estudos sobre o tema foram feitos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), de 1978 a 1981, a CNEN e o IME no Rio de Janeiro também promoveram estudos na área, e na década de 1990 o tema voltou a ser estudado no IPEN-SP (DEL MASTRO, 1999, p. 230).

Em balanço feito pelo Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos datado de 1973, escrito por seu pesquisador responsável, Manoel Dias Filho, são citados sete diferentes laboratórios, centros ou institutos que estavam levando a cabo a agenda dos radioisótopos na agricultura e a técnica de irradiação de alimentos. A Escola de Veterinária do Exército, no Rio de Janeiro, estava fazendo experimentos sobre as alterações do milho irradiado, enquanto o Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar, do Ministério da Agricultura, pesquisava arroz e

trigo irradiado. O Instituto de Nutrição Annes Dias da Secretaria de Educação e Cultura do Estado da Guanabara estava desenvolvendo testes sensoriais com alimentos irradiados, com o objetivo de verificar possíveis alterações na forma, odor e gosto. Outros laboratórios citados são: Laboratório Bromatológico Francisco de Albuquerque, ligado ao Instituto Estadual de Saúde Pública (Rio de Janeiro, Guanabara), estudando alterações em batatas, cebolas, feijão e banana irradiados; Faculdade de Veterinária, da Universidade Federal Fluminense, pesquisando efeitos da irradiação sobre pesticidas residuais em alimentos e controle de rigidez em pescado fresco, fresco-congelado e irradiado; Instituto Adolpho Lutz, em São Paulo, fazendo análises para determinar o excesso de resíduos de pesticidas em alimentos; Centro de Energia Nuclear de Recife, da Universidade Federal de Pernambuco, desenvolvendo estudos de preservação e alterações em cebolas e frutas tropicais submetidas à radiação (DIAS FILHO, 1973, p. 24).

O responsável pelo Programa de Irradiação de Alimentos no início da década de 1970, Manoel Dias Filho, era engenheiro eletrônico e nuclear. Ele defendera dissertação de mestrado em Ciências sobre a técnica de EPR na irradiação em alimentos, em agosto de 1974 no IME, com orientação do físico nuclear Rex Nazaré Alves. Tanto em seu trabalho de mestrado, quanto em um documento de 1973 em que dá um panorama do Programa, é possível compreender o estado da arte desses trabalhos no Brasil, bem como as projeções feitas por quem estava pensando e estudando o tema.

O Programa de Irradiação de Alimentos, deveria seguir o que determinava a legalização do alimento irradiado no Brasil, formalizada a partir do decreto-lei nº 986, de 21 de outubro de 1969, embora tenha sido criado alguns meses antes. O decreto previa que todo alimento irradiado intencionalmente com o objetivo de preservação ou outros fins lícitos deveria obedecer a normas que ainda seriam elaboradas pelo órgão responsável ligado ao Ministério da Saúde. Apenas anos depois, com outro decreto-lei nº 72.718 de 29 de agosto de 1973, é que foram estabelecidas as condições e responsabilidades do processo de irradiação de alimentos no Brasil. A incipiente legalização de 1969, entretanto, estava baseada em uma série de comitês internacionais criados a partir de 1964 para legislar sobre a produção de alimentos irradiados, que contaram com vários países e a presença de membros da Agência Europeia de Energia Nuclear, da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e da Comunidade Europeia para Energia Atômica (EURATOM) (DIAS FILHO, 1974).

A criação de uma legislação para a irradiação de alimentos, seja no Brasil ou a nível internacional, era algo bastante problemático. De acordo com Dias Filho (1974), os comitês

internacionais consideravam que a legislação só seria eficaz quando existissem meios de comprovação de que as medidas legais estavam sendo de fato cumpridas. Na inexistência desses meios, apenas algumas recomendações gerais para o trabalho com a irradiação de alimentos foram estabelecidas, divididas entre métodos físicos, químicos e biológicos. Esse problema justificava o trabalho de mestrado de Dias Filho, que ao propor uma investigação sobre o uso da técnica de EPR na determinação da irradiação em alimentos, frisava a necessidade de um processo de controle efetivo. Em sua pesquisa, Dias Filho também utilizou feijões, por terem tamanho reduzido, o que era exigido pelo equipamento, e por oferecerem um grande teor de ferro para a análise (DIAS FILHO, 1974).

Após o decreto regulatório de 1973, duas portarias do Ministério da Saúde foram publicadas, sendo uma em 8 de março de 1985 (nº 9) e a outra em 25 de setembro de 1989 (nº 30). Essa legislação que se seguiu estabeleceu que a irradiação de alimentos só poderia ser autorizada em casos nos quais fossem realizados trabalhos técnico-científicos por instituições aprovadas pela CNEN, que demonstrassem a segurança do alimento irradiado, as vantagens em comparações com outros métodos para alimentos e nutrientes específicos, dentre outros aspectos. Em 1985, vários alimentos tiveram a sua aprovação legal para serem irradiados nessas condições, como arroz, batatas, cebolas, feijões, milho, trigo, temperos, mamões, morangos, peixes e aves. Em 1989, outros também foram aprovados, como os abacates, abacaxis, caquis, goiabas, laranjas, limões, mangas, melões e tomates.

Um dos principais argumentos para a existência do Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos era que radiação constituía o melhor método de preservação. Além disso, os primeiros produtos escolhidos para serem irradiados nos experimentos do programa - feijão, arroz, cebola, batata, trigo e subprodutos, milho e subprodutos - representavam, de acordo com documento do programa, 50% da massa da dieta média normal dos brasileiros no início da década de 1970 (DIAS FILHO, 1973). E, devido a sua natureza, poderiam ser irradiados com pequenas doses. O investimento no processo de irradiação também se justificaria economicamente, pois evitaria o desperdício de alimentos (que apresentava uma taxa de 30% para esses produtos citados). Um outro motivo, entretanto, justificava o foco na irradiação de produtos específicos: as máquinas irradiadoras existentes no Brasil só permitiam trabalhos seguros com doses baixas (DIAS FILHO, 1973, p. 11). Até março de 1972, o programa possuía apenas três irradiadores, sendo dois dos EUA e um do Canadá. Os dois estadunidenses, respectivamente do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) e da Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro (EMCRJ), eram do modelo de câmara gama e câmara gama Cell, enquanto o canadense, pertencente ao CENA, era do modelo de campo gama.

Todos usavam fonte de cobalto 60. Em março de 1972, uma outra máquina de irradiação, chamada *Brookhaven National Portable Cesium Development Irradiator* (BNPCDI) foi posta em funcionamento. Ela tinha como fonte o cézio-137 e era fabricada nos EUA (DIAS FILHO, 1973).

Por falta de pessoal especializado, investimentos e de equipamentos de irradiação, de frigorificação e de refrigeração, os trabalhos ficavam restritos apenas à inibição de brotação e desinfecção dos alimentos, mas estudos para o retardo do amadurecimento de frutas, conservação de carnes e pescado e redução de fungos também estavam sendo feitos. Devido às dificuldades apresentadas, uma solução proposta pelo programa, ainda que defendesse a radiação como a melhor saída para os problemas da produção agrícola e pecuária brasileira, era a combinação de diversos processos, sendo, nesse caso, a irradiação apenas um deles, que juntamente com o emprego de processos químicos, bioquímicos e físicos, resultaria numa conservação mais econômica e eficiente dos alimentos.

Outra dificuldade, talvez a mais importante, era, finalmente, a questão da opinião pública sobre o tema. “Mas de que adiantaria tudo isto se não houver a aceitação do processo, por parte do público? Poderíamos correr o risco de uma reação popular que levaria a perder todo este trabalho caro e de muito tempo?” (DIAS FILHO, 1973, p. 22). Para resolver esse problema, técnicos especializados em comunicação estavam trabalhando na produção de materiais de esclarecimento para todos os níveis culturais e sociais. Esses materiais foram distribuídos em escolas, colégios e instituições de ensino superior. A opinião pública, nesse caso, teria uma importância fundamental na validação dos usos pacíficos da radiação, mas, para tanto, precisaria conhecer sobre o tema. Entretanto, como a sociedade em geral iria se inteirar sobre um tema que, na década de 1970, em pleno regime militar, era tratado com sigilo? (ANDRADE, 2006).

O uso da radiação na agricultura e na pesquisa agrícola brasileira está atrelado à natureza do que se tornou a pesquisa científica no pós-guerra, à disseminação de ideias, práticas e projetos vinculados ao tema da energia nuclear, e por conseguinte às novas possibilidades técnicas e científicas. Por outro lado, ao analisar o Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos e suas conexões com os temas estudados no CENA, é possível perceber a tentativa de racionalização do mundo agrícola, representado pela radiação. O uso da radiação na agricultura, entretanto, apresentava uma série de dificuldades, da falta de infraestrutura ao distanciamento da sociedade em relação ao tema. No mundo científico, a radiação penetrou facilmente desde a década de 1950, após a conversão, numa estratégia diplomática norte-americana, do terror das bombas atômicas aos usos pacíficos do átomo,

fazendo parte de uma ciência da guerra fria e dando oportunidades a cientistas do Brasil e do mundo todo, como podemos constatar pela própria existência e desenvolvimento do CENA. Na esfera social, dos grandes problemas nacionais, embora aparentemente promissores, os átomos enfrentaram mais obstáculos. Contrastar, assim, a atuação do CENA com o Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos, no mesmo período, permite verificar as diferentes facetas da radiação na agricultura, de uma eficiente ferramenta da ciência a uma opção viável para a resolução dos problemas de produção agrícola, mas de difícil implementação.

Como vimos, entre as décadas de 1960 e 1970, o CENA estabeleceu uma série de pesquisas utilizando os radioisótopos na agronomia. Nesse contexto, o setor da agricultura acabou, de certa forma, impulsionando as pesquisas e a circulação dos radioisótopos no Brasil, tanto em centros científicos voltados para soluções biotecnológicas, como é o caso do CENA, quanto na criação de programas governamentais, como o Programa de Irradiação de Alimentos. Se por um lado, os radioisótopos abriam amplas possibilidades nos mais diversos campos, por outro lado esbarravam em barreiras de infraestrutura, mas também ligadas à opinião pública. Desse modo, o programa de irradiação de alimentos procurou estabelecer um trabalho de divulgação através da criação de um “plano de esclarecimento”, publicando notícias sobre o tema nos jornais, “livretos de fácil entendimento, de acordo com o nível cultural” e materiais para a escola primária (DIAS FILHO, 1973, p. 19).

Na ocasião da emergência do programa de irradiação de alimentos já havia um histórico de investimento na divulgação dos benefícios da energia nuclear para a agricultura, não só no Brasil, mas no mundo. A agricultura foi um dos principais setores mobilizados pelo discurso dos usos pacíficos da energia nuclear. Em apostilas feitas para ampla divulgação pela CNEN, tal como “Átomo: fonte de vida” (CNEN, [s.d.]), a agricultura aparece como uma das três grandes áreas ‘úteis’ de aplicação para aqueles mesmos átomos que produziram a bomba nuclear. As outras áreas de aplicação pacífica dos átomos seriam a medicina e a indústria. A apostila em questão, recheada de ilustrações didáticas, afirmava que:

As técnicas modernas de agropecuária têm adotado vários processos de emprego dos radioisótopos. Assim tem sido estudados novos métodos sobre a utilização de pastos, sobre as doenças dos animais, o crescimento dos vegetais, a alimentação do gado e a adubagem (CNEN, [s.d.]).

Embora as publicações da CNEN tendessem a focar as aplicações industriais dos átomos, como no caso da indústria petrolífera e da indústria mecânica, a agricultura, como técnica fundamental para a existência humana era mobilizada ao se defender que “o pequeno gigante abre maiores caminhos para o destino humano”:

Dia chegará em que todos os povos da Terra poderão utilizar a energia

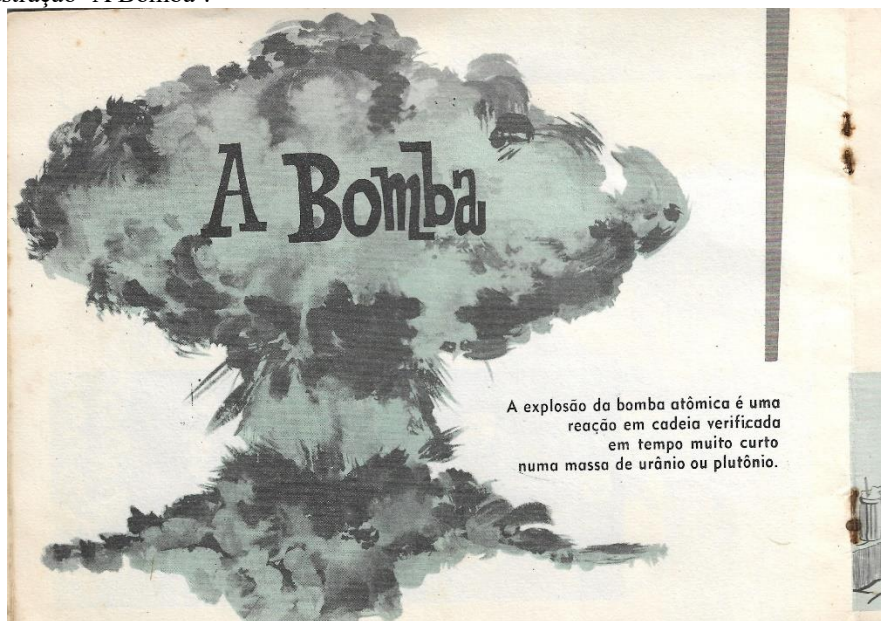
atômica como instrumento de progresso e de bem-estar social. Acreditamos mesmo, que só a energia atômica, com a grandiosidade de seu potencial, poderá permitir essa generalização do desenvolvimento econômico, levando-o a todas as nações e a todos os homens (CNEN, [s.d]).

Figura 19: Capa da apostila 'Átomo: fonte de vida'.



In: CNEN: **Átomos, fonte de vida**. Comissão Nacional de Energia Nuclear, s.d.

Figura 20: Ilustração 'A Bomba'.



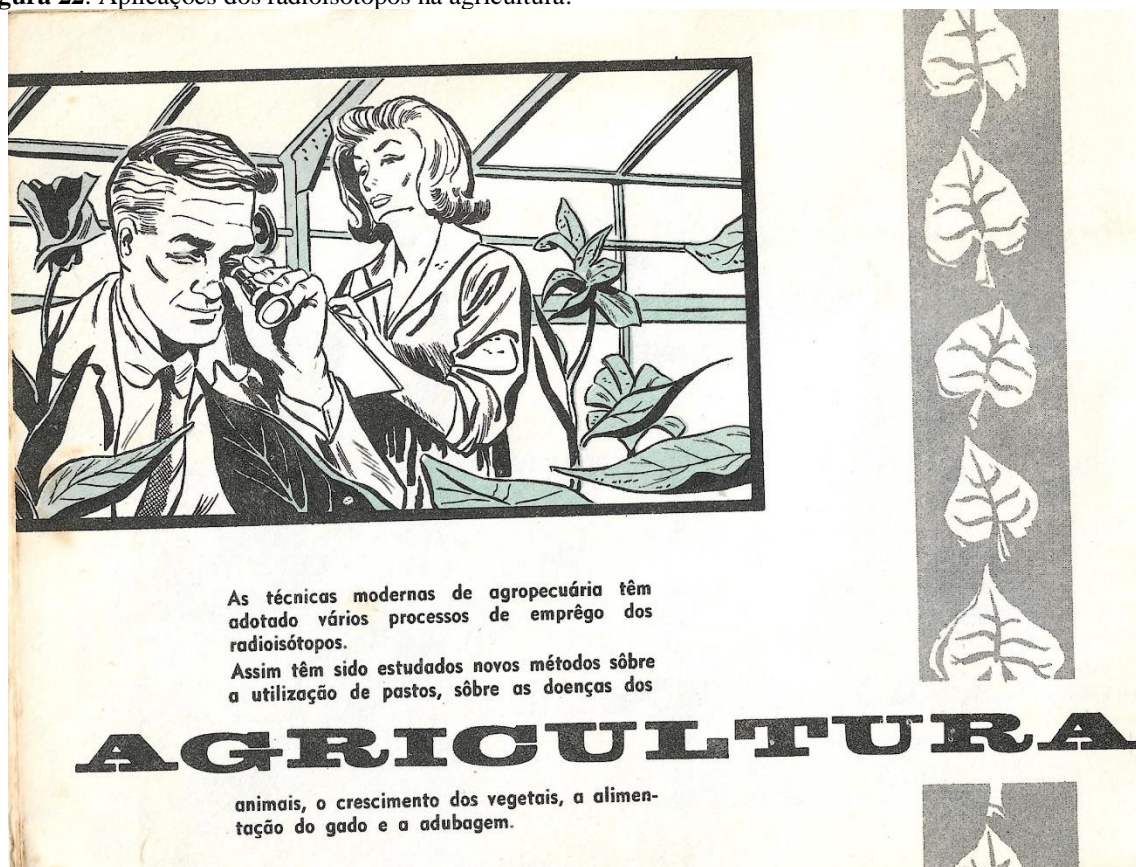
In: CNEN: **Átomos, fonte de vida**. Comissão Nacional de Energia Nuclear, s.d.

Figura 21: Áreas de aplicação dos radioisótopos.



In: CNEN: *Átomos, fonte de vida*. Comissão Nacional de Energia Nuclear, s.d.

Figura 22: Aplicações dos radioisótopos na agricultura.



In: CNEN: *Átomos, fonte de vida*. Comissão Nacional de Energia Nuclear, s.d.

Figura 23: ‘Átomos, fonte de vida, perene manancial de riqueza e de progresso’.



In: CNEN: **Átomos, fonte de vida.** Comissão Nacional de Energia Nuclear, s.d.

Publicações como a supramencionada, refletem os esforços de popularização e promoção da ideia de ‘átomos para a paz’ por parte de instituições como a CNEN, intensificados sobretudo entre as décadas de 1950 e 1960, ainda que essa publicação em específico não possua data. O Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos foi, também, resultado dessa tendência do pós-guerra. Seus entraves demonstram como esse processo não foi algo homogêneo e nem unidimensional, como outros autores latino-americanos vêm apontando (MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2021). No texto de Del Mastro (1999), referenciado ao longo deste subtópico, a pesquisadora do IPEN apresenta uma visão otimista sobre a prática de irradiação alimentos no Brasil, relacionando-a com o “longo histórico de aplicações bem-sucedidas” das radiações ionizantes no país, e considerando-a uma “opção prática à indústria para manter a qualidade e prolongar a vida útil, trazendo benefícios para aqueles que se dedicam à proteção da saúde pública” (DEL MASTRO, 1999, p. 244). Quando escreveu seu artigo, existiam três instalações comerciais de irradiação industrial em operação no Brasil, sendo a da Johnson & Johnson e da IBRAS CPO exclusivamente focadas em descartáveis médicos, e a da Empresa Brasileira de Radiações Ltda (EMBRARAD) trabalhando com a chamada irradiação multiuso, incluindo produtos alimentícios como alimentos secos. Além dessas três empresas, mais três instalações aguardavam, para o ano de 1999, o seu

licenciamento, “quando será possível iniciar a irradiação de alimentos em escala comercial” (DEL MASTRO, 1999, p. 233).

Apesar do otimismo e das projeções de Del Mastro já no final do século XX, a técnica de irradiação de alimentos não se tornou a promessa que nomes como Frederico Wiendl ou Dias Filho, acreditavam ser possível nas décadas de 1960 e 1970. Se o Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos se justificava como a melhor saída frente ao desperdício da produção agrícola brasileira e do tema da fome no país, para dar conta desses problemas a irradiação precisaria ter saído dos laboratórios de experimentação e persuadido outros coletivos nem sempre convencidos do papel da inovação e racionalização da produção industrial. Com a diminuição, entretanto, da excitação acerca do tema da energia nuclear nas últimas décadas do século XX, bem como do próprio desinteresse de diferentes setores, o tema da irradiação de alimentos ficou circunscrito ao universo científico e à dimensão teórica da discussão sobre agricultura e sociedade no Brasil.

2.2 Radioisótopos na medicina: o Centro de Medicina Nuclear (CMN-FMUSP) e o Instituto de Energia Atômica (IEA-USP)

2.2.1 De Laboratório de Isótopos a Centro de Medicina Nuclear

As análises metabólicas foram profundamente favorecidas pela utilização dos radioisótopos. Em estudos em medicina humana, como veremos neste tópico, representaram uma das principais agendas de pesquisa. A medicina nuclear, fundada no Brasil sob a ideia de uso pacífico dos átomos, bebeu, assim como a pesquisa agrícola, não só da técnica dos radioisótopos como traçadores, mas de todo um conjunto de elementos que orbitavam o tema da radiação.

De acordo com Angela Creager (2013), o contexto de emergência da medicina nuclear foi marcado por uma crescente ansiedade na esfera pública e na ciência, em relação aos possíveis perigos da exposição ambiental, ocupacional e clínica à radioatividade. Por outro lado, o terror das bombas atômicas detonadas sobre Hiroshima e Nagasaki “não diminuiu as esperanças de que fontes artificiais de radioatividade revolucionassem a medicina. Na verdade, a nova escala de energia atômica aumentou o nível de expectativa” (CREAGER, 2013, p. 146). Além disso, a medicina nuclear representava “a face humanitária da energia atômica” (CREAGER, 2013, p. 313). Entretanto, o desenvolvimento dessa especialidade médica, por exemplo, nos Estados Unidos, com o apoio direto da AEC, revela também como

certas prioridades militares foram incorporadas aos programas de pesquisa:

As mesmas instituições que foram centrais para o desenvolvimento de tecnologias baseadas em radioisótopos para diagnóstico e terapia (principalmente câncer) também foram contratadas pela AEC para realizar experimentos em seres humanos que objetivavam documentar o metabolismo, a distribuição e a excreção de materiais fissionáveis, como plutônio e urânio, ou as alterações cognitivas e bioquímicas induzidas pelo TBI [Total Body Irradiation] (CREAGER, 2013, p. 350-351).

A medicina nuclear que se formava ainda na década de 1940, tinha, portanto, um papel simbólico nas políticas do átomo pacífico, e um papel estratégico para o programa nuclear e militar norte-americano. Essas práticas médicas se configuraram na esteira de uma série de ansiedades e expectativas. Em relação à medicina nuclear aplicada ao câncer, por exemplo, um traço marcante das atividades de pesquisa era a utilização de sujeitos experimentais que não seriam os beneficiários diretos daquele conhecimento que estavam ajudando a construir. O uso de pacientes em estado terminal de câncer em pesquisas com radioisótopos e irradiação evidencia bem esse aspecto que, de acordo com Creager (2013), caracteriza quase toda a investigação clínica do período do pós-guerra.

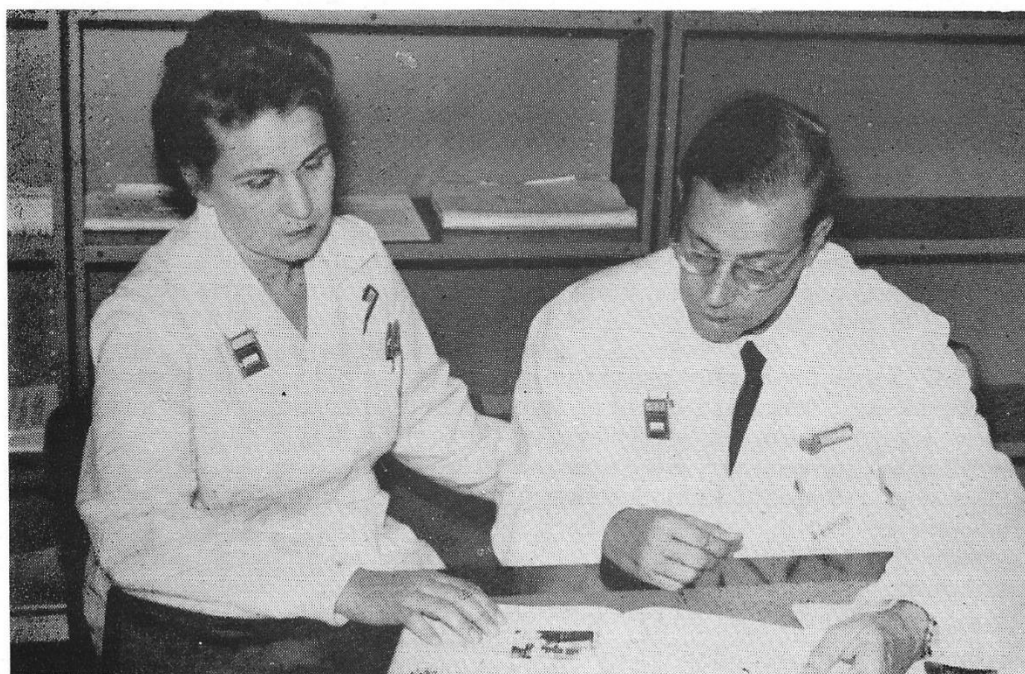
Figura 24: Diagrama dos principais personagens ligados ao CMN-FMUSP de acordo com esta análise.



Pode-se considerar que, no Brasil, dois dos principais representantes históricos da especialidade da medicina nuclear são o casal Tede Eston (1919-2001) e Verônica Rapp de Eston (1918-2014), médicos formados pela Faculdade de Medicina da USP (FMUSP), e treinados pela Fundação Rockefeller. Sua atuação se iniciou em 1949, em salas cedidas pelo professor Jayme Cavalcanti, da cadeira de Química Fisiológica, na FMUSP. O chamado ‘Laboratório de Isótopos’ foi um dos primeiros espaços, no Brasil, a explorar as aplicações

dos radioisótopos em pesquisas médicas e biológicas. Além da doação das salas pelo professor Cavalcanti, a montagem do laboratório só ocorreu com uma doação inicial da Fundação Rockefeller, feita por solicitação conjunta da FMUSP e da Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras da USP (FFCL-USP).

Figura 25: Verônica Rapp de Eston e Tede Eston, diretores do CMN.



Dr. Têde Eston e Dra. Verônica Rapp de Eston

5

In: **CENTRO de Medicina Nuclear:** primeiros doze anos de atividades (1949-1961). Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1961, p. 5.

A fundação do Laboratório de Isótopos em outubro de 1949 como resultado do acordo da Fundação Rockefeller com a FMUSP e FFCL da USP, relaciona-se com o surgimento da possibilidade de se utilizar radioisótopos produzidos por reatores nucleares norte-americanos para a comunidade científica internacional após a Segunda Guerra Mundial (CREAGER, 2013). A Fundação Rockefeller, responsável pela formação dos Eston, já atuava para a consolidação desse objetivo antes da concretização do Laboratório de Isótopos. De acordo com Verônica Rapp de Eston, num pequeno texto provavelmente escrito para ser lido em algum evento:

Em 1946, quando o reator atômico de Oak Ridge, nos EUA, começava a enviar os primeiros radioisótopos produzidos para outros centros de

pesquisa, dois jovens médicos brasileiros, Tede e eu, iniciávamos os nossos trabalhos de investigação com fósforo radioativo no Banting Institute da Universidade de Toronto, Canadá. De volta ao Brasil, já agora na Faculdade de Medicina da nossa Universidade, ambos procuramos implantar o novo e revolucionário método de pesquisa entre nós (MHFM-TEXT-Medicina Nuclear – centro, s.d., p. 1).

A estadia de Tede e Verônica Eston entre o Canadá e os Estados Unidos durou ao todo quase 2 anos, de janeiro de 1946 a dezembro de 1947. Durante esse período, os colegas de turma e curso se casaram, tendo como padrinho Charles Herbert Best (1899-1978), fisiologista canadense considerado codescobridor da insulina em 1921. Além de padrinho de casamento, Best foi o supervisor do casal em suas pesquisas no Banting and Best Institute. Tede Eston permaneceu fora do Brasil até 1948, participando de um novo estágio na Faculdade de Medicina de Montreal, no Canadá, sob supervisão de Hans Selye (1907-1982), um dos percursores dos estudos sobre stress humano (MARINHO, 2017, p. 260).

O retorno dos Eston ao Brasil coincide com a criação do Laboratório de Isótopos. Em 10 de outubro de 1949, uma carta foi enviada à Fundação Rockefeller por Franklin de Moura Campos, da FMUSP e Paulo Sawaya, da cadeira de Fisiologia Geral e Animal da FFCL-USP, para dar inícios ao estabelecimento de um centro especializado em pesquisas com radioisótopos na biologia e medicina. No dia 18 de novembro do mesmo ano, Harry M. Miller Jr, da Fundação Rockefeller, retornou a solicitação, enviando resposta positiva ao reitor da USP, Miguel Reale. Para dirigir o laboratório, o governador do estado de São Paulo precisou encaminhar à Assembleia Legislativa um projeto de lei para criar um cargo de assistente em tempo integral (lei nº 710 de 1950), que foi ocupado por Tede Eston.

A Fundação Rockefeller doou inicialmente, ainda em 1949, o valor de 5.000 dólares para a compra de equipamentos. Além disso, 6.250 dólares foram destinados a auxílios de viagens e mais 1.150 dólares quando da vinda do bioquímico inglês Arthur Wormall para realização do primeiro curso sobre radioisótopos na instituição. De 1950 a 1955, mais 23.100 dólares foram desembolsados pela instituição estadunidense para os gastos com equipamentos.

O Laboratório de Isótopos encarregou-se de uma série de objetivos que envolviam demandas internas da instituição e mesmo de diferentes áreas da USP. Uma das finalidades principais do laboratório era contribuir para o desenvolvimento da pesquisa biológica e médica a partir dos radioisótopos e de isótopos pesados na USP. Além disso, visava a colaboração com outros institutos interessados nessas mesmas agendas de pesquisa, a criação de cursos de especialização, estágios, a constituição de pesquisas próprias e a colaboração

com estudos e práticas em higiene da radiação. Num nível internacional, buscando suprir as demandas de agências e instituições financiadoras, o Laboratório de Isótopos estava sendo pensado como um centro que iria receber e distribuir radioisótopos pela América Latina (LABORATÓRIO..., 1954).

Semelhante ao CENA e ao Instituto de Biofísica, a primeira atividade efetiva do Laboratório de Isótopos foi a realização de um curso de metodologia, o Primeiro Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos, realizado entre janeiro e fevereiro de 1953, sob orientação do professor Arthur Wormald que, como mencionado acima, teve a sua viagem e estadia patrocinada pela Fundação Rockefeller. Catedrático de bioquímica e química da Escola Médica do Hospital São Bartolomeu, da Universidade de Londres, Wormald permaneceu no Laboratório de Isótopos durante seis meses e meio, de setembro de 1952 a março de 1953 (LABORATÓRIO..., 1954, p. 12). Além do apoio da Fundação Rockefeller, o curso foi financiado pela USP, pela Divisão Cultural do Ministério das Relações Exteriores e pelo Centro de Cooperação Científica para a América Latina, órgão da ONU. Na verdade, de acordo com a documentação do CMN, aquele foi o primeiro curso de especialização no mundo a ser patrocinado pela UNESCO.

O investimento de agências multilaterais e a dimensão internacional do curso explicam como o Laboratório de Isótopos adquiriu a reputação de “padrão elevado”, além de indicarem o papel central que ele assumiu na promoção do uso pacífico da energia nuclear. O curso contou com a participação de 14 cientistas de instituições brasileiras e representantes de 9 países da América Latina. Limitado a 30 participantes, marcaram presença estudantes da própria USP, como da Faculdade de Medicina, Hospital das Clínicas, FFCL, Faculdade de Medicina Veterinária, Faculdade de Higiene e Saúde Pública e Escola Politécnica. Além do interesse interno, o curso teve participantes do Instituto Biológico de São Paulo, Instituto Butantã, Instituto Adolfo Lutz, Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, Associação Paulista de Combate ao Câncer, Instituto Arnaldo Vieira de Carvalho, Instituto Tecnológico de Aeronáutica de São José dos Campos e Serviço Nacional de Câncer do Rio de Janeiro. Por fim, vieram participantes da Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Cuba, Peru, Paraguai, Uruguai e Venezuela (LABORATÓRIO..., 1954, p. 7).

O patrocínio da UNESCO está relacionado com a própria constituição histórica dessa agência. Criada em novembro de 1945, entre o imediato pós-guerra e um período anterior à Guerra Fria, a expectativa em relação a UNESCO, assim como às outras agências especializadas da ONU, era a de constituir “um sistema político estável com base na perspectiva de construção de um mundo melhor em face dos efeitos catastróficos advindos do

conflito mundial de 1939-45” (MAIO e SÁ, 2000, p. 984). Assim como Wormall, foi também um bioquímico inglês o responsável pela inclusão das ciências naturais numa agência de cooperação intergovernamental voltada para o debate cultural internacional, como era o caso da UNESCO. O bioquímico Joseph Needham (1900-1995), também conhecido como historiador das ciências, foi o articulador de um amplo projeto de cooperação científica internacional como diretor do Departamento de Ciências Naturais da UNESCO, baseado na ideia de função social da ciência e em seus trabalhos sobre a China (MAIO e SÁ, 2000, p. 984). A inserção da ciência junto da educação e da cultura na UNESCO (sigla de Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) foi resultado do trabalho de Needham, mas também da força da comunidade científica liderada tanto por liberais quanto socialistas, e da sua projeção em temas de preocupação global:

Para isso, a tragédia produzida pelas bombas atômicas norte-americanas em solo japonês, em agosto de 1945, parece ter despertado ainda mais o interesse pelo debate acerca do papel dos cientistas, da colaboração científica e do intercâmbio de conhecimento científico (SEWELL, 1975, p. 78-9). Afinal, a associação entre ciência e Estado em tempos de guerra havia gerado consequências inéditas, transformando os cientistas em agentes estratégicos nos países centrais (MAIO e SÁ, 2000, p. 985).

Needham se contrapunha à ideia de que a interação entre cientistas deveria se dar pelo princípio do conhecimento e das iniciativas individuais. Seu estudo da experiência chinesa, que conseguiu uma projeção ocidental para seus trabalhos e intercâmbios com ingleses, “sedimentou a crença no projeto de irradiação da ciência do centro para a periferia (*periphery principle*)” (MAIO e SÁ, 2000, p. 984). O *periphery principle* foi, de fato, um princípio estabelecido por Joseph Needham, e teria como foco a promoção do desenvolvimento científico em países não industrializados. No caso da criação do Instituto Internacional da Hileia Amazônica (IIHA), estudado por Maio e Sá (2000), proposta em 1946 pelo cientista brasileiro Paulo Carneiro (1901-1982), uma série de divergências entre as concepções de Needham e de Carneiro e outros cientistas brasileiros que vinham de uma tradição científica do Instituto Oswaldo Cruz (IOC) se desenrolaram, dificultando assim a viabilidade do projeto. Dividindo o mundo entre ‘zonas escuras’ (países subdesenvolvidos) e ‘zonas iluminadas’, para Needham “caberia aos cientistas do mundo desenvolvido cooperarem na superação não somente do isolamento dos seus colegas das regiões periféricas, mas também das respectivas disparidades materiais e sociais” (MAIO e SÁ, 2000, p. 987). Needham não conhecia, por exemplo, a existência de instituições científicas de excelência nas “zonas escuras”, assim como os cientistas brasileiros, ligados ao IOC, que estiveram presentes nas conferências da

UNESCO não entendiam ou concordavam com a concepção de Needham, enxergando sua ideia como uma espécie de ‘imperialismo científico’ (MAIO e SÁ, 2000).

Até a realização do curso, no início de 1953, o Laboratório de Isótopos recebeu recursos de diferentes fontes. Em 1950, recebeu da reitoria da USP, pela Comissão de Pesquisa Científica, o valor de Cr\$ 25.400,00 e, em 1951, a própria Faculdade de Medicina repassou uma verba de mais Cr\$ 50.000,00. Em 1952, o Laboratório de Isótopos recebeu mais Cr\$ 80.000,00 da Faculdade de Medicina, e, em 5 de março do mesmo ano, o Conselho Universitário, presidido pelo então reitor Ernesto Leme, financiou o novo centro com o valor de Cr\$ 350.000,00, com o objetivo de instalar e concluir a montagem do Laboratório. Dentro do Conselho Técnico Administrativo da Faculdade de Medicina, foi aprovado um parecer em favor da transformação do laboratório em um ‘Instituto de Isótopos’ anexo à FMUSP. O parecer também precisou ser aprovado pela FFCL-USP, dada a relação do Laboratório de Isótopos com a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras desde a sua origem.

Um aspecto importante, entretanto, para que todos esses auxílios financeiros ocorressem e a estruturação do Laboratório de Isótopos se formalizasse em 1952, foi a realização de uma viagem técnica empreendida por Tede e Verônica Rapp de Eston em 1951. A viagem do casal só foi possível mediante apoio financeiro do reitor da USP, Ernesto Leme, e do diretor da Faculdade de Medicina, Jayme Cavalcanti. Durante seis meses, Tede e Verônica Eston visitaram um total de 46 laboratórios, espalhados entre os Estados Unidos, Inglaterra, Suíça, Dinamarca e Suécia (MHFM-TEXT-Medicina Nuclear 2, s.d., p. 1). A visita dos Eston aos laboratórios e hospitais que já trabalhavam com radioisótopos em outros países contribuiu tanto para a futura construção de um prédio novo para o CMN, quanto para o curso de 1953. Entretanto, devido a uma rígida segurança e ao caráter sigiloso de laboratórios estadunidenses em relação a estrangeiros, o treinamento do casal nos Estados Unidos em 1951 foi um pouco mais difícil do que em 1946.

De acordo com cartas do físico Harry Miller, da Fundação Rockefeller, analisadas por Marinho (2017), é possível perceber os trâmites burocráticos para o aceite dos cientistas brasileiros no curso de técnicos de Oak Ridge, em 1951. Apesar do apoio direto de Miller, os norte-americanos foram relutantes em aceitar cientistas estrangeiros latinos. A correspondência de Miller analisada por Marinho mostra que o próprio Warren Weaver, diretor da *Natural Science Division* da Fundação Rockefeller, telefonou para o diretor do Laboratório Brookhaven, J. Haworth, para que os Eston pudessem ser devidamente recebidos. Mas sua estadia nos EUA não seria simples. Era exigido do casal a obtenção de uma solicitação formal pela Embaixada do Brasil em Washington, que seria enviada ao

Departamento de Estado, para que ambos pudessem estagiar em Oak Ridge, Argonne e outros dos principais laboratórios que utilizavam radioisótopos. Uma série de autorizações deveria ser conseguida pelo casal. Além disso, o financiamento e a rota seguinte de sua viagem aos outros países previstos deveriam ser informados aos EUA. Copio abaixo um trecho da correspondência de Miller sobre o caso citada por Marinho:

Embora a Oficina Sanitária Pan-Americana tenha prometido aos Estons em dezembro de 1950 que eles seriam admitidos para o Curso de Técnicos Oak Ridge de 4 semanas a partir de 9 de julho de 1951 (com base no fato de que a AEC concordou em admitir 12 latinos recomendados pela Oficina Sanitária Pan-Americana), o telefonema de HMM para Ralph Overman em Oak Ridge estabeleceu que: 1) Nenhuma promessa desse tipo foi feita para a Oficina; 2) A medida que 225 cidadãos dos EUA solicitaram 40 lugares, nenhum estrangeiro pode ser aceito; 3) Os Estons poderão ouvir “algumas, possivelmente um bom número de palestras” e serem ajudados de várias maneiras por Hollaender e outros (MILLER apud MARINHO, 2017, p. 261-262).

As dificuldades enfrentadas pelos Eston, apesar de todo o apoio financeiro, político e diplomático por parte de uma série de instituições e cientistas, reflete o contexto nos EUA antes da emergência do programa Átomos para a Paz. Foi apenas após o lançamento oficial desse programa, no final de 1953, que os EUA ‘admitiram’ que estavam perdendo seu monopólio nuclear, levando à revisão da Lei MacMahon, de 1946, que protegia seus interesses nucleares, e a adoção de uma nova estratégia, de estimular outros países a desenvolver suas agendas de pesquisa com energia nuclear. O discurso “Átomos para a Paz” do presidente Dwight Eisenhower no dia 8 de dezembro de 1953 na Assembleia Geral da ONU, que lançava a nova política externa, e a revisão de fato da Lei MacMahon em fevereiro de 1954, foram eventos que facilitaram e promoveram o intercâmbio científico em temas nucleares entre cientistas estadunidenses e de outros países, como os latino-americanos. Assim, o fato da viagem de Tede Eston e Verônica Rapp de Eston aos EUA em 1951 ter apresentado uma série de entraves e impedimentos, evidencia como, antes de iniciar a tônica da disseminação pacífica dos átomos, no final de 1953, os EUA manteve o caráter secreto e ultra controlado dos processos envolvendo os radioisótopos.

O estudo de Néstor Herran (2006) sobre a *Isotope School* (Escola de Isótopos), criada em 1951 pela *British Atomic Energy Research Establishment* (AERE) a partir dos moldes do laboratório de Oak Ridge, nos Estados Unidos, ajuda a compreender um pouco das dinâmicas envolvendo o estudo com radioisótopos nesse contexto, a criação de institutos especializados sobre o tema e a dimensão política da circulação desses átomos e seus conhecimentos. Desde a sua criação até 1967, ano de seu encerramento, a *Isotope School* foi responsável pela

realização de pelo menos 200 cursos sobre radioisótopos e áreas correlatas, que tiveram participantes de mais de 50 países e 4 mil alunos no total. Com essa intensa atividade, o instituto britânico contribuiu ativamente para a introdução dos radioisótopos “em muitos ambientes diferentes, de laboratórios industriais a hospitais, dando origem a novas profissões, como o físico médico, remodelando processos industriais e mudando o panorama material da pesquisa biomédica” (HERRAN, 2006, p. 585). Essas atividades não se limitaram ao Reino Unido, mas atingiram outros países da Europa ocidental. Entretanto, em relação ao leste europeu, a AERE estabeleceu uma série de embargos aos radioisótopos, vetando a participação de cientistas dessas regiões em seus programas. Nesse sentido, de acordo com Herran, “as trocas tecnocientíficas foram subordinadas a alianças diplomáticas e não transcenderam as exigências da Cortina de Ferro até o início dos anos 1960” (HERRAN, 2006, p. 586).

Ou seja, apesar da existência de um discurso oficial que enfatizava a importância de uma cooperação científica internacional, como também pregava a UNESCO, muitas restrições foram impostas a cientistas de certas regiões do globo:

O acesso dos cientistas ao treinamento especializado, bem como aos isótopos e instrumentos, estava sob rígido controle para evitar a disseminação indesejável da tecnologia nuclear. Na verdade, isso aconteceu mesmo quando esse conhecimento foi anunciado como promotor da paz e da colaboração internacional. Nessas circunstâncias, o que é notável é que essas restrições foram parcialmente removidas e permitiram o desenvolvimento de programas nucleares independentes em outros lugares. Nesse sentido, seria especialmente interessante complementar a história da Escola de Isótopos com estudos de apropriação de tecnologia nuclear em países periféricos e, em particular, nas nações do Leste Europeu sob o veto da Escola de Isótopos (HERRAN, 2006, p. 586).

Mateos e Suárez-Díaz (2015, 2021) vêm fazendo estudos sobre o México, visando entender sobretudo como os cientistas e outros agentes desse país lidaram com a presença do programa Átomos para a Paz e com a própria circulação dos radioisótopos. De modo geral, o que pode ser dito sobre isso, é que, como menciona Herran, de fato em países considerados periféricos, como os latino-americanos, houve apropriação das tecnologias nucleares, ou seja, das infraestruturas criadas pelas agências para disseminar os radioisótopos. O caso brasileiro apresenta especificidades, tanto se o compararmos com o México, quanto se pensarmos à luz do que apresenta Herran. Ainda que fossem de um país que teoricamente não apresentava riscos à segurança nacional norte-americana, Tede e Verônica Eston não conseguiram ter acesso pleno às facilidades e cursos de radioisótopos nos EUA em 1951, ou seja, antes da disseminação do discurso das aplicações pacíficas da energia nuclear. Isso evidencia como,

antes da presença dos Átomos para a Paz no Brasil, e da criação e atuação mais efetiva da CNEN, a partir de 1956, a existência de atividades com radioisótopos em certos contextos era bastante dificultosa, ainda que ocorresse. Esse ponto demonstra também que a criação do Laboratório de Isótopos e o seu desenvolvimento, como a promoção de cursos e a construção de um novo prédio, resultou muito mais dos anseios da Fundação Rockefeller, que já possuía um alargado histórico no Brasil e, em particular, na própria FMUSP, e do interesse da Universidade de São Paulo em fomentar estudos pioneiros no tema.

De acordo com Marinho (2017), Tede e Verônica Eston expressam uma nova geração de médicos pesquisadores “que internalizaram, de modo muito efetivo, o *ethos* da chamada pesquisa de excelência preconizada pela *Fundação [Rockefeller]*¹¹⁷” (MARINHO, 2017, p. 243, grifos do autor). A partir do apoio direto da Fundação Rockefeller, bem como da natureza do trabalho empreendido com radioisótopos, o que tinha de mais novo na agenda científica internacional, o casal também estabeleceu fortes relações com grupos internacionais, “plenamente afinados com a ciência do *mainstream*” (MARINHO, 2017, p. 243).

No primeiro curso realizado no Laboratório de Isótopos, de 1953, os participantes estrangeiros foram selecionados pela UNESCO, “com a incumbência de criarem, nos seus respectivos países, centros de pesquisa com isótopos radioativos” (LABORATÓRIO..., 1954, p. 8). Sendo o primeiro curso do gênero na América Latina, e tendo o direcionamento direto da UNESCO, que além de estabelecer critérios para participantes de outros países latino-americanos selecionou o bioquímico inglês Arthur Wormall para conduzir os trabalhos, o curso teve um grande impacto não só para o Laboratório de Isótopos mas para a circulação dos radioisótopos pelas Américas. Alguns dos participantes estrangeiros eram, por exemplo, professores catedráticos, e não estudantes no início de carreira, como é o caso do diretor da Faculdade de Medicina de Bogotá e do ex-reitor da Universidade do Paraguai. Além disso, cientistas brasileiros como o médico Rômulo Ribeiro Pieroni, também aluno do curso, seriam posteriormente atores importantes na disseminação do conhecimento sobre radioisótopos em outros institutos e grupos de pesquisa brasileiros, como mapearei em outro momento deste tópico.

Os participantes de outros países receberam bolsas da UNESCO para o custeio da viagem, e auxílio do Itamarati para gastos com estadia (LABORATÓRIO..., 1954, p. 8).

¹¹⁷ A estreita relação, desde a graduação em medicina na USP, entre Tede e Verônica e a Fundação Rockefeller, foi tratada em Marinho (2017).

Retornando a discussão iniciada mais acima, se no caso da criação da IIHA os desencontros entre as ideias de Needham expressas na postura da UNESCO e o interesse específico de cientistas brasileiros como Paulo Carneiro impediram a viabilidade do desenvolvimento de uma instituição de pesquisas na Amazonia, o mesmo não ocorreu no Laboratório de Isótopos. As intenções da UNESCO foram cumpridas no curso, e, de fato, não só o novo centro de pesquisas radioisotópicas e de medicina nuclear teve vida longa, como a partir do primeiro curso, vários outros foram ministrados pelo CMN seguindo esses mesmos critérios. “Desta maneira, o CMN é considerado a ‘alma mater’ de muitos laboratórios de radioisótopos que trabalham eficientemente, não só no Brasil, como em outros países da América do Sul” (CENTRO..., 1961, p. 19). Assim, o *periphery principle* de Needham parece ter sido aplicado no Laboratório de Isótopos. De um curso apoiado por uma agência especializada da ONU, com direção de um bioquímico inglês, agentes das ‘zonas iluminadas’, constituiu-se um novo centro especializado que, por sua vez, contribuiu para a formação de novos centros.

O curso do Laboratório de Isótopos foi visto de forma positiva por cientistas europeus e norte-americanos. A equipe recebeu um voto de louvor do Conselho Universitário da USP “pelo brilhantismo deste curso”. Além disso, o professor Wormall recebeu o título de Doutor Honoris Causa, “pelos relevantes serviços prestados à Universidade de São Paulo” (LABORATÓRIO..., 1954, p. 8).

Foi através do funcionamento do Laboratório de Isótopos da FMUSP que o Brasil se tornou pioneiro a utilizar radioisótopos em pesquisas biológicas e médicas na América Latina (CENTRO..., 1961, p. 4). Apesar disso, o laboratório permaneceu durante oito anos sediado nas salas cedidas pelo professor Cavalcanti, passando por inúmeros problemas. Os embargos na importação de radioisótopos também se apresentavam como entraves ao desenvolvimento das pesquisas naquele centro, além da necessidade cada vez maior de formar novos especialistas na área:

Uma das dificuldades mais sérias foi a simplificação dos entraves administrativos para a importação dos radioisótopos, não somente por parte do Governo Brasileiro, mas também dos Governos dos países produtores. Igualmente era necessário importar e manter em funcionamento aparelhagem especializada, que durante muitos anos ainda não constou da lista de materiais normalmente importados pelas firmas comerciais. E finalmente era imprescindível treinar técnicos e cientistas neste campo inteiramente novo da ciência (CENTRO..., 1961, p. 4).

Os cursos de metodologia e especialização de radioisótopos não devem ser vistos como meros cursos, como venho tentando defender nesta tese. Eles condensaram uma série de elementos presentes na história da penetração dos radioisótopos nas ciências biológicas,

representando um contexto efervescente de discussões sobre energia nuclear e conhecimento durante a Guerra Fria. Eles demarcaram o caminho que certos grupos de cientistas poderiam tomar. Sendo o conhecimento acerca dos radioisótopos algo extremamente controlado devido aos riscos que o seu emprego poderia causar, apenas quem tivesse o treinamento necessário poderia trabalhar na área. Como explicita o discurso do embaixador Ernesto Leme na ONU em 1954, reproduzido no lustrô das atividades realizadas no Laboratório de Isótopos, eram os países produtores desse material radioativo, como os Estados Unidos, a Inglaterra, o Canadá e a França, aqueles que detinham tanto o fornecimento dos isótopos como o conhecimento sobre eles. No início dos anos 1950, os principais cursos de metodologia de radioisótopos eram ministrados pelo *Oak Ridge Institute of Nuclear Studies* (EUA), pela *Atomic Energy Research Establishment Isotope School*, em Harwell na Inglaterra, pelo Departamento de Bioquímica da Escola Médica do Hospital São Bartolomeu de Londres, coordenado por Arthur Wormal, pelo Laboratório de Zoofisiologia da Universidade de Copenhague, na Dinamarca, e pelo Comissariado da Energia Atômica em Paris (LABORATÓRIO..., 1954, p. 9).

A maioria desses cursos era limitado a participantes do próprio país, embora como vimos, os cursos do Isotope School abarcaram mais de 50 países ao longo de sua trajetória. Em Oak Ridge, entretanto, apenas em 1955 participantes estrangeiros poderiam frequentar os cursos, sendo criado um curso especial para estrangeiros. Apenas seis estrangeiros por ano poderiam participar dos cursos regulares da instituição. Apesar dos entraves de 1951, Tede Eston foi convidado pelo consulado americano em São Paulo, por indicação da AEC, para ser “chairman” da comissão de seleção de candidatos brasileiros:

Estes cursos dados no estrangeiro são pouco acessíveis aos brasileiros e sul-americanos em geral. Diversas entidades interamericanas, tais como a Fundação Rockefeller, a Oficina Sanitária Pan Americana em Washington e o Centro de Cooperação Científica para a América Latina (UNESCO) solicitaram que o Laboratório de Isótopos se tornasse um centro de treinamento regular para a América Latina, visto ser o único laboratório na América do Sul em condições de dar cursos desta natureza (LABORATÓRIO..., 1954, p. 10).

A citação acima evidencia a centralidade adquirida pelo Laboratório de Isótopos da FMUSP. Pode-se pensar que essa projeção resultou, dentre outras coisas, de um investimento a longo prazo da própria Fundação Rockefeller, tanto individualmente no início da formação de Tede e Verônica Eston, quanto nos anos iniciais de estruturação do laboratório. Face ao papel que essa entidade presente no Brasil desde 1916 teve no financiamento de grupos de pesquisa, instituições e na saúde pública no Brasil (MARINHO, 2017), é inegável que a

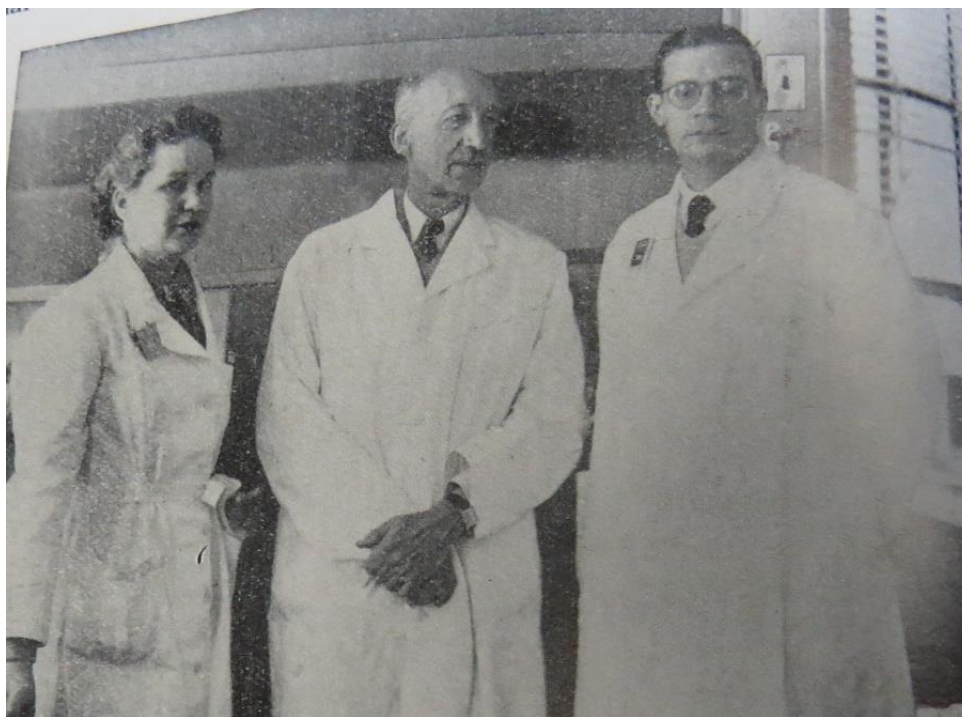
Fundação Rockefeller tenha tido um papel importante no sucesso que o Laboratório de Isótopos teve logo nos seus primeiros anos, apesar de todas as dificuldades políticas e de infraestrutura. Do mesmo modo, o lugar adquirido pelo Laboratório de Isótopos, a partir do primeiro curso de janeiro de 1953, também se deu devido ao investimento direto da UNESCO, fomentando seus ideais de cooperação científica internacional (MAIO e SÁ, 2000).

“O Laboratório de Isótopos teve atuação decisiva na inclusão do Brasil entre as nações que fazem parte do pool atômico internacional” (LABORATÓRIO..., 1954, p. 10), disse Ernesto Leme à ONU em um de seus discursos já no fim de 1954. Tede e Verônica Eston passaram a ser constantemente solicitados por instituições brasileiras e mesmo internacionais para a realização de conferências, pequenos cursos, palestras e orientações sobre a instalação de novos centros e laboratórios de radioisótopos. Apesar da participação do casal em muitos desses eventos, muitos outros foram recusados, “devido à sobrecarga de trabalho no Laboratório de Isótopos” (LABORATÓRIO..., 1954, p. 12). Para compensar a demanda, entretanto, o Laboratório de Isótopos buscava receber estagiários de diferentes lugares para treinamento, além da realização dos cursos que, a partir dali, continuariam. No ano seguinte à realização do primeiro curso, em 1954, foi iniciado o curso normal de radiobiologia, ministrado junto à cadeira de Química Fisiológica e Físico Química no segundo ano do curso da FMUSP. O curso contava com 8 aulas teóricas e 8 aulas práticas. De acordo com relatório do Laboratório de Isótopos do ano de 1954, a partir desse curso a FMUSP foi a primeira escola médica fora dos EUA a incluir um curso de radiobiologia no seu currículo normal de medicina.

As conexões internacionais do Laboratório de Isótopos eram constantes e fundamentais para o seu desenvolvimento. Além do físico Harry Miller e do bioquímico Arthur Wormald, importantes atores no processo de consolidação do laboratório e do curso de 1953, outro grande nome na história dos radioisótopos visitou o laboratório. Refiro-me ao Prêmio Nobel de Química de 1943, o químico húngaro George de Hevesy (1885-1966). Seu trabalho com radioisótopos foi pioneiro no estudo com traçadores radioativos sobre o metabolismo de plantas e animais. Hevesy esteve no Laboratório de Isótopos a convite dos Eston. Sua viagem foi patrocinada pelo Ministério das Relações Exteriores e pelo CNPq, criado há pouco tempo, em 1951. Permanecendo no Laboratório de Isótopos durante o mês de agosto e início de setembro de 1954, o químico húngaro realizou quatro conferências sobre radioisótopos e orientou trabalhos de biologia. As palestras de Hevesy abordaram os temas da história da radioatividade e suas aplicações, o emprego dos radioisótopos na agricultura, o

efeito bioquímico das radiações ionizantes e o metabolismo do ferro no organismo animal. O interessante é que, sua conferência sobre radioisótopos na agricultura foi proferida na ESALQ, num período no qual Eurípedes Malavolta, pioneiro na instituição, estava iniciando seus trabalhos com esses objetos. Assim como Wormal, Hevesy também recebeu o título de Doutor Honoris Causa pela USP (LABORATÓRIO..., 1954, p. 14).

Figura 26: Da esquerda para a direita: Verônica Rapp de Eston, George de Hevesy e Tede Eston.



In: **LABORATÓRIO de Isótopos:** Primeiro lustro de atividades (18 de novembro de 1949 a 31 de dezembro de 1954). Universidade de São Paulo, 1954, p. 14.

Ao longo de seus primeiros anos de existência, o Laboratório de Isótopos se tornou um espaço que, além de acolher importantes pesquisadores do campo dos radioisótopos, recebia e distribuía os próprios radioisótopos. No relatório de atividades de 1954, consta que o Laboratório de Isótopos importava principalmente dos EUA, detalhando os trâmites para se tornar o primeiro e até então único centro receptor e distribuidor de radioisótopos no Brasil. Ainda em 1951, o Laboratório de Isótopos foi oficialmente reconhecido como centro receptor e distribuidor por autoridades brasileiras, estadunidenses e, em 1952, pelos ingleses. O documento explicita também quais eram os radioisótopos que circulavam e para quais instituições eram enviados. Também apresenta uma cronologia da política cambial e as questões alfandegárias envolvendo o material radioativo no Brasil. Pela documentação, é possível ver como o Laboratório de Isótopos ocupava naquele momento uma posição central

para as pesquisas com radioisótopos no Brasil, bem como evidencia a complexidade da burocracia envolvendo a importação e o trabalho com esses objetos.

Por conta de restrições de natureza física, nomeadamente a questão da meia-vida, os radioisótopos não podiam ser mantidos em estoque, de modo que o Laboratório de Isótopos necessitou abrir créditos nos EUA para conseguir importar conforme a demanda. No final de 1953, a importação sofria com mudanças ocorridas na política cambial brasileira, “tornando impossível o envio de pequenas quantias de dinheiro para o exterior, condizentes com a importação de isótopos radioativos para tratamento de câncer” (LABORATÓRIO..., 1954, p. 22). De abril de 1952 a dezembro de 1954, o Laboratório de Isótopos operou um total de 171 carregamentos de radioisótopos. Dentre eles, estavam o fósforo-32, o iodo-131, o zinco-65 – largamente utilizado na ESALQ -, o enxofre-35, o carbono-14, dentre outros. Das instituições que receberam esses radioisótopos, estavam, por exemplo, o Instituto Biológico, a ESALQ, o Serviço Nacional de Câncer do Rio de Janeiro, a Faculdade de Medicina de Porto Alegre (URGS), e centros particulares, além de outros institutos da própria USP.

Além dos problemas com câmbio e com a alfândega, o próprio transporte dos radioisótopos era um desafio. Diferentes estratégias precisaram ser elaboradas para que o trânsito desses objetos pudesse ser feito da forma mais econômica:

Por solicitação feita pelo Laboratório de Isótopos em 1951, o Ministério da Aviação Civil da Inglaterra fez as modificações necessárias nas asas dos aviões da BOAC que voam para a América do Sul, a fim de permitir o transporte de material radioativo nas asas (Wing tip service), sistema esse que já funcionava para a África do Sul e que reduz grandemente o custo do frete e conseqüentemente o preço total dos isótopos. Devido às dificuldades cambiais, não foi possível ainda importar regularmente material radioativo da Inglaterra, entretanto outros países sul-americanos, como o Uruguai, tem se beneficiado deste sistema (LABORATÓRIO..., 1954, p. 28).

Outro ponto interessante de se mencionar é que em 1952 os radioisótopos receberam uma classificação própria na Nomenclatura Brasileira de Mercadorias do Ministério da Fazenda. Foram definidos os radioisótopos como elementos químicos radioativos, seus isótopos e compostos. Em 1954, os radioisótopos ficaram isentos de licença de importação, assim como qualquer objeto e material destinado a instituições educativas, assistenciais ou religiosas, para uso sem fins lucrativos. Tede Eston teve papel importante na obtenção dessas vantagens, tendo atuado em prol da isenção desses objetos em sessões do Conselho Universitário da USP (LABORATÓRIO..., 1954, p. 29). O caminho para se solicitar a importação de radioisótopos através do Laboratório de Isótopos também foi explicitado no próprio relatório da instituição, abordando a existência de catálogos dos principais

fornecedores de isótopos, o trâmite dos pedidos e todo o processo burocrático e logístico desde a solicitação até o despacho final e pagamento de frete. O processo não era nada simples, devido às inúmeras exigências norte-americanas, da AEC, relativas ao emprego dos radioisótopos. Relatórios semestrais eram cobrados pela agência estadunidense, os quais tinham de ser providenciados pelo Laboratório de Isótopos junto a seus destinatários, gerando problemas de incompreensão das suas necessidades:

Em julho de 1954, vários diretores da Comissão de Energia Atômica Norte-Americana [AEC] estiveram em visita ao laboratório de Isótopos, e, inteirando-se das dificuldades burocráticas inerentes a este fato, conseguiram maiores facilidades, sendo o relatório atualmente apenas solicitado em casos especiais (LABORATÓRIO..., 1954, p. 31).

Saindo da esfera da materialidade da circulação dos radioisótopos, outro elemento a ser ressaltado a respeito dos anos iniciais do Laboratório de Isótopos é a presença feminina nos quadros da instituição. Dos dez funcionários citados no relatório de 1954, cinco eram mulheres, incluindo a própria Verônica Rapp de Eston, mas também as químicas Constância Pagano e Lélia Mennuci, a técnica em documentação, Isa Ruiz Cunha, e a auxiliar de administração, Josephina Tuma. Os homens eram Tede Eston, os físicos Philip Smith e Charalambos Denis Stamopoulos, e os auxiliares técnicos Silvio Ferreira dos Santos e Antonio dos Santos. Embora a presença de mulheres em instituições científicas venha sendo ressaltada e explorada cada vez mais pela recente historiografia brasileira (AZEVEDO, FERREIRA e ROSSI, 2020), indicando uma maior ocupação histórica desses espaços pelas cientistas e técnicas, sabe-se que nem sempre essas mulheres ocupavam cargos importantes dentro dos laboratórios e institutos. A figura de Verônica Rapp de Eston codirigindo o Laboratório de Isótopos, é um aspecto relevante da configuração desse espaço de ciência, e a própria presença de outras mulheres cientistas na instituição, como as químicas mencionadas, pode ter a ver com o papel ocupado por Verônica Eston.

No contexto de produção desse primeiro relatório sobre as atividades do Laboratório de Isótopos, de 1954, as instalações da instituição eram compostas de laboratório radioquímico, sala de contagem do material radioativo, laboratório de química, oficina de eletrônica, sala de cirurgia para pequenos animais, biotério para animais em experimentação, escritório, secretaria e um quarto isolado para armazenar material radioativo. Apesar de relativamente estruturado, havia a necessidade de se construir um novo prédio, próprio do Laboratório de Isótopos, que comportasse todos os seus equipamentos e atividades realizadas na instituição. Durante dez anos, o Laboratório de Isótopos funcionou nas mesmas salas

cedidas pelo Departamento de Química Fisiológica da FMUSP.

Em 30 de dezembro de 1955 os estudos preliminares para a construção do prédio foram aprovados pela congregação da FMUSP e, dois anos mais tarde, em 1957, o governador de São Paulo, à época, Jânio Quadros, autorizou a construção. A verba para a construção do prédio foi aprovada por votação na Assembleia Legislativa graças ao deputado Ubirajara Keutenedjiam. O valor liberado seria destinado tanto para a construção do prédio, quanto para a compra de uma bomba de cobalto. Entretanto, devido a mudanças na lei orçamentária, do valor votado em 1955, apenas cerca de um quarto destinou-se à compra da bomba e cerca de 15% para a construção do prédio da bomba. O restante precisou ser destinado a entidades assistenciais de menores de idade e a instalações de varas cíveis do Fórum de São Paulo (MHFM-TEXT-Medicina Nuclear 2, s.d., p. 3). Em 1956, uma nova verba proposta por Ubirajara foi votada, no valor de Cr\$ 15.000.000,00, para a construção do prédio do Laboratório de Isótopos. Após uma série de tentativas de encaminhar o processo, devido a dificuldades para a liberação da nova verba votada, o vice-reitor da USP, Eurípedes Simões de Paula, pressionou Jânio Quadros para a que a verba fosse finalmente repassada. Em 27 de junho de 1957, 50% da verba foi liberada para início imediato da construção do prédio, com o restante previsto para o orçamento de 1958.

Também em 1958, no dia 9 de dezembro, o Conselho Técnico Administrativo (CTA) da FMUSP aprovou a mudança de nome do Laboratório de Isótopos, que passaria a ser chamado de Centro de Medicina Nuclear (CMN). Pouco tempo depois, em 25 de janeiro de 1959, data simbólica para São Paulo por assinalar a fundação da cidade, foi promovido um evento com a presença de personalidades políticas e científicas do Brasil, e de Harry Bruner, diretor da divisão médica da AEC, para inauguração do novo prédio (CENTRO..., 1961, p. 5). De acordo com documentação interna do CMN, o CTA aprovou em junho de 1959 a transformação do cargo de assistente ocupado por Tede Eston em cargo de direção (MHFM-TEXT-Medicina Nuclear 2, s.d., p. 4). Isso não é mencionado em relação a Verônica Eston, apesar do seu lugar ocupado como cientista coordenadora das pesquisas biológicas naquele centro. Devido ao fato de os Eston sempre trabalharem em conjunto, por vezes Verônica Eston não é mencionada, sendo ressaltada sempre a imagem de Tede.

Após a realização de vários cursos de metodologia de isótopos, semelhantes ao primeiro aqui analisado, e o reconhecimento internacional proveniente da AEC e da AIEA, do CMN como instituição modelo, Tede e Verônica Eston criaram, em 1961, a Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN) (MARINHO, 2017). No CMN, foram criados diversos setores e divisões de trabalho, como a divisão de pesquisas biológicas, a divisão de

clínica, o setor de física e higiene da radiação, o setor de eletrônica, além de setores de ensino e administração. Passaram a trabalhar no instituto, de acordo com relatório de atividades de 1961, médicos de várias especialidades, ‘biologistas’, bioquímicos, físicos e engenheiros eletrônicos. Essa diversidade de disciplinas e especialistas tinha como objetivo a exploração dos radioisótopos com foco no tratamento médico, por se tratar de um centro de medicina vinculado a serviços hospitalares (Hospital das Clínicas e outros hospitais anexos à FMUSP), mas também o desenvolvimento de agendas de pesquisas básicas, em especial no âmbito da bioquímica (CENTRO..., 1961).

Em relação às atividades de pesquisa desenvolvidas no CMN, para além de agendas de pesquisa mais consolidadas, o significado dos radioisótopos, suas práticas e a ideia de exploração total dessa ferramenta tecnológica, pode ser visualizada a partir do balanço feito pelo CMN:

A orientação da direção do antigo Laboratório de Isótopos, que ainda permanece no novo Centro, é a de dar a todos os cientistas realmente interessados a possibilidade de utilizarem este novo método de pesquisa. Desta maneira, muitas pesquisas são feitas por cientistas de outros departamentos que recebem a orientação da equipe científica do Centro e aqui encontram as facilidades de equipamento, técnicos especializados, bibliografia, etc. (CENTRO..., 1961, p. 8).

Essa orientação vincula-se às propostas de cursos de metodologia de radioisótopos e às práticas mais exploratórias que podem ser identificadas nesse período inicial de penetração das técnicas nucleares nas ciências no Brasil, tanto na agronomia, na medicina nuclear, bioquímica, quanto na radio e fotobiologia. Entretanto, cabe aqui ressaltar a forma como o Centro de Medicina Nuclear buscou se estruturar, nacional e internacionalmente, como a principal referência em radioisótopos, um centro de excelência incontornável. Em 1962, ano de um novo relatório de atividades compreendendo os anos de 1955 a 1962, é interessante observar como a história do CMN estava sendo contada pela própria instituição, buscando se diferenciar até mesmo da imagem anterior do Laboratório de Isótopos, ainda que não negasse sua continuidade:

Sentimos um justo orgulho, e, mais que orgulho, uma alegria profunda de poder dizer a São Paulo e ao Brasil que a obra, pequena e humilde em seus primórdios, atingiu um grau de desenvolvimento muito superior às nossas previsões. Muito pouco se parece com o antigo Laboratório o atual Centro de Medicina Nuclear [...] Toda a grandeza se constrói de pequenas coisas, do conjunto de diuturnos sacrifícios, da vontade sempre renovada de vencer (CENTRO..., 1962, p. 5).

Os objetivos do Centro de Medicina Nuclear em 1962, eram, entretanto, praticamente

aqueles mesmos elencados no início do Laboratório de Isótopos. O setor de ensino, com os cursos de metodologia, aperfeiçoamento, especialização e pós-graduação em medicina nuclear, parece ter se desenvolvido com maior relevo. Na apresentação geral do relatório de 1962, por exemplo, ensino e pesquisa compõem um único tópico, o de Divisão de Ensino e Pesquisas Biológicas, descrito antes mesmo do tópico sobre a Divisão de Clínica. No relatório publicado em 1961, já citado neste capítulo, essas divisões estão separadas. Apesar do detalhe sutil, esses elementos podem indicar um protagonismo do setor de ensino na instituição:

No desempenho desta missão didática, o Centro de Medicina Nuclear elaborou e ministra anualmente, uma série de cursos de Metodologia de Radioisótopos, pós-graduação em Medicina Nuclear e Especialização em Medicina Nuclear, além de vários outros de menor duração, ministrados a pedido de outras entidades, como: Força Aérea Brasileira, Escola de Enfermagem de São Paulo e Faculdades de Medicina de outros Estados (CENTRO..., 1962, p. 7).

Sendo esse centro irradiador de conhecimento e formação em técnicas nucleares voltadas à biologia, o CMN possuía a melhor e mais atualizada biblioteca especializada no tema da América Latina, de acordo com a AIEA. Já com relação às pesquisas biológicas, o relatório explicitava que o centro vinha conseguindo “manter o mais alto padrão técnico-científico, colocando a obra em pé de igualdade com os mais famosos institutos congêneres de todo o mundo” (CENTRO..., 1962, p. 7). Por sua vez, a Divisão de Clínica contava com a presença de técnicos formados ali mesmo, e detinha aparelhos de instrumentação eletrônica especializada para os trabalhos de medicina nuclear, como a “isotopoterapia” e “isotopodiagnose”. Desde a criação do prédio próprio do CMN, em 1959, todos os doentes que eram atendidos no Hospital de Clínicas (HC) passaram a ser recebidos na divisão clínica do centro para a realização de diagnósticos e tratamentos com radioisótopos. Além do HC, em 1960, o CMN iniciou uma estreita colaboração com a Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. As colaborações, entretanto, não se davam apenas na esfera clínica, mas também de pesquisa e ensino, como desde o início do Laboratório de Isótopos, em 1949.

Intercâmbios eram constantes com todos os departamentos da FMUSP, da FFCL-USP, da ESALQ, além da Escola Paulista de Medicina, Instituto Adolfo Lutz e outras instituições pelo Brasil. Se no relatório de 1954 já era alta a demanda relatada por auxílio do Laboratório de Isótopos na construção e estruturação de outros centros de pesquisa isotópica, a demanda havia aumentado. O texto de 1962 ressalta a atuação do CMN no apoio a outras instituições, como o auxílio dado por Tede Eston em 1956 à instalação de um centro de pesquisas e ensino de radioisótopos no Departamento de Física do Colégio Universitário de Achimota, em Costa

do Ouro, na África. É citado também o trabalho de Eurípedes Malavolta com o metabolismo de plantas, já analisado neste capítulo, que só pode ser realizado e apresentado em 1959 em Buenos Aires devido ao apoio do CMN cedendo equipamentos para seus experimentos na ESALQ. Outros exemplos de colaboração são ainda citados, como a visita à Salvador, Bahia, de Lieselotte Genter, técnica-chefe da Divisão Clínica do CMN, para orientação na instalação do Laboratório de Isótopos do Hospital Santa Isabel. O CMN também cooperou na organização do Laboratório de Isótopos do Instituto de Cardiologia da Secretaria da Saúde do Estado da Guanabara, em 1960, e em 1961 na instalação do Laboratório de Radioisótopos da Santa Casa de Santos (CENTRO..., 1962, p. 57).

Para além das atividades regulares do CMN, Tede e Verônica Eston estiveram presentes no espaço público como especialistas em medicina nuclear. Entre 1956 e 1961, o casal concedeu entrevistas a programas de diferentes mídias. Em 5 de fevereiro de 1956, Tede Eston falou sobre as aplicações dos radioisótopos no programa ‘Revista Mundial’, do canal 3 e, em 9 de março do mesmo ano, participou do programa ‘Entrevistas Médicas’, da Rádio Gazeta, falando sobre radioisótopos na medicina. Em 18 de abril de 1959, Tede Eston participou do programa “Tête à tête”, da apresentadora Cacilda Lanuza, apresentando o CMN ao grande público. Por sua vez, Verônica Rapp de Eston também deu entrevistas sobre radioisótopos e o CMN, assim como Tede Eston, porém, sua participação ficou restrita a programas voltados ao público feminino. Em 2 de dezembro de 1959, a cientista participou do programa “Clube do Lar”, de Marina do Valle, no canal 5, e em 5 de maio de 1961 esteve na TV Cultura, falando sobre as atividades do CMN no programa “Vinte e Quatro Horas na Vida de uma Mulher”, apresentado por David Neto e Maria Cecília (CENTRO..., 1962, p. 79). A medicina nuclear era divulgada pelo casal, como um dos objetivos institucionais do CMN, promovendo reuniões e congressos organizadas pelo centro sobre o tema.

No início da década de 1960, surgiu uma proposta para transformar e estruturar o Centro de Medicina Nuclear em Instituto de Biologia e Medicina Nuclear. Inicialmente, a ideia foi emitida por um parecer do professor Dirceu Lino de Mattos, em 1º de janeiro de 1963, enviado às congregações da FMUSP e FFCL-USP. Em 8 de março de 1963, o projeto foi aprovado por unanimidade pela congregação da FMUSP e, em 3 de maio, também foi aprovado pela FFCL-USP, mas uma comissão foi criada para estudar a transformação do CMN em instituto independente. Em ofício enviado a Luís Antônio da Gama e Silva, reitor da USP de 1963 a 1967, pelo biólogo Paulo Sawaya, diretor do Instituto de Biologia Marinha (hoje Cebimar) e um dos articuladores da criação do Laboratório de Isótopos, a história do CMN até ali e seu papel em várias frentes eram enaltecidas para justificar a necessidade de

estruturá-lo como instituto:

Nestes 15 anos, mantiveram sempre a mesma diretriz, a de servir a toda a Universidade e seu passado é uma prova incontestável do que realizaram nesse sentido. Ainda há pouco, a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras solicitou que os cursos ministrados por essa Instituição sirvam como cursos optativos para aqueles que seguirão a carreira de biólogo ou de naturalista (SAWAYA, MHFM-TEXT-Medicina Nuclear 2, s.d., p. 5).

A pressão feita por Sawaya ao reitor da USP, em decorrência das tentativas infrutíferas de estruturar em definitivo o CMN em instituto, envolvia a preocupação pela própria manutenção do CMN, que naquele momento estava tendo “a absorção do seu orçamento pelo da Faculdade de Medicina, apesar da solicitação em contrário feita pelo seu digno Diretor, Prof. Dr. João Alves Meira” (SAWAYA, MHFM-TEXT-Medicina Nuclear 2, s.d., p. 5). Nesse sentido, Paulo Sawaya pedia ao reitor que reconsiderasse a sua decisão “ao indeferir o destaque das verbas desse Instituto”. Através da análise da documentação dos regimentos internos do CMN das décadas de 1960 e 1970, é possível perceber que o CMN não se tornou Instituto de Biologia e Medicina Nuclear. No artigo 5º do regimento interno do CMN de 1975, o Centro de Medicina Nuclear é considerado Instituto de Pesquisa do Estado pela Lei nº 5.918, de 18 de outubro de 1960, e Centro Complementar do Departamento de Radiologia e Radioterapia. Ou seja, ao invés de se tornar Instituto de Biologia e Medicina Nuclear, como almejavam os cientistas ligados ao centro na década de 1960, o CMN avançou as décadas seguintes como um complemento do departamento de radiologia, e historicamente constituiu-se dessa forma, sendo em 2001 integrado ao Instituto de Radiologia do HC-FMUSP.

O CMN foi, desse modo, agregado de vez aos departamentos da FMUSP. Esse desenvolvimento histórico pode estar relacionado ao que já tratei nesta tese, ou seja, um movimento maior que envolve a história dos radioisótopos e da energia nuclear, de um contexto de amplo incentivo e disseminação para um contexto de arrefecimento e incorporação infra estrutural desses elementos nas ciências biológicas. Apesar disso, é importante ressaltar outros aspectos dessa história, como o fato de, na década de 1960, a USP ter como reitor um jurista que atuava para a manutenção do golpe militar. Luís Antônio da Gama e Silva, que, como já dito acima, foi reitor da USP de 1963 a 1967, era um importante braço da ditadura militar na universidade. O jurista foi um dos principais responsáveis pela redação do Ato Institucional nº 5, emitido em 13 de dezembro de 1968, pelo presidente Artur da Costa e Silva, que resultou na perda de mandatos de parlamentares contrários ao governo militar, além de outras intervenções e violações de direitos humanos. Na USP, apoiou o golpe

de 1964, e foi reeleito como reitor em 1966. Em 1967, afastou-se para se tornar Ministro da Justiça do governo Costa e Silva. Após a deposição de João Goulart do governo, em 1964, foi instaurado na FMUSP um Inquérito Policial Militar (IPM), com o objetivo de identificar indivíduos e atividades contrárias ao governo militar golpista. De acordo com Mônica Teixeira (2018), ao menos três IPMs foram instaurados na USP toda, mas o da FMUSP acabou por ter efeitos jurídicos que culminaram na demissão de sete professores de diferentes departamentos. Foram eles: Erney Camargo, Luiz Hildebrando Pereira da Silva, Thomas Maack, Luiz Rey, Pedro Henrique Saldanha, Julio Pudles, Reynaldo Chiaverini (TEIXEIRA, 2018).

Ainda segundo dissertação de Teixeira (2018), o IPM instaurado na FMUSP indica uma espécie de interesses em convergência, oriundos da doutrina que norteava o governo militar, e daqueles que comandavam a USP e estariam evitando mudanças. Ao desconsiderar a demanda do CMN por modificar sua estrutura para Instituto de Biologia e Medicina Nuclear, Luís Antônio da Gama e Silva evita maiores transformações naquele centro ligado à FMUSP, que já estava sendo ‘investigada’ pelo IPM. Mais uma vez, tal como na interrupção das atividades do CENA na ESALQ por conta da eclosão do golpe militar em 1964, tem-se modificações e dificuldades significativas na constituição de agendas de pesquisas com radioisótopos durante a ditadura militar. Esse é, com certeza, um dos elementos-chave para se pensar no fazer científico no Brasil da década de 1960, marcado pela penetração ainda recente dos radioisótopos na pesquisa científica, e duramente afetado pela ascensão dos militares ao governo. Não se pode, entretanto, como já discutido neste capítulo, e como indica Olival Freire Jr (2007), entender essas interferências como algo totalizante, pois, se seguirmos os radioisótopos, veremos que eles sobreviveram até mesmo aos contextos mais autoritários, não sendo a diminuição das suas aplicações algo que deva ser atribuído exclusivamente a um único fator, como uma demanda política específica.

O último relatório completo de atividades encontrado nesta pesquisa, ainda nos moldes dos primeiros, foi o referente ao ano de 1969, quando o CMN completou 20 anos de existência. O grupo que compunha o CMN ainda era o mesmo desde o início da década de 1960. Tede Eston era o diretor, e coordenava estudos em radiobiologia. Verônica Rapp de Eston era coordenadora de Ensino e Pesquisas Biológicas. Nelson Carvalho, um dos pioneiros na aplicação clínica de radioisótopos, ainda chefiava a Divisão de Clínica. Thomaz Bitelli coordenava o setor de Física e Higiene das Radiações. As partes administrativa e de planejamento e execução de assuntos econômicos eram comandadas por Antônio Ivo Pezzotti e Paulo Alex e Sousa, respectivamente (CENTRO..., 1969). Apesar dos entraves ocasionados

pela ditadura militar, o CMN ainda buscava manter sua imagem de centro reconhecido internacionalmente. Nas primeiras páginas de seu relatório de 1969, trazia epígrafes de Harry Bruner, da AEC, e Godofredo Gomez Crespo, da AIEA, enaltecendo a excelência e o pioneirismo da instituição. Após 20 anos de existência, um balanço das atividades e realizações do CMN era exposto, com foco para sua função formativa:

Desde o início das suas atividades, o CMN vem se empenhando intensivamente em divulgar as técnicas especializadas de trabalho, por meio de cursos anuais de pós-graduação ministrados desde 1953, inicialmente sob os auspícios da UNESCO, tendo já realizado 11 Cursos Internacionais de Metodologia de Radioisótopos, 8 Cursos de Especialização em Medicina Nuclear, 7 Cursos de Medicina Nuclear, 6 Cursos de Aplicações dos Radioisótopos em Pesquisas Biológicas, 7 Cursos de Higiene das Radiações e Proteção Radiológica, 3 Cursos de Efeitos Biológicos das Radiações, além de muitos outros cursos mais esparsos. Esses cursos foram considerados pela Agência Internacional de Energia Atômica, organismo internacional com sede em Viena, e pela Comissão de Energia Atômica dos EUA, como sendo do mais elevado nível, servindo mesmo de modelo a cursos semelhantes organizados por estas entidades. Cerca de 500 cientistas brasileiros e de todos os países de língua portuguesa e espanhola, não só da América Latina, como também da Europa, receberam o seu treinamento especializado neste Centro, muitos ocupando hoje, posições de chefia em Institutos Universitários, Hospitais e Laboratórios das Comissões de Energia Atômica dos diversos países (CENTRO..., 1969, p. 2).

Para além dos inúmeros cursos, outros feitos interessantes foram citados no balanço de 20 anos do CMN, como a organização, em 1968, da primeira Unidade de Telecobaltoterapia¹¹⁸ da América do Sul, num edifício anexo ao HC da FMUSP. No ano seguinte, iniciou-se na instituição o preparo de radiofármacos. No total, 180 trabalhos foram publicados pelos pesquisadores do CMN, considerando artigos, teses de doutoramento, docência e cátedra, e mais de 200 comunicações de pesquisa em congressos nacionais e internacionais. Embora não tenha sido possível explorar outros nomes importantes ligado às pesquisas com radioisótopos, e à medicina nuclear na USP, cabe citar aqui, brevemente, os nomes de Nelson Carvalho, Edwaldo Camargo, Alipio Luiz Dias Neto e Carlos Alberto Buchpiguel, que também foram todos diretores do CMN após Tede Eston deixar o posto¹¹⁹.

O objetivo deste subtópico foi elucidar alguns dos caminhos pelos quais passou o Centro de Medicina Nuclear, desde a sua formação enquanto Laboratório de Isótopos em 1949. Busquei apresentar de forma sucinta um pouco da história desse centro e de alguns dos

¹¹⁸ Modalidade de radioterapia na qual a radiação emitida pelo radioisótopo cobalto-60 é utilizada através de um aparelho de Telecobaltoterapia para tratar células tumorais.

¹¹⁹ Nelson Carvalho dirigiu o CMN de 1976 a 1982, seguido de Edwaldo Camargo, de 1982 a 1988, Alipio Luiz Dias Neto, de 1988 a 1995, e Carlos Buchpiguel a partir de 1995.

elementos que o constituíram. Existe uma relação estreita entre os radioisótopos, como ferramentas e novas oportunidades da pesquisa científica no imediato pós-guerra, as agências internacionais e multilaterais e os seus interesses políticos em relação ao Brasil e à América Latina, e a constituição de novas áreas do conhecimento biológico e médico. Esses agenciamentos recíprocos serão esmiuçados no tópico a seguir, no qual elucidarei, a partir das pesquisas e outras atividades especializadas ocorridas no CMN, como os radioisótopos fizeram emergir novos sistemas experimentais na medicina.

2.2.2 Pesquisas com radioisótopos no CMN: sistemas experimentais na medicina nuclear

Farei agora uma análise acerca da natureza das pesquisas realizadas na divisão de pesquisas biológicas do CMN, assim como explorarei os trabalhos de ordem clínica. Por fim, trarei à análise algumas publicações específicas dos fundadores do CMN, Tede e Verônica Eston. Meu objetivo aqui é apresentar o papel dos radioisótopos nas práticas e estudos do CMN, num nível estrutural e epistemológico, corroborando o que já foi exposto anteriormente.

Indicando o foco nos cursos de metodologia, não era grande a quantidade de trabalhos de pesquisa mencionados no Laboratório de Isótopos até 1954. No relatório de 1954, apenas sete trabalhos eram listados como publicados ou no prelo, e mais um trabalho, sobre o estudo da função do sistema retículo-endotelial através de coloides radioativos estava em andamento. Dos sete trabalhos citados, apenas um se tratava de uma publicação científica em periódico internacional, aceita para publicação no ano seguinte. A maioria dos trabalhos tratava-se de apresentações em associações de medicina ou em congressos acadêmicos, que foram publicadas posteriormente em revistas como a *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, a *Clínico-Científica* e a *Revista da Associação Médica Brasileira*.

O tema prevalente das pesquisas era o estudo do volume sanguíneo ou globular através da aplicação de radioisótopos. Em um dos trabalhos, por exemplo, o fósforo radioativo era usado para determinar o sangue circulante. Em outro, buscava-se determinar o volume sanguíneo na forma hepato-esplênica da esquistossomose. Do mesmo modo, o emprego clínico de radioisótopos como o fósforo radioativo era discutido no caso de ensaios terapêuticos sobre hemopatias. O iodo radioativo também foi um dos radioisótopos utilizados para marcar o soro albumina, num estudo que comparava o radioiodo e o radiofósforo para determinação dos volumes de sangue circulante no ser humano. Esses primeiros trabalhos demonstram como os radioisótopos integraram inicialmente as agendas de pesquisa da

medicina nuclear e da bioquímica produzida naquele laboratório. Formavam-se, assim, sistemas experimentais que tinham como objeto científico o funcionamento da circulação do sangue no corpo humano, em condições fisiologicamente normais e em condições patológicas. Esses sistemas experimentais eram constituídos, além disso, por radioisótopos, que, como objetos tecnológicos, participavam da dinâmica desse conhecimento. Qual seria o melhor radioisótopo para marcar o sangue ou o soro albumina? Como utilizar radioisótopos para determinar a volemia em casos de esquistossomose? A própria presença de patologias como a esquistossomose, formava sistemas experimentais indicativos de um esforço de utilizar aqueles novos elementos, os radioisótopos, na resolução de problemas de saúde pública que grassavam no Brasil.

Além da volemia, os estudos com as chamadas necroses hepáticas difusas utilizaram as novas técnicas da pesquisa biomédica. Em trabalho apresentado à Academia Nacional de Medicina propunha-se a aplicação de técnicas de eletroforese e cromatografia no estudo dessas necroses. Em outro trabalho sobre o tema, publicado no periódico *Gastroenterology* em 1955, buscou-se determinar a excreção urinária de aminoácidos em pacientes com necrose hepática difusa, a partir da técnica de cromatografia unidimensional em papel. Apesar de esses trabalhos não utilizarem radioisótopos, são interessantes por constituírem sistemas experimentais conformados no Laboratório de Isótopos naquele contexto, em parceria com o Departamento de Metabolismo do HC-FMUSP. Nesse caso, os estudos tinham como objetivo determinar a quantidade e natureza da excreção de aminoácidos pela urina de pacientes com uma patologia específica. Outros elementos desse sistema experimental eram: a técnica de cromatografia em papel, os cromatogramas criados, os aminoácidos, a patologia em evolução e os próprios pacientes. “Oito pacientes com necrose hepática difusa foram acompanhados durante a evolução fatal da doença” (RAPP de ESTON et al, 1955, p. 71).

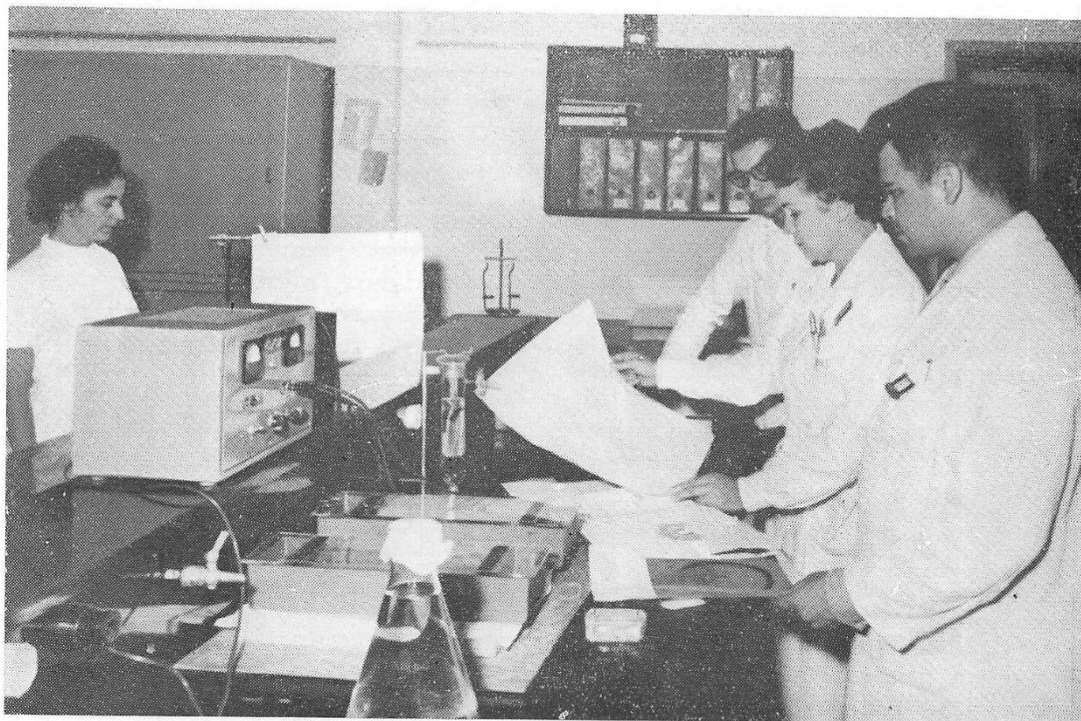
Além dos sete trabalhos publicados, outro tópico do relatório, intitulado “Problemas de Pesquisa, Diagnóstico e Terapêutica em que foram utilizados os Isótopos” apresentava outros temas que, provavelmente, vinham sendo trabalhados no laboratório, mas não foram objeto de conferências ou publicações. Além dos temas já analisados, eram listados também: a) o preparo de proteínas marcadas com radioisótopos; b) indução de insuficiência tireoidiana pela irradiação e estudos metabólicos; c) atividade funcional da tireoide; d) estudos de fermentação com bactérias irradiadas; e) absorção e distribuição de enxofre, fósforo e zinco em plantas; f) calibração de instrumentos. É provável que a pesquisa sobre plantas se refira à cooperação com os estudos que estavam sendo iniciados na ESALQ por Eurípedes Malavolta.

Para diagnóstico, os radioisótopos estavam sendo ferramentas úteis não só na

determinação da volemia, glóbulos e plasma, mas também na determinação da função da tireoide e na localização de metástases de câncer nessa glândula. Além disso, uma série de doenças entraram na cartela de possibilidades de aplicação de radioisótopos na terapêutica. Leucemia mieloide crônica, leucemia linfática crônica, mieloma múltiplo, linfossarcoma, moléstia de Hodgkin, policitemia vera, reticulosarcoma, metástases cutâneas de carcinoma de mama, hipertireoidismo, carcinoma da tireoide e suas metástases, insuficiência cardíaca grave ou hipotireoidismo terapêutico (LABORATÓRIO..., 1954, p. 24-26). Essas eram as condições patológicas, que, naquele momento, faziam parte dos sistemas experimentais que os radioisótopos constituíam na nascente medicina nuclear brasileira.

No relatório referente às atividades do CMN de 1949 a 1961, as informações sobre as pesquisas com radioisótopos na biologia dimensionam o estado da arte do campo no início da década de 1960. As pesquisas da Divisão de Pesquisas Biológicas, ligadas mais diretamente às atividades de ‘pesquisa básica’, como o próprio documento pontua, eram coordenadas pela médica e diretora do centro Verônica Rapp de Eston, que trabalhava numa equipe com o bioquímico Klaus Zinner e mais dois técnicos já especializados. Pela composição do grupo, fica clara a intersecção entre medicina e bioquímica. A Divisão subdividia suas pesquisas em diferentes laboratórios, tais como o de bioquímica, o de radiobioquímica, o de autorradiografia, experimentação animal e as salas de radiometria. Dos trabalhos listados pelo relatório do CMN, alguns eram feitos em colaboração com assistentes das clínicas pediátrica, neurológica e psiquiátrica da FMUSP, além do serviço de endocrinologia da Escola Paulista de Medicina, e envolviam os seguintes temas especializados: 1) controle por métodos químicos, cromatografia e eletroforese, de compostos marcados; 2) marcação de diversos compostos, principalmente com iodo-131; 3) difusão em ágar e microeletroforese em ágar com substâncias marcadas; 4) microanálise de toque com substâncias marcadas; 5) pesquisa de hormônios da tireoide no plasma de humanos; 6) pesquisa sobre o mecanismo de ação da clorpromazina por meio desta substância marcada com S^{35} (enxofre); 7) estudos de câncer em relação com o sistema retículo endotelial e a ação das radiações; 8) estudo dos aminoácidos livres e ligados nos vários líquidos biológicos em diferentes grupos etários (CENTRO..., 1961, p. 9).

Figura 27: Na foto, Verônica Rapp de Eston se encontra entre seus dois assistentes. Divisão de Pesquisas Biológicas do CMN.

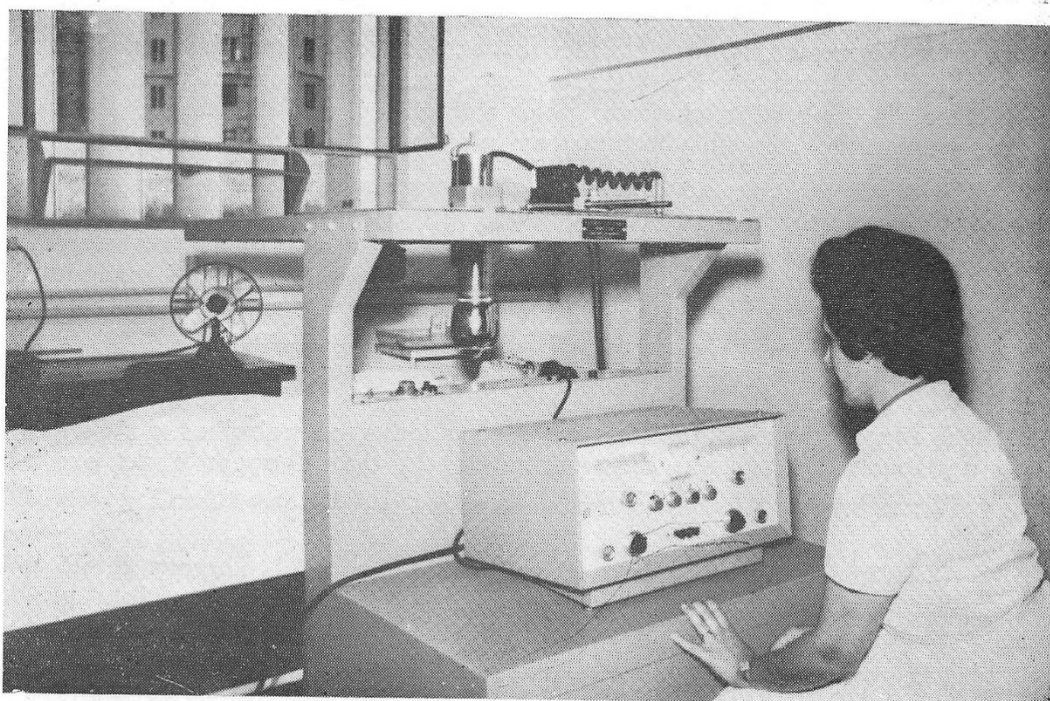
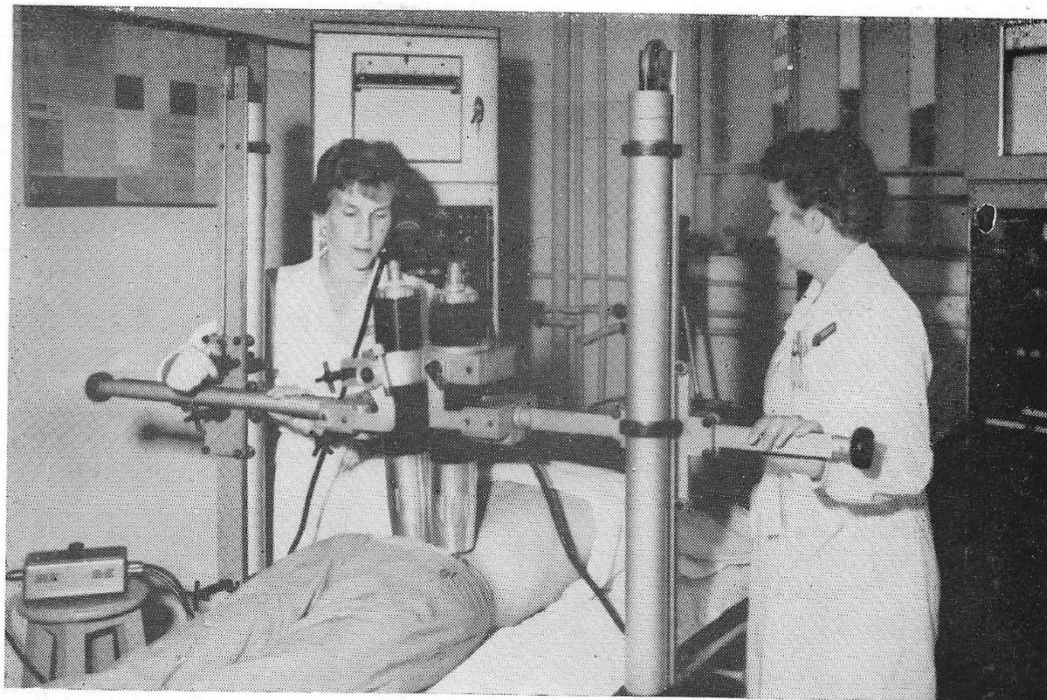


Divisão de Pesquisas Biológicas

In: **CENTRO de Medicina Nuclear:** primeiros doze anos de atividades (1949-1961). Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1961. p. 9.

Já a Divisão de Clínica era dirigida pelo médico radioterapeuta e “isotopista” Nelson Carvalho, que contava com um médico assistente, Imre Szmuk, o físico Alípio Luiz Dias Neto e mais nove técnicos especializados, incluindo ampla presença feminina. Esse setor colaborava ativamente com inúmeros hospitais de São Paulo, ao mesmo tempo em que desenvolvia técnicas de “isotopodiagnose” e “isotopoteraia”. Pela incorporação do termo isótopo e a criação de novos termos especializados como os mencionados aqui, fica nítido o objetivo desse setor, qual seja, a consolidação das técnicas de radioisótopos nas operações médicas clínicas de diagnóstico e terapêutica. Com os radioisótopos, realizavam-se provas de função tireóidea, renal e hepática, digestão e absorção de gorduras, determinação do volume sanguíneo do corpo, “isotopocardiografia”, cálculo do rendimento cardíaco, além de localização de tumores cerebrais e outras metástases, placentografia e estudos hematológicos (CENTRO..., 1961, p. 10). Os radioisótopos eram também utilizados para tratamento de doenças como o hipertireoidismo, o câncer da tireoide e outras doenças do sangue e do cérebro. O CMN registrou, em seu documento de 1961, a realização de quase oito mil provas funcionais utilizando radioisótopos apenas no ano de 1960.

Figura 28: Além dos modernos e grandes aparelhos que simbolizavam a novidade da medicina nuclear desenvolvida naquele espaço, as fotos registram a presença de técnicas mulheres nas atividades da Divisão de Clínica do CMN, não sendo algo exclusivo dessa divisão.



Divisão Clínica

São Paulo, Universidade de São Paulo, 1961, p. 11.

No documento do ano seguinte, que compreendia as atividades realizadas no CMN de 1955 a 1962, 35 trabalhos científicos foram listados como produção do centro. A lista inclui até mesmo o ‘primeiro lustro de atividades’, documento publicado em 1954 sobre a história, as atividades e o funcionamento do Laboratório de Isótopos. O primeiro artigo mencionado dessa lista é o estudo publicado em 1955 na *Gastroenterology* sobre aminoácidos excretados pela urina em casos de necrose hepática difusa (RAPP DE ESTON et al, 1955), analisado acima neste mesmo texto. Outros 31 trabalhos são listados como pesquisas apresentadas em congressos e reuniões científicas, de 1959 a 1962, e mais 4 trabalhos são registrados como enviados para publicação, envolvendo temas diversos, de acidentes nucleares na infância até radioisótopos na dermatologia (CENTRO..., 1962, p. 39). Em 1961, três projetos de pesquisas principais estavam sendo desenvolvidos pelo setor de biologia e bioquímica. Em primeiro lugar, radioisótopos de iodo-131 estavam sendo utilizados como marcadores em compostos como a albumina humana, o rosa bengala e o ácido oleico. O estudo dos efeitos de quimioterápicos em organismos inferiores com o objetivo de se conhecer de forma mais aprofundada a ação dessas drogas químicas era outro projeto. O terceiro projeto de pesquisa fazia parte de um projeto mais amplo do CMN, e envolvia o estudo do sistema retículo endotelial, que já era estudado ali, porém dessa vez em animais normais e em animais com tumores transplantados (CENTRO..., 1962, p. 43). Em paralelo a esses projetos, também em 1961 foi criada a primeira farmácia radioativa no CMN, para a produção de radiofármacos relacionados aos temas estudados naquele centro.

Para termos um comparativo, no ano seguinte, em 1962, havia cinco projetos de pesquisa de biologia e bioquímica. Estudava-se o sistema retículo endotelial em animais com tumor transplantado e sob ação de radiação ionizante, da mesma forma em que os compostos marcados com iodo-131 ainda eram preparados. Relacionado a isso, entretanto, desenvolveram pesquisas com as frações da rosa bengala, por métodos de eletroforese e análises fisiológicas. A expertise desenvolvida pelo grupo no estudo de aminoácidos propiciou, em 1962, a colaboração com a Clínica Pediátrica da Escola Paulista de Medicina, estudando a excreta de lactantes normais e com afecções, e a colaboração com a Clínica Neurológica da FMUSP, estudando aminoácidos do líquido cefalorraquiano em doenças neurológicas.

Retornando à Divisão de Clínica do CMN, é interessante destacar que a pesquisa clínica e a aplicação de radioisótopos em diagnóstico e terapia requeriam a colaboração com

uma série de especialidades, professores e hospitais. Alguns dos médicos colaboradores da divisão clínica do CMN eram, para citar alguns exemplos, Wanderley Nogueira da Silva, Matheus Papaléo Neto e Reynaldo Chiaverini, este último um dos perseguidos e demitidos pelo IPM instaurado na FMUSP em 1964 (TEIXEIRA, 2018), pouco tempo depois da data do documento aqui analisado. Os doentes e, muitas vezes, ‘sujeitos experimentais’ das pesquisas, eram encaminhados do HC-FMUSP e da Santa Casa de Misericórdia. O início do trabalho com radioisótopos na rotina clínica foi em 1954, numa sala cedida pelo setor de radioterapia do HC, e os trabalhos de medicina nuclear eram feitos até janeiro de 1959 no mesmo local, mudando para o espaço próprio do CMN quando da inauguração de seu novo prédio (CENTRO..., 1962, p. 49).

Tabela 1: Número de pacientes, diagnósticos, testes, tratamentos e radioisótopos utilizados no CMN, 1955-1957

Ano	Número de pacientes	Radioisótopos e suas finalidades
1955	700	<p>Iodo-131 (360 casos): Testes de função da tireoide; fixação total e excreção urinária; localização de metástases ósseas de câncer da tireoide; insuficiência cardíaca.</p> <p>Fósforo-32 (209 casos): volemia; tratamento de linfomas, leucemias, policitemia, metástases ósseas de câncer mamário, psoríases generalizadas.</p> <p>Soroalbumina humana radioativa (82 casos).</p> <p>Diiodofluoresceína (49 casos): diagnóstico e localização de tumores encefálicos, medulares e hepáticos.</p>
1956	1.792	<p>Iodo-131 (1.128 casos): Testes da função da tireoide; fixação total da tireoide, excreção urinária e salivar; iodo plasmático total e iodo proteico; tratamento do hipertireoidismo; câncer da tireoide; metástases ósseas de câncer da tireoide; insuficiência cardíaca.</p> <p>Fósforo-32 (311 casos): determinação do volume sanguíneo; tratamento de linfomas, leucemias, metástases ósseas de câncer mamário.</p> <p>Soroalbumina humana radioativa (167 casos).</p> <p>Diiodofluoresceína (48 casos): diagnóstico e localização de tumores encefálicos, medulares, hepáticos e da bexiga.</p> <p>Ouro-198 (Au) (120 casos): tratamento de tumores da boca, metástases cervicais de nódulos linfáticos, carcinomatose pleural e peritoneal; leucemias.</p>

		Fosfato crômico coloidal (³²P) (18 casos): tratamento de epitelomas; hipofisectomia por infiltração direta.
1957	1.319	Iodo-131 (579 casos): testes de função tireoidiana; tratamento de hipertireoidismo; tratamento de insuficiência cardíaca; tratamento de angina péctoris; mapa da tireoide; tratamento de carcinoma da tireoide. Albumina sérica humana radioiodada (RISA-¹³¹I) (83 casos): diagnóstico de tumores cerebrais; volemia; radiocardiografia. Fósforo-32 (24 casos): metástases ósseas de carcinoma da mama; linfogranulomatose maligna; mieloma; leucemia; esclerodermia; eritrodermia.

Fonte: *CENTRO de Medicina Nuclear*. Relatório de Atividades – Período de 1955 a 1962. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1962, p. 49-51.

Na Tabela 1, apresentada acima, é possível ver a quantidade de pacientes atendidos e os radioisótopos utilizados para cada finalidade específica durante os três primeiros anos de atividade clínica registrada. É evidente a prevalência do radioiodo e do radiofósforo nos testes, diagnósticos e tratamentos de doenças, mas a menção a outros radioisótopos, como o ouro-198, para tratamento de tumores bucais, ou o RISA-¹³¹I, para diagnóstico de tumores cerebrais, indica que a cada ano diversificava-se o trabalho com os radioisótopos na clínica. Existem dados para os anos de 1958 a 1962, porém não foram inseridos na Tabela 1 devido à inexistência da especificação acerca dos radioisótopos que estavam sendo utilizados para cada caso de diagnóstico, teste ou tratamento. Entretanto, 9.029 pacientes foram atendidos de 1958 a 1962, com a inclusão, ao longo dos anos, de novas técnicas e testes, como a radiocardiografia, a ‘isótopo-encefalometria’, a determinação da função de órgãos, a contagem da vitamina B¹², dentre outros. Além disso, apesar de não estarem contabilizados dentro dos diagnósticos, testes e tratamentos, uma série de outros temas de ordem clínica eram pesquisados, com uma diversidade ainda maior de radioisótopos e doenças.

Nesses estudos clínicos, bioquímica e medicina nuclear, pesquisa básica e pesquisa aplicada, eram elementos que se misturavam nas experimentações. O estudo da determinação do espaço albumina (proteína que controla os níveis de líquidos nos vasos sanguíneos) e do fenômeno turnover (renovação de proteínas) em pacientes com cirrose e nefrose, são exemplos possíveis de sistemas experimentais na medicina nuclear e na bioquímica. Do mesmo modo, pesquisava-se, por exemplo, em 1956, o metabolismo do fósforo em doenças ósseas metabólicas, juntando a utilização de radioisótopos como traçadores de um circuito bioquímico com o estudo de condições patológicas diversas. As pesquisas clínicas, feitas no espaço hospitalar, também tinham, nesse sentido, um recorte geográfico, como no caso da

determinação dos índices normais de captação de radioiodo pela glândula tireoide “para a população de São Paulo” (CENTRO..., 1962, p. 52).

Uma outra configuração de pesquisa interessante, ou sistema experimental, refere-se aos estudos de ‘radioisotopia’ aplicada à neurologia. Iniciados em 1961, esses estudos envolveram uma colaboração de alguns anos entre o CMN e o Departamento de Neurologia da FMUSP. Em 1961, uma primeira publicação na *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* buscava entender a absorção da vitamina B¹² radioativa nas mieloses funiculares (doença neurodegenerativa), estudando a absorção da chamada ‘radiocianocobalamina’ em 16 pacientes (CANELAS, PINTO e SHNAIDER, 1961). O estudo, assinado por Horácio Canelas, da Clínica Neurológica da FMUSP, José Teixeira Pinto, chefe da Seção de Radioisótopos da Clínica Neurológica, e José Shnaider, médico auxiliar da 1ª Clínica Médica e do Laboratório de Radioisótopos, concluía que não existia correlação entre a absorção da vitamina B¹² e a intensidade da sintomatologia neurológica. Esses estudos levaram a outras publicações, como os artigos de Nelson de Carvalho, chefe da Divisão Clínica do CMN, em parceria com Horácio Canelas e Arnaldo Gama da Rocha, do Departamento de Neurologia da FMUSP, apresentados primeiramente no Primeiro Congresso Internacional de Biologia e Medicina Nuclear, ocorrido em São Paulo de 20 a 26 de setembro de 1964. Em 1965, esses médicos pesquisadores publicaram na mesma *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* dois artigos. No primeiro, foi estudado o efeito do hormônio da corticotropina sobre a absorção da vitamina B¹² radioativa na mielose funicular (CANELAS, CARVALHO e ROCHA, 1965a). No segundo artigo, investigou-se o papel da vitamina B¹² radioativa na patogenia da mielose funicular a partir de 29 casos, corroborando a conclusão do artigo de 1961, porém, demonstrando a existência de uma correlação negativa entre a síndrome piramidal, lesão neurológica que acomete o trato piramidal do sistema nervoso central, e a absorção da vitamina (CANELAS, CARVALHO e ROCHA, 1965b).

Em 1966, os mesmos pesquisadores publicaram outro estudo sobre o metabolismo de lipídios na mielose funicular. “Em 10 casos de mielose funicular foram estudadas a absorção, a depuração e a utilização de lipídios radioativos. Em 4 desses casos foram verificadas alterações do metabolismo lipídico”. As alterações estariam ligadas a uma carência de metabólitos “diversos da vitamina B¹² que desempenhariam papel mais importante na preservação dos nervos periféricos” (CANELAS, CARVALHO e ROCHA, 1966, p. 5-6). Esses trabalhos refletem um sistema experimental no qual os radioisótopos atuaram como marcadores de vitaminas, com o objetivo de entender o papel que elas desempenhavam numa complexa doença neurológica de difícil diagnóstico e sintomatologia. Refletem também como

personagens como Nelson Carvalho, o isotopista, especialistas em radioisótopos, se articularam a diferentes áreas e temáticas, muitas vezes bastante diversas entre si. Esse detalhamento dos estudos com radioisótopos em temas neurológicos não a abrange toda a dimensão do problema que estava sendo tratado, mas serve como exemplo dos vários temas aos quais os radioisótopos se integraram naquele contexto. No relatório de 1962, outros exemplos de pesquisas clínicas também envolveram objetos científicos e tecnológicos como a função hepática na esquistossomose, a função da tireoide, o volume sanguíneo em congênitos cardíacos e em úlceras duodenais, e até mesmo estudos de técnicas radioativas utilizando animais experimentais como os cachorros, como no caso de um estudo de Egas Armelin, com a radiocardiografia experimental em cães, e o estudo de J. Guimarães sobre a absorção da vitamina B¹² em cachorros pré- e pró- gastrectomia (CENTRO..., 1962, p. 58).

No relatório de atividades de 1966, foram listados doze trabalhos publicados e oito apresentados em congressos científicos. Além das listagens, cinco projetos de pesquisa foram descritos para o ano de 1966. Um dos projetos voltou-se ao aperfeiçoamento de técnicas de fixação de substâncias marcadas com radioisótopos no estudo do metabolismo do *Mycobacterium leprae*, microrganismo causador da hanseníase. Feitas em parceria com Murillo Paca Azevedo, diretor da Divisão Técnica-Auxiliar do Departamento de Profilaxia da Lepra, essas pesquisas objetivavam estabelecer a marcação do bacilo da hanseníase através da utilização de radioisótopos como traçadores em aminoácidos como a selenometionina. Outro projeto de pesquisa de 1966 visava analisar o metabolismo do iodo em vertebrados inferiores e invertebrados. Esse projeto compunha a tese de doutoramento de Ary Domingos do Amaral sobre uma espécie de ascídia (*Ascidia nigra* ou *Phallusia nigra*), pequeno animal marinho bentônico, como animal experimental para testar regiões onde ocorrem síntese de hormônios iodados e o seu bloqueio por fármacos anti-tireoidianos. Em outro projeto, Egas Armelin, do Serviço de Hemodinâmica do HC-FMUSP, estudou o efeito de algumas condições fisiopatológicas sobre o volume sanguíneo de ratos e sobre a distribuição de bolhas radioativas injetadas no miocárdio. Entre as condições estudadas estavam a pressão arterial, a ação de drogas vasoconstritoras e os anestésicos. Estudos sobre a circulação linfática e a produção de compostos marcados, como por exemplo a insulina marcada iodo-131, também foram realizados ao longo do ano de 1966 no CMN (ATIVIDADE..., 1966, p. 22).

Em 1967, o Centro de Medicina Nuclear explorava vários aspectos da chamada isotopodiagnose, aplicada tanto a condições patológicas na clínica, quanto no desenvolvimento de novas técnicas para visualizar órgãos internos, utilizando outras ferramentas, como colimadores adaptados. O investimento em novas técnicas a partir da

utilização dos radioisótopos e de outros complexos instrumentos só era possível pela íntima colaboração entre as divisões do CMN, como a Divisão de Física e Higiene das Radiações e a Divisão de Eletrônica, além da presença de físicos como Alípio Luiz Dias Neto. Além desses trabalhos, a divisão biológica continuava estudando o efeito biológico das radiações, particularmente no sistema retículo-endotelial, estudos com hanseníase, fisiologia de glândulas endócrinas e método de preparo de radiofármacos. Dos trabalhos listados em 1967, 8 foram publicados e 8 foram apresentados em congressos e reuniões.

A Divisão de Ensino e Pesquisas Biológicas ainda era dirigida por Verônica Rapp de Eston, à época médica e livre docente de química fisiológica pela FMUSP, e tinha como pesquisadores os seguintes nomes: o cirurgião dentista e doutor em biologia Ary Domingos do Amaral, o médico Edwaldo Eduardo Camargo, o farmacologista Gerhardt Fritz Hundt, 4 técnicos especializados e 2 auxiliares de laboratório (ATIVIDADE..., 1967, p. 21). Em 1967, tanto os projetos de pesquisa sobre o metabolismo do *Mycobacterium leprae* e a sua absorção do aminoácido selenometionina, quanto os estudos com o metabolismo do iodo da ascídia nigra ainda se mantinham. Além desses projetos, continuava também o programa de marcação dos ácidos oleico e trioleína e os preparos experimentais de RISA, dentro do projeto de produção de radiofármacos. Estudos para o preparo de fosfato de cálcio ^{32}P estavam sendo feitos dentro desse mesmo projeto, para as investigações com hanseníase. A determinação do volume sanguíneo de coelhos e o efeito da radiação na produção da leucemia, bem como a ação protetora do enxerto de medula homóloga eram, por fim, outros trabalhos registrados para o ano de 1967, como atividades desenvolvidas pelas divisões do CMN. Em 1967, a Divisão de Clínica passou a ser denominada Divisão de Pesquisas Médicas, “tendo em vista que o seu objetivo é a pesquisa e não o atendimento de pacientes em rotina, como se subentendia de sua antiga denominação” (ATIVIDADE..., 1967, p. 23).

Apesar da mudança de nome, a divisão parecia atuar da mesma forma, aplicando radioisótopos em pesquisas médicas, diagnose e terapia. Só no ano de 1967, foram realizados 4.053 exames e atendidos 1.643 doentes, encaminhados pelo HC, Santa Casa e outros hospitais. Já no âmbito da pesquisa clínica, foram realizadas ao todo 20 pesquisas, muitas delas sem publicação, apresentação ou algum outro tipo de apreciação imediata de pares. Dentre essas pesquisas estavam trabalhos com pacientes, os ‘sujeitos experimentais’, na própria clínica, como no caso do estudo sobre perdas de proteínas pelo tubo digestivo nas infestações por vermes, até trabalhos sobre a função tireoidiana em cavalos “puro sangue de carreira” (ATIVIDADE..., 1967, p. 26).

Em 1968, ainda estavam em desenvolvimento projetos de pesquisa sobre o

metabolismo do *Mycobacterium leprae*, o preparo de radiofármacos e as pesquisas sobre volemia. No projeto “Pesquisas sobre a Lepra”, passou a ser investigado também o *Mycobacterium lepraemurium in vivo*, patógeno da chamada “lepra murina”, doença que evoluía em ratos. Assim como em vários outros experimentos executados no CMN, já mencionados ao longo deste tópico, os animais tinham um importante papel na construção de sistemas experimentais na medicina nuclear. No caso dos estudos com a hanseníase, a doença nos ratos, através da utilização de camundongos nos experimentos, contribuiu para explorar outros aspectos do metabolismo microbiano, levando também a desdobramentos e configurações de pesquisa, com as bactérias, os animais, os aminoácidos, os radioisótopos ou os tecidos mórbidos adentrando o funcionamento de diferentes aparelhos, como os microscópios eletrônicos:

Foram aperfeiçoadas as técnicas de inoculação do *Mycobacterium lepraemurium* em ratos e camundongos e diversos métodos relacionados com: purificação de bacilos obtidos de lepromas humanos ou animais; radiometria dos bacilos possivelmente marcadas com substâncias radioativas, no cintilador líquido; autorradiografia de cortes histológicos de lepromas; autorradiografia de esfregaços corados com auramina para exame em fluoromicroscopia; microscopia eletrônica; autorradiografia em microscopia eletrônica (ATIVIDADE..., 1968, p. 22).

Esses diferentes elementos e pontos explorados foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar a possibilidade de marcar o bacilo da doença com substâncias radioativas injetadas *in vivo*, e entender qual o melhor método para tanto. O projeto de pesquisas sobre volume sanguíneo também era composto por estudos *in vivo*, ou seja, realizados com organismos vivos, como coelhos, cães e camundongos, enquadrados nesse contexto como ‘animais de experimentação’. No CMN, os estudos com animais não-humanos eram realizados, como estou tentando demonstrar nesta análise, lado a lado com os estudos com humanos. Essa intersecção esteve no contexto de criação, em 1968, da Divisão de Radiobiologia, e chefiada por Tede Eston, com o objetivo de desenvolver pesquisas sobre os efeitos biológicos das radiações em mamíferos. A nova divisão organizou, em 1968, o II Curso Livre de Fisiopatologia das Radiações, com foco em estudos sobre humanos e outros mamíferos, que teve participação de Frederic Ludwig, da Universidade da Califórnia. Em suas instalações, o CMN possuía um biotério com animais que estavam sendo utilizados em diversos experimentos, sobretudo camundongos, ratos, coelhos e outras cobaias.

Figura 29: Biotério do Centro de Medicina Nuclear.



In: **ATIVIDADE desenvolvida em 1968.** Centro de Medicina Nuclear. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1968, s. p.

Os animais que viviam no biotério do CMN eram geralmente fornecidos pelo biotério da FMUSP e, excepcionalmente, por outros institutos, conforme a demanda de cada pesquisa. Em 1968, o biotério do CMN continha “raças encontradas habitualmente em nosso meio”, além de camundongos *inbred C57 Black*, doados por Frederic Ludwig, e camundongos *Balb* recebidos do Instituto de Investigaciones Hematológicas da Academia Nacional de Medicina de Buenos Aires. Um outro estoque de ratos com lepra murina era mantido no biotério. Esses animais agora experimentalmente doentes haviam sido recebidos do Instituto Nacional de Leprosia do Rio de Janeiro (ATIVIDADE..., 1968, p. 43). A existência de diferentes linhagens dos camundongos de laboratório, com nomes codificados, origens distintas e grande presença nos biotérios e nos experimentos nos faz pensar em como esses animais se tornaram parte desses sistemas experimentais. Assim como os radioisótopos, esse processo envolveu uma série de atores, como o exemplar estudo de Karen Rader (2004) evidencia .

Com um estudo que abrange os anos de 1900 a 1955, Rader demonstra como cepas consanguíneas de camundongos endogâmicos produzidos no Jackson Lab foram desenvolvidas com apoio financeiro da filantropia para pesquisas sobre câncer, as quais tiveram que ampliar o seu alcance após os déficits financeiros causados pela crise de 1929 nos EUA. O diretor do Jackson Lab, C. C. Little, precisou divulgar as potencialidades dos

camundongos “como reagentes biológicos “puros” para as mais diversas linhas de pesquisa médica” (RADER, 2004, p. 7). Rader aponta que a diminuição de pesquisas sobre a etiologia genética do câncer após a Segunda Guerra Mundial, implicou em uma “nova missão” aos camundongos consanguíneos, devido ao surgimento de uma demanda social e científica por bons modelos mamíferos para testes sobre danos causados por radiação:

Junto com essas mudanças na agenda científica, no entanto, vieram mudanças no patrocínio da ciência e na comercialização de sua infraestrutura (agora incluindo animais de laboratório padronizados). Esses desenvolvimentos quase tornaram insustentável a coexistência de pesquisa e produção de camundongos no Jackson Lab (RADER, 2004, p. 8).

De acordo com Creager e Santesmases (2006), o estudo de Rader destaca como a genética de mamíferos se encaixava num plano mais amplo de pesquisa radiobiológica nos laboratórios nacionais dos Estados Unidos. Ou seja, assim como os radioisótopos, os ratos se tornaram ferramentas úteis para que as ciências da vida pudessem ocupar os espaços das instalações anteriormente criadas no contexto da guerra, promovendo ciência e saúde através da ideia de Big Science e da energia atômica que, agora, serviria para fins pacíficos. O programa do radiobiologista Alexander Hollaender no Laboratório Nacional de Oak Ridge evidencia muito bem essa estratégia, ocupando a infraestrutura do Projeto Manhattan após o seu uso intenso para a produção de armas e outros estudos de física nuclear:

Os geneticistas de ratos recém-contratados de Hollaender, Bill e Liane Russell, desenvolveram o " teste específico do locus " (SLT) como um sistema altamente eficiente para detectar mutações induzidas por radiação. O modelo de mouse SLT, argumenta Rader, mediou preocupações políticas e científicas, fornecendo "um meio termo aceitável, tanto para cientistas quanto para formuladores de políticas, entre estudos experimentais de moscas e bactérias e o estudo de sobreviventes japoneses". (CREAGER e SANTESMASES, 2006, p. 641).

Na Grã-Bretanha, os camundongos também tiveram um papel fundamental em experimentos genéticos surgidos no início dos anos 1950, nos quais esses animais eram irradiados em larga escala e baixa dose, objetivando avaliar os possíveis efeitos da exposição radioativa a longo prazo em seres humanos (CHADAREVIAN, 2006). Chadarevian associa o estabelecimento do camundongo como organismo modelo para doenças humanas aos diversos experimentos com radiação surgidos desde a década de 1940. O contexto do pós-guerra consolidou, assim, através de instituições, ferramentas e agendas, as práticas de pesquisa em genética, utilizando sobretudo ratos, moscas e bactérias como organismos modelo para diversos estudos.

Os ratos eram, assim, agentes na dinâmica dos sistemas experimentais desenvolvidos

na divisão biológica do Centro de Medicina Nuclear. Não em pesquisas genéticas, mas em trabalhos sobre metabolismo, bioquímica e medicina nuclear. Em 1969, por exemplo, ainda se desenvolvia o projeto de pesquisa sobre “lepra experimental”, no qual ratos eram utilizados como animais experimentais, sendo inoculados com o *Mycobacterium lepraemurium* e desenvolvendo lepromas pelo seu corpo. Nos experimentos, os ratos recebiam, por injeção, metabólitos marcados com os radioisótopos carbono-14 e hidrogênio-3, “e utilizando técnicas adequadas de purificação a fim de eliminar todos os detritos celulares, foi possível verificar, por meio de medidas no detector de cintilação líquida, que os bacilos purificados apresentavam-se radioativos” (ATIVIDADE..., 1969, p. 27). Os camundongos experimentais, assim como os radioisótopos, tinham um papel fundamental para o estudo do metabolismo da bactéria da hanseníase, ou lepra murina. Eram eles que possibilitariam, através de suas interações bioquímicas, a visualização do trajeto que o *Mycobacterium* iria percorrer no organismo. Sem a existência de um organismo modelo, que tivesse alguma semelhança com o organismo humano, não seria possível experimentar. Do mesmo modo, sem os radioisótopos marcando os compostos que seriam inoculados, e os instrumentos e técnicas para seguir e medir essa radiação, o experimento não poderia existir. Nesse mesmo ano, novas técnicas de cintilação líquida para contar a taxa de amostras obtidas nos experimentos estavam sendo pesquisadas. Outros projetos de pesquisa foram listados para o ano de 1969, como o estudo do efeito da exposição crônica à radiação sobre o desenvolvimento de embriões de galinha, o emprego de técnicas biofísicas em estudos de microbiologia e o estudo das obturações retrógradas por técnica de autorradiografia macroscópica¹²⁰ (ATIVIDADE..., 1969, p. 29).

Em 1969, a Divisão de Radiobiologia organizou o Seminário Internacional sobre os Efeitos Biológico das Radiações, ocorrido de 6 a 17 de outubro, para comemorar os 20 anos de existência da instituição. O evento contou com representantes das comissões nucleares da França e da Bélgica, além de Eduardo Penna Franca, chefe do Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica, do Rio de Janeiro. Participaram 53 pessoas de diferentes estados brasileiros e de outros países da América Latina. Esse evento foi um importante espaço de intercâmbio sobre o efeito da exposição crônica por radioisótopos, daí a presença de Penna Franca, que estava estudando o tema nas áreas de elevada radioatividade natural no Brasil, num amplo projeto que será explorado no próximo capítulo desta tese. No CMN, os cientistas estrangeiros J. R. Maisin, A. Léonard e G. B. Gerber, que participaram do seminário internacional, contribuíram para o início dos estudos sobre irradiação crônica, como no caso

¹²⁰ Utilização de técnicas de radioativas para visualização de cirurgias dentárias.

do desenvolvimento do embrião de galinha exposto à radiação. A escolha desse organismo modelo foi justificada “tendo em vista a dificuldade de se obter quantidades suficientes de pequenos mamíferos em condições ideais para este tipo de pesquisa” (ATIVIDADE..., 1969, p. 30). Essa pesquisa iria ser continuada, posteriormente, com a colaboração do Departamento de Farmacologia da FMUSP, através da tese de doutoramento do próprio Tede Eston.

Embora não tenha encontrado nas pesquisas a tese de doutoramento de Eston, feita no Departamento de Farmacologia, existem escritos interessantes de Tede e Verônica, juntamente com outros pesquisadores do CMN, que serão analisados a seguir, visando aprofundar alguns pontos mencionados nos relatórios de atividades do centro. Analisarei agora a tese de livre docência de Verônica Rapp de Eston, de 1958, um grande artigo de balanço escrito pelo casal e por pesquisadores do CMN, de 1962, e, por fim, uma tese de Tede Eston apresentada à Academia Brasileira de Medicina Militar, de 1983. Esses trabalhos exploram o tema dos radioisótopos, dos animais de experimentação, e de novos sistemas experimentais criados a partir desses objetos.

A tese de livre docência de Verônica Rapp de Eston (1958) envolveu o tema da função e metabolismo do sistema retículo-endotelial (SRE). Esse sistema é composto por células diversas espalhadas pelo organismo vivo, os macrófagos fixos, células fagocitárias presentes em vasos linfáticos e sanguíneos, geralmente no fígado e no baço, mas também na medula óssea e em outros órgãos, e os macrófagos móveis, com capacidade de atravessar espaços teciduais. A tendência, no contexto de escrita da tese de Verônica, era a de considerar o SRE como uma unidade funcional, e não morfológica, com células capazes de fagocitar corpos estranhos, atuando na defesa do organismo contra a “invasão bacteriana”, mas também possuindo outras funções específicas, como a metabolização de quilomícrons (partículas produzidas por células intestinais), a regulação do metabolismo do ferro e a neutralização de toxinas, para citar alguns exemplos:

O SRE é o único sistema de células que permite o estudo quantitativo da sua função, pela análise da depuração sanguínea de coloides, ou suspensões injetadas endovenosamente. Estas investigações foram iniciadas por Halpern em 1949, com o carvão coloidal (tinta da China) abrindo o campo para uma série de experiências sobre a cinética da atividade granulopéxica do SRE (RAPP DE ESTON, 1958, p. 3).

As atividades fagocitárias do SRE eram divididas entre fagocitose de migração, por quimiotaxia, rumo ao agente nocivo, e fagocitose de contato, no qual o fagócito permanece no seu lugar e as partículas exógenas são trazidas pela corrente sanguínea. Após as pesquisas de Halpern, uma grande variedade de substâncias passou a ser utilizada no estudo das atividades

fagocitárias do SRE, como o carvão coloidal, os sais de tório, compostos orgânicos como a prodigiosina e compostos marcados com radioisótopos. Para medir essas atividades fagocitárias do SRE, foram estabelecidos os parâmetros da curva de velocidade da depuração sanguínea e a distribuição tecidual das substâncias e coloides utilizados. Essas substâncias não poderiam ter efeito citotóxico, para não alterar as respostas do SRE. As partículas não poderiam ser tão grandes nem muito pequenas, mas deveriam ser homogêneas; a quantidade da substância injetada deveria ser pequena, e os métodos para determinar quantitativamente as taxas sanguíneas e teciduais deveriam ser de fácil execução. De acordo com Verônica Eston, os coloides radioativos apresentavam mais sensibilidade, podendo ser dosados por medidas de radioatividade no sangue, tecido e em taxas inacessíveis aos métodos químicos (RAPP DE ESTON, 1958, p. 5).

Até 1957, muitas investigações metabólicas sobre o SRE eram feitas com sais solúveis de ítrio, devido à existência de um interesse acerca desse elemento nos estudos de contaminação atmosférica por radiação oriunda das explosões nucleares, além das potenciais aplicações terapêuticas no tratamento de neoplasias ósseas. A distribuição tecidual desse elemento, entretanto, havia sido pouco estudada até aquele momento. Não se havia investigado a distribuição dos coloides radioativos de ítrio e a sua transladação. “Tendo em vista a importância destes conhecimentos para a melhor apreciação funcional do SER, resolvemos encaminhar as nossas pesquisas neste setor” (RAPP DE ESTON, 1958, 6).

Em sua tese, Verônica Eston utilizou uma preparação de hidroxocitrato de ítrio coloidal, marcada com Y^{91} (ítrio radiativo), injetando o líquido de forma endovenosa nos ratos utilizados para o experimento. Por um lado, foram analisadas as variações da radioatividade do sangue nas primeiras horas após a injeção, a chamada depuração sanguínea, a partir do método do registro gráfico na orelha, e pela medida direta da radioatividade em amostras de sangue caudal dos ratos. Por outro lado, buscou-se verificar a distribuição nos tecidos e excreção do material radioativo inoculado, primeiramente após 30 minutos, depois 2 horas e meia, 1 dia, 7 dias e, por fim, 30 dias. Além de obter resultados sobre a curva de depuração e sua velocidade, Rapp de Eston concluiu seu estudo apontando a dinamicidade das partículas inoculadas no rato. Elas acabaram se fixando no fígado, no baço e nos ossos, e sua excreção ocorria pelas fezes, sendo 1% da dose injetada por dia excretada dessa forma. Para novos estudos da função do SRE, Verônica Eston considerava, a partir de suas conclusões, que se levassem em consideração a depuração sanguínea, que consegue medir a capacidade de adsorção das células do SRE, e a distribuição tecidual em um determinado tempo, que “permite avaliar as transformações que ocorrem com o material injetado, dando uma noção

mais exata das funções metabólicas do SRE” (RAPP DE ESTON, 1958, p. 58).

Tanto em estudos de caráter ‘macroscópico’ sobre a ecologia e a precipitação radioativa decorrente das bombas atômicas, quanto em estudos feitos em escala microscópica, com células e metabólitos, a utilização do ítrio radioativo como abordado por Verônica Eston, é um bom exemplo de como os radioisótopos impactaram em diferentes polos da pesquisa biológica após a Segunda Guerra Mundial. Da ecologia de ecossistemas à bioquímica e biologia molecular, os radioisótopos circularam pelas agendas de pesquisas mais importantes da biologia da Guerra Fria. Essa ideia é um dos pontos centrais desta tese, e será explorado novamente em outros momentos.

Em 1962, foi publicado na *Revista de Medicina* da FMUSP um grande artigo de revisão bibliográfica por Verônica e Tede Eston juntamente com os pesquisadores do CMN Setsuo Kida, Thomaz Bitelli e Nelson Carvalho. O texto apresentava noções gerais sobre os radioisótopos, desde a história de sua utilização, passando pelas reiteradas comparações entre esses objetos e os microscópios - em termos do seu caráter revolucionário de visualização para a ciência -, além de informações sobre o emprego desses elementos radioativos na pesquisa médica e biológica. Como um grande apanhado de dados e considerações, o texto revela o conteúdo relacionado ao trabalho desses médicos pioneiros com os isótopos radioativos, que também circulava nos cursos de metodologia, mas também traz as opiniões desses cientistas sobre o material com o qual estavam trabalhando:

Após a segunda guerra mundial, a produção, em larga escala, de radioisótopos artificiais pelos reatores nucleares, e conseqüentemente sua utilização ampla em pesquisas biológicas e médicas, deu a estas um impulso extraordinário que só pode ser comparado com a invenção do- microscópio no século passado. Se este permitiu desvendar a morfologia dos tecidos e células normais e patológicos, os radioisótopos permitem estudar a fisiologia e as transformações bioquímicas dos organismos vivos, em condições normais e sem lhes alterar a higidez. O emprego dos radioisótopos está apenas na fase inicial, o que nos permite antever um desenvolvimento incomparável dos nossos conhecimentos dos fenômenos vitais (ESTON et al, 1962, p. 176).

O artigo também explora os termos já citados acima da isotopodiagnose e isotopoteraia, métodos novos de radioterapia diferindo dos raios X ou do rádio. Como exemplo de isotopodiagnose, o artigo menciona as provas de função tireóidea, a localização de tumores cerebrais, o estudo do aparelho cardiovascular, o nefrograma, além de estudos da função hepática, digestão e absorção de gorduras, absorção da vitamina B12 e localização de tumores superficiais. Esses eram, de acordo com Verônica e Tede Eston, os procedimentos mais frequentes feitos no Centro de Medicina Nuclear da USP, como já foi visto a partir da

análise dos documentos e relatórios do CMN. No tocante à isotopoterapia, o artigo menciona algo também dito por Angela Creager (2013), que “inicialmente houve grande esperança de que o emprego dos radioisótopos resolvesse em definitivo o problema do tratamento do câncer pelas radiações” (ESTON et al, 1962, p. 189), mas os resultados não cumpriram com as expectativas, sendo os radioisótopos aplicados na radioterapia apenas em casos malignos.

Utilizando o cobalto-60, mas também ouro, radiofósforo, radioiodo, dentre outros, “a real novidade na radioterapia pelos radioisótopos é a localização metabólica, isto é, a participação do elemento radioativo nos processos metabólicos habituais do organismo” (ESTON et al, 1962, p. 189). O material radioativo era administrado pela boca ou injeção, e distribuído normalmente pelo organismo, de acordo com seus respectivos elementos ou compostos químicos, devendo se concentrar sobretudo no tecido que necessita de irradiação, operação que nem sempre era possível. Um outro tópico no mesmo artigo visou traçar algumas das principais mudanças na bioquímica após a incorporação dos radioisótopos:

De fato, quem lê um livro de bioquímica editado há cerca de 15 anos e procura compará-lo com um compêndio atualizado, verá que o anterior referia-se quase que exclusivamente à composição estática dos organismos vivos e o atual terá como desenvolvimento principal o metabolismo intermediário dos seres vivos (ESTON et al, 1962, p. 191).

Se antes dos radioisótopos, grande parte do conhecimento bioquímico era oriundo de observações em condições patológicas, passou-se, a partir da incorporação desses objetos na ciência, a ser possível estudar o metabolismo em detalhes e em condições fisiologicamente normais. O texto cita também uma série de outros temas da pesquisa bioquímica impactados pelos radioisótopos, como a interconversão de metabólitos, a análise do metabolismo intermediário dos glicídios, lipídios e proteínas; estudos de precursores e derivados, permeabilidade de membranas, fotossíntese e absorção, distribuição e excreção de elementos e compostos químicos em geral.

Na visão de Tede e Verônica Eston no CMN, os radioisótopos possibilitaram experimentos fundamentais que “transformaram completamente os nossos conhecimentos sobre o funcionamento dos organismos vivos” (ESTON et al, 1962, p. 192). Impulsionados e apoiados por instituições como a Fundação Rockefeller, Tede Eston e Verônica Rapp de Eston, assim como outros cientistas, técnicos e médicos, colocaram em prática a ideologia de átomos pacíficos, tornando os radioisótopos novidade última e esperançosa para a ciência brasileira: “A utilização dos radioisótopos apresenta possibilidades muito amplas e ainda pouco exploradas, cujo limite é, segundo o dizer de alguns, dado apenas pela imaginação

humana” (ESTON et al, 1962, p. 191). Os autores ainda consideravam a história dos radioisótopos “uma das mais belas páginas da ciência, pois demonstra como um cérebro privilegiado pode transformar um fracasso absoluto numa das mais brilhantes conquistas científicas do século XX” (ESTON et al, 1962, p. 141).

No contexto de publicação do artigo de 1962, a pesquisa biológica já havia passado por transformações importantes desde a ampla disseminação dos radioisótopos no imediato pós-guerra. A biologia molecular, que se desenvolvia desde a década de 1930, culminou na década de 1950 em novos conhecimentos sobre a vida, do ponto de vista material, como a elucidação dos mecanismos de autorreplicação do DNA e o entendimento de seu funcionamento através da codificação da informação, aspectos que, por sua vez, forjariam as bases cognitivas da engenharia genética (KAY, 1993, p. 3). Seria exaustivo narrar todas as modificações ocorridas no entendimento da vida entre as décadas de 1930 e 1950. Entretanto, é importante mencionar que, num primeiro momento, prevalecia no meio científico a compreensão do papel das proteínas como as únicas estruturas capazes de desenvolver características genéticas alternativas. Não se suspeitava do DNA como responsável por carregar toda a informação hereditária. Já num segundo momento, no início dos anos 1950, diferentes grupos de cientistas, como o de Linus Pauling, na Caltech, da Califórnia, Maurice Wilkins e Rosalind Franklin, no King’s College de Londres, e Francis Crick e James Watson no Instituto Cavendish, em Cambridge, participaram da construção do modelo de dupla hélice do DNA. Em 1953, Crick e Watson apresentaram seu modelo à comunidade científica, e, a partir daí, esse ácido nucleico já conhecido desde pelo menos 1869 se tornaria o único elemento responsável pela transmissão das informações genéticas (HAUSMANN, 1997). Mais do que um ponto de inflexão na história da biologia molecular, e, por conseguinte, na história da pesquisa biológica, o que quero destacar em meio a um processo turbulento acompanhado de uma série de polêmicas e disputas entre cientistas (SILVA, 2010), é o aspecto da visualidade.

Este pode ser considerado, na verdade, um dos principais elementos, desde as imagens do DNA obtidas com o método de difração de raios X, das quais uma delas foi produzida pela biofísica Rosalind Franklin e se tornou decisiva nesse processo, passando pela construção dos modelos tridimensionais de arame de quase dois metros de altura feitos para exemplificar a estrutura estudada, até a fotografia considerada icônica de Crick e Watson com seu modelo de dupla hélice do DNA, capturada por Antony Barrington. De acordo com Chadarevian (2003), a imagem em questão foi retirada dois meses após a ‘descoberta’, ainda em maio de 1953, para uma matéria da revista *Time*, mas não foi publicada nesse contexto. Apenas 15 anos

depois, com a publicação do best-seller *The Double Helix*, de Watson, é que a fotografia entrou em circulação, impactando a sua recepção e sendo um elemento central na “construção retrospectiva da descoberta, que desde então tem sido celebrada como a origem de uma nova ciência da vida” (CHADAREVIAN, 2003, p. 90).

Assim como os radioisótopos foram comparados com os microscópios, devido ao seu papel na visualização de processos metabólicos intracelulares, a radiação também esteve presente na construção do modelo de DNA, com Franklin e sua alta habilidade em produzir imagens utilizando o método de difração de raios X. A partir disso, ocorreu um processo contínuo de ‘molecularização’ nas ciências da vida. Ou seja, a identificação, produção, circulação e uso de moléculas, na pesquisa fundamental e na explicação e tratamento de patologias, acabou sendo uma das principais agendas unificadoras do laboratório, da clínica e da indústria na segunda metade do século XX. Chadarevian e Kamminga (2005) utilizam o termo molecularização para explicitar a emergência dessa nova ‘visão molecular da vida’ que permeou esses diferentes espaços, criando uma espécie de cultura molecular que ganhou força entre as décadas de 1950 e 1960, semelhante ao que podemos verificar no caso dos radioisótopos. Mas as autoras relativizam os efeitos concretos desse processo:

A molecularização, portanto, não foi a única estratégia seguida na biomedicina, nem teve sucesso uniforme em suas realizações. Mesmo um forte apoio material, tecnológico e político não garantiu o sucesso definido em termos de critérios ditados pelas próprias estratégias moleculares, pelo menos a curto e médio prazo. Por exemplo, a campanha contra o câncer de Nixon da década de 1970, que injetou grandes quantias de dinheiro em estratégias moleculares, não produziu uma "cura para o câncer", e a terapia genética para distúrbios moleculares, como a anemia falciforme, continua a ser uma nota promissória em vez de realidade clínica (CHADAREVIAN e KAMMINGA, 2005, p. 6).

As semelhanças com a circulação de radioisótopos nas ciências da vida estão no fato de esses também não terem sido hegemônicos na pesquisa biomédica, apesar de muito relevantes, e por não terem suprido as várias expectativas em relação à sua aplicação. Isso não significa que a molecularização e o emprego dos radioisótopos não tenham exercido uma significativa influência em inúmeros aspectos relacionadas às práticas científicas da biologia e medicina, seja em termos de financiamento, políticas científicas, trocas entre grupos de cientistas e instituições, criação de infraestruturas hospitalares e laboratoriais, até o investimento em carreiras científicas. Desse modo, as conexões entre moléculas e radioisótopos se estabelecem tanto no aspecto da visualidade quanto, na própria configuração histórica desses elementos em diversos sistemas experimentais. Vemos isso no trabalho de

Tede Eston e Verônica Rapp de Eston, do CMN em geral, como também na trajetória de outros pesquisadores que, sendo inicialmente capturados pela ‘agenda radioativa’, vão posteriormente estabelecer outras conexões com os estudos biomoleculares e genéticos.

Mais de vinte anos depois da publicação do artigo dos pesquisadores do CMN de 1962, Tede Eston defendeu sua tese sobre a ‘Contribuição ao estudo da dosimetria biológica na radiopatologia clínica’ (1983). De certa forma, pode-se considerar o trabalho de Eston, já na década de 1980, como uma síntese das diversas agendas surgidas ao longo dos anos no CMN. O objetivo da pesquisa de Eston era obter uma série de indicadores biológicos específicos para o trabalho com terapêutica e o prognóstico de irradiados, dado a dificuldade de se trabalhar com indicadores ou marcadores precisos em investigações com radiação. O estudo de Eston testou, para isso, uma série de elementos, como o sangue periférico, a medula óssea, esperma, DNA e RNA na medula óssea e no esperma, hormônios tireoidianos, glicemia, catecolaminas e aberrações cromossômicas¹²¹. Para um trabalho com tantos testes e experimentos com elementos biológicos distintos, foi necessário um conjunto expressivo de animais de experimentação. Ao todo, 40 coelhos machos adultos da raça ‘Nova Zelândia Brancos’ (*Oryctolagus cuniculus*) foram utilizados. Os animais foram divididos em 4 grupos de 10 coelhos, sendo um dos grupos o controle, e os outros foram irradiados de corpo inteiro com doses únicas de 0,5, 2 e 6 Gy (gray).

Eston detalha uma série de cuidados com os coelhos para evitar fatores que interferissem no experimento, como alterações climáticas, composição da ração, possíveis infecções e stress. Para tanto, 4 animais, sendo 1 de cada grupo, eram utilizados simultaneamente, cada um recebendo uma dose diferente de radiação. Além disso, Eston detalha aspectos de manejo ligados ao bem-estar daqueles animais experimentais, com ampla variedade de alimentos, água e medicamentos para eventuais doenças ocorridas durante o período experimental.

Os coelhos eram irradiados em caixas do tipo guilhotina, comprimidos “suavemente” e formando com o corpo um volume quase esférico. Como fonte de irradiação, utilizou-se o acelerador linear de 4 MeV de energia, pertencente ao Instituto da Radioterapia “Oswaldo Cruz” de São Paulo, produzindo raios X de 4MV. Antes da obtenção das amostras, os coelhos eram mantidos em jejum de 7 a 12 horas, e, nenhum tipo de anestésico era utilizado, “pois o coelho é muito sensível à maioria dos anestésicos e estes poderiam ter influência acentuada

¹²¹ Alterações estruturais que ocorrem nos cromossomos, nesse caso induzidas pela radiação, podendo provocar mutações genéticas.

sobre os resultados obtidos” (ESTON, 1983, p. 10). Nas conclusões do estudo, vários métodos foram avaliados, sendo as aberrações cromossômicas consideradas o melhor indicador biológico específico. “Analisamos as aberrações cromossômicas utilizando cultivo de linfócitos irradiados *in vitro* estudando apenas os dicêntricos” (ESTON, 1983, p. 75).

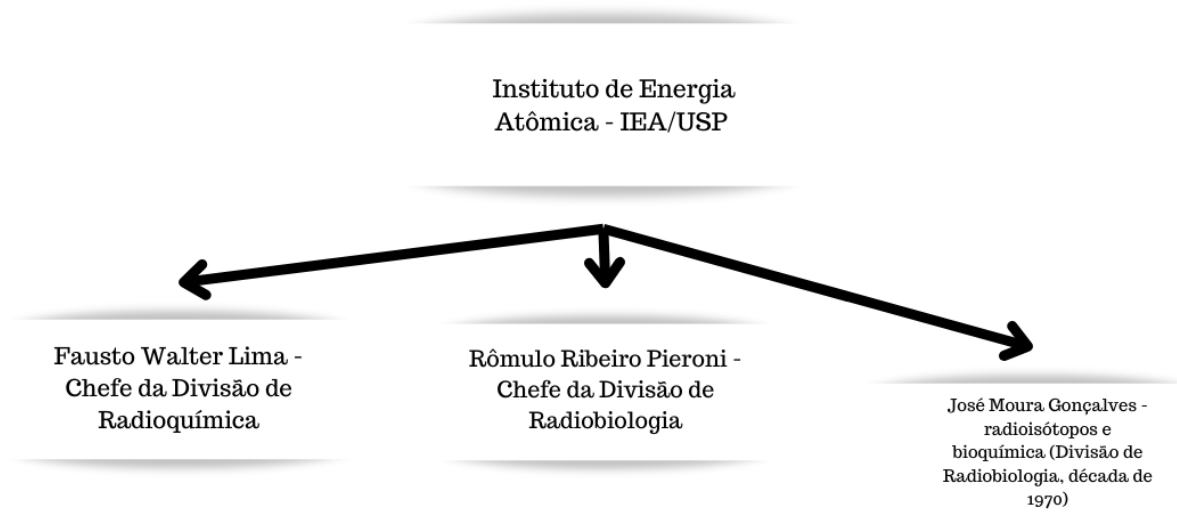
Como foi possível vislumbrar através dos diversos exemplos trazidos nesta análise, os radioisótopos foram incorporados a uma grande quantidade de sistemas experimentais da medicina nuclear e bioquímica. Esses objetos conectaram não apenas agendas de pesquisa, mas impactaram a trajetória científica de vários estudantes, técnicos e cientistas que estavam em formação no período no qual essas possibilidades surgiram. Levando em consideração a forma como esses cientistas enxergavam os radioisótopos e as novas especialidades decorrentes de sua emergência, os cursos de metodologia podem ser pensados como espaços onde esses objetos, com tudo o que os envolvia, eram sistematizados e incorporados à trajetória científica dos alunos. Com o aval e o incentivo internacional de agências nucleares e científicas, representavam o que havia de mais novo no mundo tecnológico e científico, algo realmente promissor.

Considerando o uso dos radioisótopos como novo método de pesquisa que estava dando “um incremento extraordinário às ciências biológicas” (ESTON et al, 1962), o CMN buscava justificar suas atividades científicas e didáticas, disseminando o emprego das técnicas nucleares. Assim, diversos cursos foram desdobrados do inicialmente elaborado em 1953, como suas versões de 1959, 1960 e 1961, mas também o Curso de Medicina Nuclear, o Curso de Aplicações Biológicas e Bioquímicas dos Radioisótopos, o Curso de especialização em Medicina Nuclear, além de cursos de radiobiologia para estudantes de medicina, dentre muitos outros (CENTRO..., 1961, p. 24).

Ou seja, pensar os radioisótopos no CMN, é não apenas considerar sua presença em diferentes trabalhos científicos, como demonstrei acima, mas entendê-los como agentes relevantes na construção de novos empreendimentos científicos, através, sobretudo, da centralidade que esses objetos adquiriram na ciência do pós-guerra. Desse modo, seguindo os radioisótopos, explorarei, no próximo subtópico, como esses elementos físico-químicos foram fundamentais na consolidação de novas agendas de pesquisa, infraestruturas institucionais e na própria trajetória de jovens cientistas.

2.2.3 Radioisótopos, medicina nuclear e bioquímica no Instituto de Energia Atômica (IEA-USP)

Figura 30: Diagrama dos principais personagens ligados ao IEA/USP de acordo com esta análise.



Dentre os estudantes do primeiro curso do CMN, de 1953, estava Rômulo Ribeiro Pieroni. Formado em 1941 pela Faculdade de Medicina da USP, e, natural de Brotas (SP), o médico doutorou-se em física no ano de 1955, com tese sobre o acelerador de partículas Bétatron. Após cursar a primeira edição do curso do CMN, em 1953, e de se doutorar em 1955, Pieroni assumiu logo em seguida a chefia da Divisão de Radiobiologia do Instituto de Energia Atômica (IEA-USP), quando da sua criação, em 1956. Além disso, seu nome pode ser visto como professor nas edições posteriores do mesmo curso de radioisótopos. O caso de Pieroni é interessante, como já havíamos mencionado em outro momento desta tese, não apenas por seguir trabalhando com radioisótopos após o curso, , mas sobretudo pela conexão que é possível estabelecer a partir de sua atuação entre o CMN e o IEA. Os estudos sobre metabolismo utilizando radioisótopos levados a cabo por ele e sua equipe no IEA se relacionam diretamente com os estudos em bioquímica e medicina nuclear do CMN.

O primeiro trabalho publicado por Pieroni, juntamente com Abrão e Lima, data de 1958. Trata-se de um estudo apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Química, ocorrido em Salvador, na Bahia, em novembro daquele ano. No trabalho em questão, republicado pelas ‘Publicações IEA’, os cientistas testaram experimentalmente vários métodos para a análise quantitativa da vitamina B-12, marcada com cobalto-60, e propuseram um novo método para a determinação dessa vitamina na urina humana, utilizando carvão ativo e um cintilômetro gama (PIERONI, ABRÃO e LIMA, 1958).

Em outro trabalho publicado no ano seguinte e feito em colaboração entre a Divisão de Radiobiologia do IEA e a 1ª Clínica Médica da FMUSP, Pieroni, juntamente com outros

médicos, estudaram a absorção intestinal da vitamina B-12 em gastrectomizados, utilizando novamente o cobalto-60. A vitamina B-12, objeto de muitos estudos bioquímicos com radioisótopos nessa época, contém cobalto em sua molécula. Por conta deste fato, tentava-se marcá-la com algum radioisótopo, ou ativá-la através de irradiação da vitamina cristalina com nêutrons. A própria vitamina marcada, nesse sentido, passou a ser utilizada como traçador, em estudos metabólicos de absorção, destino e eliminação. O trabalho em questão concluiu que a absorção intestinal de vitaminas, tendo como exemplo a B-12, em pacientes que haviam sido submetidos à gastrectomia total, era sempre deficiente. Nesse caso, o uso parenteral da vitamina B-12 resolveria essa deficiência. No caso de pacientes gastrectomizados apenas parcialmente, a recomendação do uso da vitamina por via parenteral era a mesma (PIERONI et al, 1959).

Ambos os trabalhos utilizavam cobaias humanas, chamados de ‘sujeitos experimentais’. Por conta disso, diferentes formas de aplicar a radiação e medir a sua quantidade no experimento eram pensadas com certa dificuldade. Sobre a necessidade de determinar as substâncias por grande quantidade de urina, o artigo de 1958 mencionava:

Este procedimento apresenta algumas deficiências muito graves. Uma vez que os seres humanos são usados como sujeitos experimentais, é necessário usar pequenas doses de vitamina B12 marcada; conseqüentemente, é necessário usar um grande volume de urina e também um grande recipiente. Visto que as dimensões da amostra são grandes, a blindagem do contador deve ser correspondentemente grande (PIERONI, ABRÃO e LIMA, 1958, p. 1).

Em paralelo aos trabalhos de pesquisa com estudos de casos e publicações, Rômulo Ribeiro Pieroni atuou diretamente na disseminação das novas metodologias radioisotópicas. Em julho de 1959, o cientista ministrou um curso de um mês, na *Universidad Nacional de Asunción*, no Paraguai. Suscitado pela visita de José Escullíes à USP, o curso teve por objetivo apresentar noções sobre radioatividade e sobre os usos dos radioisótopos em medicina, “agitando o problema e procurando criar ambiente para a implantação e desenvolvimento de tais atividades, no País Irmão” (PIERONI, 1959, p. 1). Ocorrido no mesmo ano do segundo curso de metodologia de radioisótopos e do primeiro curso de medicina nuclear do CMN, o curso ministrado por Pieroni no Paraguai se adequou às condições disponíveis, contando com dois conjuntos de detecção e a diversidade formativa dos participantes:

[...] engenheiros se encarregavam de ensinar, a médicos e outros, propriedades de funções exponenciais e logarítmicas, traçado e análise de gráficos semilogarítmicos, manuseio de régua e máquina de cálculo, etc.,

recebendo, em contrapartida, “iniciação” nos segredos da fisiologia, da bioquímica (PIERONI, 1959, p. 1).

Essas trocas relatadas por Pieroni no curso do Paraguai mostra a cooperação e o interesse de profissionais de diversas formações que, trabalhando em conjunto, aparentemente sanaram as faltas infra estruturais de um curso latino-americano sobre essas novas técnicas. Além disso, o curso envolveu a cooperação entre brasileiros e paraguaios, participando e apoiando o processo desde o reitor da USP, Gabriel Silvestre Teixeira de Carvalho, passando pela direção do IEA, Marcello Damy de Souza Santos, a CNEN, na figura de seu presidente Almirante Octacílio Cunha, além das autoridades paraguaias, como uma comissão organizada para o curso, presidida por Danilo Pecci, da Faculdade de Química e Farmácia, Hector Blás Ruiz e o reitor Crispin Insaurralde, além do corpo docente da Faculdade de Ciências Médicas da Universidad Nacional de Asunción. Nas informações sobre esse curso, que teve seu conteúdo publicado em espanhol pela IEA ainda em 1959 (Publicação IEA Nº 35), com o apoio da Missão Cultural Brasileira e de seu chefe Estelita Lins, não é mencionado o apoio ou a intervenção da UNESCO ou de outras agências internacionais, embora isso possa ter ocorrido indiretamente através de alguma das instituições apoiadoras.

Em outra publicação do IEA, datada de 1962, com comentários e sugestões institucionais separadas por setores, as menções ao trabalho do setor de aplicação de radioisótopos e radiações à medicina, da Divisão de Radiobiologia, eram bastante positivas. “Sem dúvidas, no campo da medicina os radioisótopos têm propiciado progressos, dos mais importantes, e não se poderia compreender não se desse o relevo necessário ao desenvolvimento de pesquisas nesse campo (PRADO e PIERONI, 1962, p. 20). Trabalhando em cooperação com a 1ª Clínica Médica da FMUSP, chefiada por Ulhôa Cintra, a partir de convênio firmado em 1958, o relatório apontava que estavam sendo desenvolvidos no IEA métodos propedêuticos com radioisótopos, pesquisas metabólicas e clínicas com materiais marcados e até possíveis tratamentos a partir dos isótopos. Como metas, o setor tinha o aparelhamento dos laboratórios e a constituição de um grupo de pesquisadores “à altura”. Estava, nessa época, no horizonte da divisão comandada por Pieroni o desenvolvimento de investigações de caráter epidemiológico, “procurando esclarecer, com o emprego de material marcado, problemas ainda não solucionados, como as relações entre a moléstia de Chagas e as afecções tireoidianas, etc.” (PRADO e PIERONI, 1962, p. 20). Para tanto, foi solicitada uma ambulância e uma perua (automóvel) para a instalação de um laboratório móvel.

Abordando outros setores específicos ligados à Divisão de Radiobiologia, no setor de

radiofarmácia o objetivo era o desenvolvimento de técnicas para a produção de produtos marcados de uso médico e biológico. “Fato sabido, não é suficiente obter o radioisótopo; é necessário prepará-lo para uso médico e biológico. Em particular é preciso, com frequência, “marcar” uma substância com átomos radioativos” (PRADO e PIERONI, 1962, p. 21). As substâncias que eram marcadas com iodo-131, enxofre-35, carbono-14 e fósforo-32, como já mencionado, eram as mais demandadas para trabalhos biomédicos. Assim, pretendia-se produzir em escala semi-industrial alguns produtos marcados. O setor de radiobioquímica estava analisando amostras de excreções do pessoal do IEA que trabalhava em condições sujeitos à contaminação radioativa, nos moldes também feitos em Oak Ridge durante o Projeto Manhattan (CREAGER, 2013). Nessas análises, foi constatado um problema maior para o iodo-131 e o urânio, e era previsto o surgimento de problemas com o plutônio, o berílio e o chumbo, com a intensificação das atividades no instituto. Relacionado a esse setor estava o de estudo dos efeitos biológicos das radiações e radioproteção, e, por fim, o setor de aplicação de radioisótopos à biologia e campos afins. Esse setor estudava à época o movimento de íons na cadeia alimentar, tendo em vista produtos arrastados com a chuva e outros fenômenos. Esse tipo de estudo se assemelha, ainda que de forma muito incipiente, com trabalhos de caráter ambiental. Além disso, estava prevista a realização de estudos com radioisótopos em processos fisiológicos, em animais de laboratórios e em microrganismos (PRADO e PIERONI, 1962, p. 23).

Isso de fato se desenvolveu, ainda que com grandes dificuldades. Após se aposentar, em 1971, o bioquímico José Moura Gonçalves, foi convidado por Pieroni para trabalhar no setor de radiobiologia do IEA, à época ainda dirigido pelo próprio Pieroni. O bioquímico ficou responsável por chefiar a seção de bioquímica do curso de pós-graduação que Pieroni estava criando no instituto:

O ambiente, no entanto, não era bom. As pessoas estavam muito preocupadas com o salário e era uma dificuldade fazê-las trabalhar. Mesmo com todas as dificuldades, fiz coisas de que gostei no Ipen [IEA]. Uma delas foi estudar a modificação dos efeitos da radiação gama em camundongos por ação da BCG, com a colaboração da argentina Nelida del Mastro. Verificamos um efeito protetor da BCG que me encantou. Cerca de 70% dos camundongos não morriam se tivessem recebido uma determinada dose de BCG no abdome. Esse tipo de proteção, no entanto, é muito relativo, pois só funciona se o animal receber a dose de BCG antes de ser irradiado. Quatro teses de doutoramento foram defendidas no Instituto de Química da USP (GONÇALVES *apud* GORDON, 2003, p. 85).

Os relatos de José Moura Gonçalves, a partir da tese de Gordon (2003) sobre a história do IEA/IPEN, apontam vários elementos interessantes sobre o uso de radioisótopos e o seu

desenvolvimento no campo da radiobiologia e bioquímica no instituto da USP. Além do paradoxo aparente de um cientista já aposentado chefiar uma área de pesquisas de vanguarda estimulando uma dinâmica linha de pesquisas com radiação, chama atenção também a precariedade das instalações científicas daquele núcleo. Segundo o bioquímico José Roberto Rogero, ainda em 1971, “o laboratório não tinha nada, (...) só tinham salas vazias”: “O Professor Moura, com o apoio da Instituição e de Pieroni, começou a montar o laboratório de radiobiologia e como ele era especializado em veneno, (...) então trouxe essa linha de pesquisa para o IPEN (IEA)” (ROGERO *apud* GORDON, 2003, p. 85). Os cursos de pós-graduação dentro do IEA iniciaram-se apenas a partir de 1976, com certo desinteresse da parte da USP em incentivar a existência desses cursos dentro do IEA. Entretanto, desde pelo menos o início dos anos 1970, alunos de diferentes cursos conduziram pesquisas em conexão com o IEA e seu aparato nuclear. Apresentarei a seguir, de forma panorâmica, a natureza dessas pesquisas que ganharam volume a partir desse contexto. Antes cabe salientar, que independentemente da existência de diferentes teses e pesquisas publicadas sobre temas de bioquímica, radiobiologia e medicina nuclear, o setor de radiobiologia do IEA continuou apresentando dificuldades diversas.

De acordo com José Roberto Rogero, que se doutorou em 1978 no Instituto de Química com Moura Gonçalves, muitas coisas haviam mudado na instituição quando retornou dos Estados Unidos, onde fez estágio de pós-doutorado logo depois de defender a tese:

Acho que Pieroni já tinha saído nesta época. (...) Quando entrei no IPEN (IEA) tinha a área de medicina nuclear onde os pacientes vinham ser tratados. Era como se fosse um hospital. Quando o Julio Kieffer (...) voltou e se tornou chefe dessa área houve uma desativação da área da medicina nuclear. Todas as pessoas que trabalhavam, os médicos, os pacientes deixaram de vir ao IPEN (IEA). Os equipamentos e as gama-câmaras foram colocados como sucata (ROGERO *apud* GORDON, 2003, p. 86).

De fato, nessa época muitas mudanças ocorreram. Em 16 de março de 1979, o IEA se vinculou à Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Governo do Estado de São Paulo, passando a se chamar Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), tornando-se, então, uma autarquia estadual. Nesse período, Rômulo Ribeiro Pieroni, que desde 1963 era superintendente/diretor do IEA, deixou o cargo. Hernani A. L. Amorim assumiu a direção da instituição. Moura Gonçalves relata os resultados negativos que a saída de Pieroni, especialista e cientista ativo no estudo dos radioisótopos, acarretou para o setor depois de dezesseis anos na direção do instituto:

O ambiente de trabalho piorou muito com a mudança de direção no instituto. *O novo diretor [Hernani Amorim] não compreendia o que era*

radiobiologia, confundindo a disciplina com medicina nuclear. Por mais que eu dissesse que proteção radiológica é subproduto da radiobiologia, ele só me falava que a seção de radiobiologia estava “inchada” e que o pessoal devia ser reduzido, criando pânico de desemprego. Ele, como muitos outros, insistia na importância do dosímetro. Quando tiraram dois profissionais do meu laboratório para purificar urânio, achei um exagero. Além disso, era um tal de não ter verba insuportável! (GONÇALVES apud GORDON, 2003, p. 87, grifos meus).

Apesar dos problemas institucionais e de infraestrutura, as pesquisas com radioisótopos e radiação em geral se desenvolveram durante a década de 1980 antes da existência de cursos de pós-graduação próprios do IEA/IPEN. Em teses de meados dos anos 1960, como a de José Carlos Barbério, ‘Teor de iodo em vegetais alimentícios (análise por ativação com nêutrons)’, defendida em 1966 na Faculdade de Farmácia e Bioquímica da USP, o IEA e a figura de Pieroni são exaltados como pontapés fundamentais para o surgimento e exequibilidade desse tipo de pesquisas:

Ele [o trabalho] sequer teria sido iniciado não fora contarmos com o Instituto de Energia Atômica de São Paulo, pelo seu diretor, Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni, que não só nos introduziu na maravilhosa seara dos radioisótopos, como também, no Instituto, nos vem estimulando e amparando no correr de vários anos, possibilitando-nos, inclusive, a realização desta tese, pois o emprego da análise por ativação com nêutrons só é possível em reatores de pesquisa (BARBÉRIO, 1966, s.p.).

Assim, mesmo antes da criação da pós-graduação, o IEA já era um espaço de experimentação com radioisótopos, como também de formação e imersão dos jovens cientistas no mundo nuclear. Teses de medicina do início da década de 1970, eram realizadas entre o Departamento de Clínica Médica da Faculdade de Medicina da USP, no serviço do prof. Ulhôa Cintra, e a Divisão de Radiobiologia do IEA (NICOLAU, 1967, 1970). Na mesma época, teses e dissertações da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da USP também formavam o rol de trabalhos ligados ao IEA. As pesquisas abordavam desde a padronização do método radiobiológico em estudos da tireoide (MURAMOTO, 1970) até estudos sobre o hormônio do crescimento (HIRATA, 1970; NAKAZONE, 1970). As publicações do IEA, que existiam desde os anos 1950, republicavam teses e dissertações de alunos, ao longo da década de 1970. Desse modo, temas como a marcação de proteínas com radioisótopos (PERSANO e SILVA, 1978), a dosagem de cortisol livre do plasma por métodos de diluição isotópica (SHIMIZU, 1978), estudos fisiológicos das alterações do eixo hipotálamo-hipófise-tireóideo na hipoproteinemia experimental em *Rattus norvegicus albinus* (BORGHI, 1978), estudos do mesmo eixo pela infusão de TRH (terapia de reposição hormonal) em portadores de doença de chagas (ABELIN, 1978), radioiodação de hormônios

(PINTO, 1978), hormônios marcados com iodo-125 (FONSECA, 1978), foram desenvolvidos em linhas de pesquisa em bioquímica, fisiologia, medicina nuclear, farmácia, veterinária, dentre outros cursos e disciplinas. Todos esses trabalhos constituíam o IEA/IPEN, influenciados pela tradição radiobiológica estabelecida por nomes como Pieroni e incentivados pela pouca, porém requisitada, infraestrutura de reatores nucleares, animais experimentais e radioisótopos disponíveis.

Essas pesquisas continuaram nos anos 1980, com teses e dissertações defendidas no Instituto de Biociências da USP que utilizaram técnicas como o radioimunoensaio para estudos com diferentes hormônios (testosterona, dehidrotestosterona, androstenediona, dehidroepiandrosterona) (ACHANDO, 1980), e trabalhos já ligados diretamente à pós-graduação do IPEN estudando diferentes testes (clonidina e tolerância à insulina) (BATISTA, 1986).

Para o propósito desta pesquisa, não cabe esgotar essa amplitude de trabalhos em diferentes áreas biomédicas. O objetivo neste subtópico foi estabelecer algumas conexões que se mostraram na prática, entre pesquisadores que utilizaram os radioisótopos desde os anos 1950, com o desenvolvimento de diferentes áreas da pesquisa médica e biológica, sobretudo entre o CMN e o IEA/IPEN. A principal característica identificada nessas pesquisas gira em torno da utilização de técnicas radioativas para testagem, avaliação e medição de proteínas e hormônios, sendo o tema do metabolismo marcante em vários desses trabalhos, seja em medicina nuclear ou em bioquímica/fisiologia.

Os estudos sobre metabolismo foram profundamente marcados pelos radioisótopos, como já foi apontado em outros momentos dessa tese. Esses objetos tecnológicos que integraram diferentes sistemas experimentais (RHEINBERGER, 1992), adquiriram maior afinidade com certas áreas, como ainda veremos nesta pesquisa. Na medicina, a medicina nuclear e a endocrinologia, com os estudos da glândula tireoide, simbolizam algumas dessas áreas. Abordando especificamente o caso das pesquisas endocrinológicas sobre tireoide na França após a Segunda Guerra Mundial, Philippe Fragu (2003) argumenta que a introdução do radioiodo como um caminho para a investigação e tratamento foi um ponto de inflexão na história da fisiopatologia da tireoide, servindo como arma terapêutica “extremamente eficaz”, assim como uma ferramenta de diagnóstico que possibilitou a abertura de novas experimentações biomédicas. “A radioatividade incontestavelmente facilitou as interações, em torno do metabolismo da tireoide, entre pediatras e bioquímicos [...], e seus esforços permitiram uma abordagem biomédica à experimentação no campo da endocrinologia da tireoide” (FRAGU, 2003, p. 414).

De acordo com Santesmases (2006), as técnicas e os instrumentos envolvidos na utilização dos radioisótopos não apenas moldaram a natureza das instalações laboratoriais da biologia experimental, seja a molecular ou a ‘endocrinológica’, mas possibilitaram a articulação de novas agendas de pesquisa para essas ciências da vida. Essa interação entre ciências da vida e ciência da morte (física atômica), no estudo com radioisótopos, se reflete na produção de sistemas experimentais e na relação entre cientistas e agências de fomento presentes em todo esse processo histórico. No estudo de caso de Santesmases (2006), pesquisadores espanhóis reorientaram seus projetos de pesquisa, entre as décadas de 1940 e 1970, a partir das oportunidades surgidas com o uso dos radioisótopos, encontrando novas linhas de trabalho como a prevenção de distúrbios endócrinos e a pesquisa e treinamento em biologia molecular. Essa dinâmica, que é o que esta tese também busca evidenciar, envolve as formas pelos quais os radioisótopos foram explorados. É equivocado, porém, como afirma Santesmases (2006), acreditar numa mera aplicação (ou exploração) desses objetos:

[...] A aplicação não pode ser considerada um termo útil para analisar a história dos usos dos radioisótopos, quando se leva em conta como os objetos de pesquisa e os meios técnicos foram construídos, pelo menos em parte atendendo às demandas de pesquisadores e clínicos, sugerindo uma interação além da mera aplicação (SANTESMASES, 2006, p. 769).

Ou seja, é importante frisar que a ‘aplicação’, ou melhor, a incorporação dos radioisótopos na pesquisa experimental brasileira em biologia, não foi passiva. Ela teve como marca uma interdependência entre cientistas da vida e novas linhas de investigação científica, e a estruturação de programas e instituições nucleares, tanto em termos de política internacional quanto nacional. É devido a essa complexa configuração que esta análise se vale da ideia de agenciamentos trabalhada por Maia (2017) e do conceito de sistemas experimentais de Rheinberger (1992). Os sistemas experimentais, como as unidades básicas do fazer científico, se estruturam a partir de agenciamentos de diferentes elementos, como os objetos científicos e tecnológicos. Considerando os radioisótopos como ferramentas ativamente integradas a problemas de pesquisa, entende-se essa história como um processo influenciado por dinâmicas políticas e diplomáticas, mas também configurado pela própria materialidade dos objetos, envolvendo práticas científicas, radioisótopos, animais de experimentação, aminoácidos, microscópios eletrônicos, vitaminas, sistemas biológicos e vários outros elementos.

Esses agenciamentos que formam os sistemas experimentais ajudam-nos a entender os processos de constituição do conhecimento científico como uma lógica complexa, que vai

além da instrumentalização de interesses de grupos de apoio. Assim, a história dos radioisótopos nas ciências da vida no Brasil não pode ser entendida como mera estratégia diplomática norte-americana, nem se reduz ao resultado colateral de interesses nacionais e militares ligados ao programa nuclear brasileiro. Todos esses eventos compõem de forma integral esta história. Entretanto, esta análise parte da ideia de que para entender o papel dos radioisótopos na biologia brasileira, se faz necessário levar em consideração agenciamentos que não se reduzem às dimensões política e social. É, nesse sentido, que o conceito de sistemas experimentais, para compreender as práticas científicas que moldaram os usos dos radioisótopos, foi escolhido para esta análise.

Para Maia, “todos os agentes, sejam pessoas, objetos ou coisas, mostram-se agentes ativos – necessários a uma história das ciências adequada aos desafios de nossa contemporaneidade” (MAIA, 2017, p. 448). Essa ideia, por mais vaga ou distante da realidade documental que pareça ser para muitos historiadores, é adequada nesta análise. Seguindo os radioisótopos, do ponto de vista metodológico, se faz necessário entendê-los como agentes ativos nesta história, qual seja, na constituição da pesquisa biológica brasileira ao longo da segunda metade do século XX. Essa ideia é reforçada pelo estudo exemplar de Angela Creager, que concluiu, após também seguir os radioisótopos do contexto de criação das primeiras bombas nucleares às aplicações em medicina, biologia e ecologia, que:

A trajetória dos radioisótopos como ferramentas em biologia e medicina revela a complexa interação de possibilidades materiais, realidades sociais e políticas e percepções do público que moldam padrões de uso e consumo. Nesse sentido, seguir radioisótopos não é apenas ver como sua disponibilidade como subprodutos da era atômica possibilitou uma nova sensibilidade aos processos temporais no mundo vivo, mas também vislumbrar a materialidade evanescente que o conhecimento científico possibilita colocar em primeiro lugar (CREAGER, 2013, p.408).

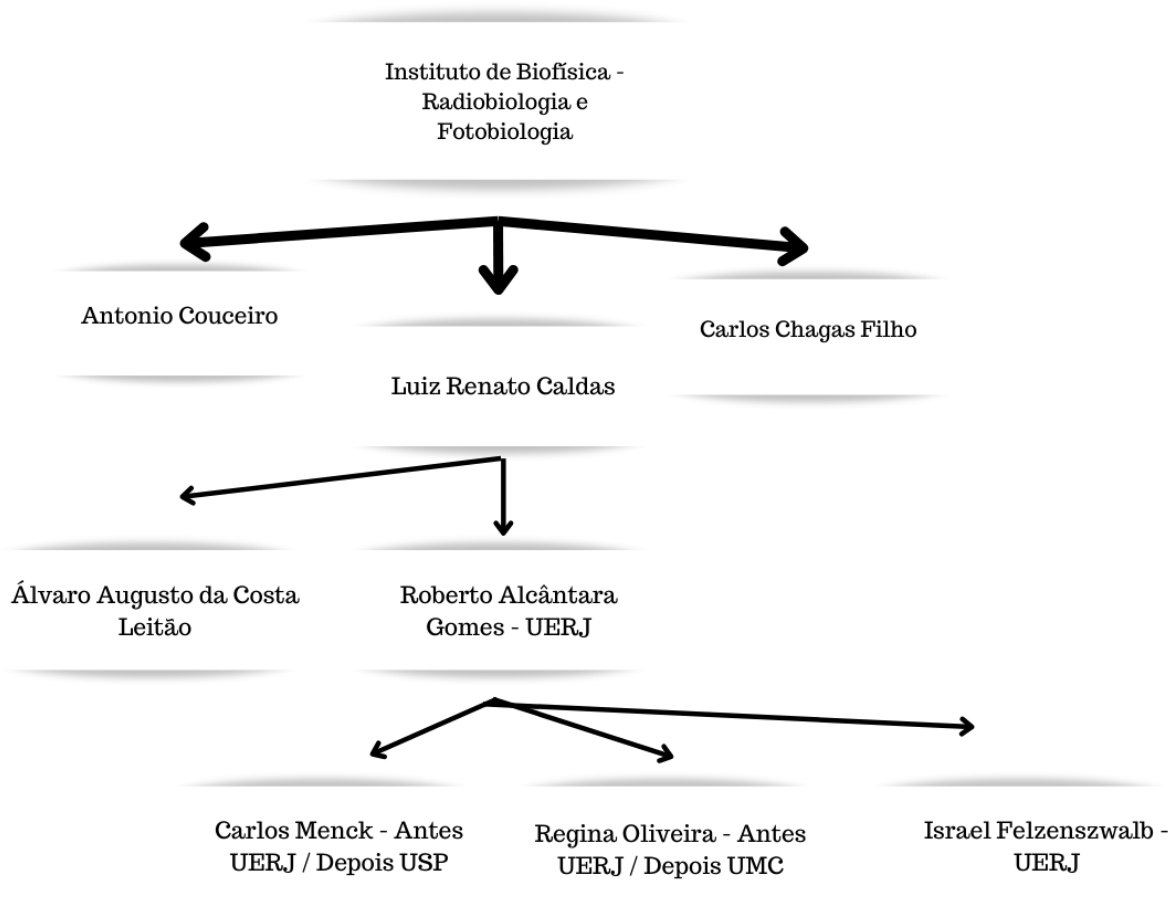
No próximo tópico, veremos como os radioisótopos integraram outros tipos de estudos. Refiro-me aqui à radiobiologia e à fotobiologia desenvolvida a partir do Instituto de Biofísica, no Rio de Janeiro. Ainda que o termo ‘radiobiologia’ seja bastante genérico, podendo abarcar diferentes estudos com radiação e sistemas vivos, incluindo vários trabalhos realizados no CENA, no CMN e no IEA, existem especificidades epistemológicas, institucionais e históricas que serão abordadas em relação à radiobiologia e fotobiologia surgida no Instituto de Biofísica. As terminologias nem sempre são ortodoxas na história das ciências ou das disciplinas científicas. Esse é também o caso daquelas ciências de orientação biológica que produziram linhas de trabalho com o apoio ou a partir dos radioisótopos. Assim, embora já tenha abordado um pouco sobre a Divisão de Radiobiologia e seus estudos

comandados por Rômulo Ribeiro Pieroni no IEA, desde os anos 1950, ou mesmo os trabalhos desenvolvidos no CMN, deixando até mesmo incerta a diferença entre radiobiologia e medicina nuclear – ainda que fique claro que medicina nuclear se trata de uma especialidade médica e, portanto, com foco em diagnose e terapêutica -, cabe aqui demarcar essa diferença. Algumas das especificidades dos estudos que serão analisados no próximo tópico são, por exemplo, a ligação com a fotobiologia e o desenvolvimento pioneiro de estudos biomoleculares.

2.3 Radiobiologia e Fotobiologia a partir do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF)

2.3.1 O Instituto de Biofísica e a radiação

Figura 31: Diagrama dos principais personagens ligados à tradição radiobiológica do Instituto de Biofísica de acordo com esta análise.



Analisarei aqui os trabalhos levados a cabo por pesquisadores ligados ao Instituto de

Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O principal nome do campo radiobiológico e fotobiológico que será explorado nesse recorte é o do médico Luiz Renato Caldas. Ainda que esse personagem tivesse sólida formação médica e prestasse trabalhos hospitalares, foi a partir de seu trabalho no laboratório que esses campos tomaram alguma forma partir da década de 1950. Como já apontado anteriormente, o Instituto de Biofísica foi um dos espaços pioneiros a trabalhar com radioisótopos e a incorporar técnicas radioativas à pesquisa biológica no Brasil. Em 1949, Carlos Chagas Filho criou o Laboratório de Fotobiologia, e os radiobiologistas franceses Antoine Lacassagne e Raymond Latarjet foram convidados a ministrar cursos sobre técnicas radioativas no Instituto de Biofísica. Em sintonia com o que ocorreu no pós-guerra, o instituto lançou mão do novo campo de pesquisa com radioisótopos, primeiramente ligando-o à Divisão de Biofísica Celular e Radiobiologia (LIMA, 2009). Carlos Chagas Filho considerou o emprego dos radioisótopos uma possibilidade de elucidar alguns mecanismos celulares e esclarecer a ação da radiação em células e tecidos.

De acordo com Ana Luce Girão de Lima (2009), que estudou em sua tese a trajetória de Carlos Chagas Filho e do Instituto de Biofísica, a utilização dos radioisótopos na instituição, a partir da criação de laboratórios, teve como objetivo difundir ao máximo a ‘nova especialidade’ da biofísica, promovendo cursos formativos nas áreas da medicina, bioquímica e da pesquisa biológica em geral. Também resultou das expectativas em relação à cura do câncer e das preocupações surgidas à época sobre a precipitação radioativa. O próprio Carlos Chagas Filho exerceu o cargo de presidente do Comitê das Nações Unidas para o Estudo dos Efeitos das Radiações Atômicas entre 1956 e 1957. Mas antes mesmo da criação do Instituto de Biofísica, em 1945, pesquisadores ligados ao núcleo de pesquisas de Carlos Chagas Filho já trabalhavam com radiação. Antonio Couceiro (1914-1978), por exemplo, publicou um estudo em 1944, no qual descrevia a utilização do fósforo em órgãos de camundongos tratados com o radioisótopo fósforo-32 (^{32}P) (COUCEIRO, 1944a). Ao longo da década de 1940, Couceiro também fez experimentos pioneiros com o metabolismo do iodo, radiofósforo, radioiodo na tireoide e várias outras aplicações de elementos radioativos (COUCEIRO, 1944b).

Surgido como Laboratório de Biofísica, constituindo a seção de pesquisas da cadeira de Física Biológica da Faculdade Nacional de Medicina (RJ), ocupada por Carlos Chagas Filho desde 1937, a equipe formada por este foi inicialmente composta pelos seus contemporâneos do curso de medicina, Tito Enéas Leme Lopes e Lafayette Rodrigues Pereira Filho. Quando Chagas Filho assumiu a cátedra de Física Biológica, ele teve de deixar o IOC,

no qual fora ajudante do chefe do Laboratório de Química e Física Carneiro Felipe, de 1934 a 1936. Com o decreto-lei nº 24, de 29 de novembro de 1937, estava proibida a acumulação de cargos no serviço público federal, sendo o funcionário que ocupasse dois cargos obrigado a escolher um deles. Carlos Chagas Filho optou, nesse caso, pela Universidade do Brasil. Com isso, um programa ambicioso de pesquisas dentro da universidade começava a ser gestado.

A criação do Laboratório dentro da universidade teve o apoio de uma série de personagens importantes da ciência e da política do período, evidenciando que desde o início o núcleo do que se tornou Instituto de Biofísica contou com suporte e legitimidade de grupos que influenciavam os rumos do ensino e da pesquisa no Brasil:

Neste esforço de organizar um laboratório universitário, de pesquisas biofísicas, em que o primeiro passo foi dado graças ao auxílio prestado por Evandro Chagas, contei sempre com o apoio das autoridades federais a que me dirigi, Drs. Gustavo Capanema, Ministro da Educação e Saúde, Luiz Simões Lopes, Presidente do Departamento Administrativo do Serviço Público, Raul Leitão da Cunha, Reitor da Universidade do Brasil, Álvaro Fróes da Fonseca, Diretor da Faculdade Nacional de Medicina, Mário Bitencourt Sampaio, Diretor da Divisão de Estudos do Departamento Administrativo do Serviço Público. Tenho tido também o generoso apoio de Guilherme Guinle, e da Fundação Rockefeller obtive a vinda para o Brasil, do Professor René Wurmser, que há mais de um ano, vem trazendo ao Laboratório de Biofísica a sólida experiência de sua cultura científica (CHAGAS FILHO, 1942, s. p.).

Mais do que estar bem assessorado, Carlos Chagas Filho estava alinhado com o que tinha de mais novo nas ciências do final da década de 1930 e início de 1940. O próprio apoio da Fundação Rockefeller reflete isso. Como bem aponta Ana Luce Lima (2011), o cenário de criação do Instituto de Biofísica foi marcado, dentre outras coisas, pela emergência de um novo modelo de organização institucional para as ciências, promovido pela Fundação Rockefeller. Em 1938, o matemático Warren Weaver, que dirigia a Divisão de Ciências Naturais da Fundação, mencionou pela primeira vez o termo biologia molecular, na intenção de referir-se à integração entre biologia, física e matemática. Ainda distante do que se tornariam os estudos biomoleculares a partir do final dos anos 1950, nesse contexto os laboratórios de ciências biológicas, de modo geral, passaram a receber uma profusão de novos equipamentos e ferramentas, como os radioisótopos, mas também os microscópios eletrônicos, ultracentrífugas, espectrômetros, cintilômetros, dentre outros (LIMA, 2011). Chagas Filho articulou bem suas expectativas com o novo laboratório e os incentivos que poderia receber caso aderisse a um programa inovador como o da biofísica.

Além disso, o cientista foi buscar inspiração para a construção de seu programa de pesquisas fora do país. Assim, empreendeu viagens à França e à Inglaterra, orientado por seu

mestre, o fisiologista Miguel Ozório de Almeida. Foi na França o seu primeiro contato com René Wurmser, estagiando em seu laboratório e sendo orientado também pelo fisiologista Alfred Fessard. Com Fessard, Chagas Filho tomou conhecimento dos estudos sobre bioeletrogênese. Em Londres, na Inglaterra, o jovem cientista brasileiro visitou laboratórios de biofísica, passando pela University College, o Kings College, e indo também à Cambridge (LIMA, 2011, p. 4). Com essas experiências, Carlos Chagas Filho definia, em 1943, a biofísica como a ciência que estuda fenômenos biológicos do ponto de vista físico ou físico-químico. Foi a partir dessa definição que o Laboratório de Biofísica iniciou suas atividades:

Desde o seu início tem o Laboratório de Biofísica se ocupado com o estudo das transformações energéticas que se passam nos seres vivos, particularmente a bioeletrogênese. Assim é que os primeiros trabalhos feitos no Laboratório foram pesquisas sobre as características da descarga do poraquê (*Electrophorus electricus*). Esses estudos iniciaram a instalação do laboratório de ocilografia catódica, dotado hoje, de duas aparelhagens para registro de potenciais bioelétricos desde 20 microvolts (CHAGAS FILHO, 1942, s. p.).

A integração da biologia com a física, no Laboratório de Biofísica, se fazia sobretudo através da presença de novos instrumentos e equipamentos científicos na paisagem dos laboratórios. Inicialmente, o Laboratório de Biofísica foi composto pelos seguintes laboratórios, criados a partir de justificativas relacionadas ao estudo da bioeletrogênese do poraquê: Laboratório de Ocilografia Catódica, Laboratório de Cultura de Tecidos, Laboratório de Oxido-Redução e Laboratório de Respiração de Tecidos. Nesses laboratórios, ao menos seis projetos de pesquisa estavam em andamento no ano de 1942. O primeiro listado, e, talvez o principal deles, era o já mencionado estudo sobre a descarga elétrica do peixe poraquê, e dos mecanismos respiratórios do chamado órgão elétrico do peixe. Outro projeto estudava a ação de culturas de miocárdio de embriões de galinha, normais e contaminados com o protozoário *Schizotrypanum cruzi*. Além disso, estudos sobre a excitação elétrica de tecidos nervosos, também nas mesmas culturas, estudos de espectroscopia de absorção do sangue, potenciais de oxido-redução em reações imunológicas e estudos sobre o chamado ‘metabolismo térmico’ também estavam em curso (CHAGAS FILHO, 1942). A equipe de Chagas Filho publicava bastante e, em 1942, o Laboratório de Biofísica já acumulava, ao todo, pelo menos 25 publicações, entre artigos científicos, discursos e outros textos.

Do mesmo modo que no CENA e no CMN, o ensino era um dos pilares fundamentais da atuação do Laboratório de Biofísica. Era necessário “formar biólogos e técnicos habituados aos novos recursos físicos empregados no estudo dos processos vitais” (CHAGAS FILHO, 1942, s. p.). Em 1942, o Laboratório de Biofísica era responsável pelo programa do

Curso de Biofísica Superior, dividido em seis partes. O curso, explicitado na ‘breve notícia’ escrita por Chagas Filho em 1942, teve a sua estrutura completa, aula por aula, publicada no documento. Em meio a uma ampla variedade de temas, com a primeira parte intitulada ‘Importância da Constituição Molecular das Proteínas no Ponto de Vista Biológico’ ministrada pelo biofísico René Wurmster, a radiação ainda era um pouco tímida dentro do programa. O próprio Wurmster ministrou uma aula sobre a constituição de proteínas fibrosas e sua análise pelo espectro de difração dos raios X. O tema aparece também, muito brevemente, e, de certa forma, indiretamente, em algumas aulas da terceira parte do curso, ministrada por Tito Lopes, sobre ‘Aplicações da Espectroscopia de Absorção à Biologia’. Lopes fala sobre técnicas para medir a absorção da radiação visível e invisível, medidas óticas, fotográficas e fotoelétricas, e algumas reações biológicas obtidas com o emprego da espectroscopia de absorção. Seu foco está, entretanto, na espectroscopia e em estudos com a absorção de luz, e não em aspectos radioativos.

Em sua tese de doutorado e em outros trabalhos (LIMA, 2009, 2011), a historiadora Ana Lima estudou, a partir de documentação oriunda do Instituto de Biofísica e alocada no arquivo da Casa de Oswaldo Cruz, um recorte da trajetória científica de Carlos Chagas Filho – de 1931 a 1951 -, e a formação inicial do Instituto de Biofísica, de 1937 a 1945, quando o Instituto é, de fato, criado. Lima argumenta que Chagas Filho tinha como uma de suas principais bandeiras a defesa da autonomia do campo científico. Além disso, o cientista estava “plenamente consciente do projeto político no qual esta mesma ciência deveria se inserir, atrelado aos ideais modernizadores e desenvolvimentistas que nortearam a ação política no pós-30” (LIMA, 2009, p. 193). O Instituto de Biofísica, de acordo com Lima, foi a tradução direta do projeto de Chagas Filho, bem como da sua rede privilegiada de sociabilidade:

Por atuar num momento de transição, Chagas Filho valeu-se, inicialmente, de recursos típicos do modelo vigente anteriormente, tais como o mecenato científico de Guilherme Guinle, além de acionar, sempre que necessário, sua rede de relações pessoais, estabelecida a partir de sua origem social, como filho e irmão de eminentes cientistas, e das que pode tecer por intermédio da família Melo Franco, à qual se ligou por laços de casamento. Exemplo disso são as verbas votadas por parlamentares como Gabriel Passos, deputado pela UDN, partido que contou com a colaboração de Virgílio de Melo Franco para sua fundação, além de Jorge Jabour e Rui Santos, aos quais dedicava constantemente seus trabalhos (LIMA, 2009, p. 194).

Essa possibilidade e capacidade de articulação de interesses também se refletiu na construção das equipes de cientistas ao longo da história do Instituto de Biofísica. O critério para recrutamento era quase sempre o conhecimento pessoal, atrelado a uma avaliação de

titularidade e produtividade, como veremos no próximo capítulo com a trajetória de Eduardo Penna Franca. Apesar disso, a atuação de Chagas Filho contribuiu para a ascensão de novos padrões profissionais para a carreira de cientista no Brasil, num contexto marcado pela criação de novas instituições científicas e pelo desenvolvimento da pesquisa na universidade, fatores que propulsionaram a “formação multidisciplinar de novos membros para a autorreprodução do complexo das ciências biomédicas” (LIMA, 2009, p. 194). Embora essas conclusões tenham sido baseadas em um estudo de caso que teve como limite temporal o início da década de 1950, muitos desses elementos serão constitutivos da história que se seguiu no Instituto de Biofísica ao longo de toda a segunda metade do século XX. Refiro-me não só ao lugar de relevo que o instituto ocupou, por todas as vantagens relacionadas ao seu cientista fundador e sua atuação, mas também a própria formação multidisciplinar dos pesquisadores, a intensa incorporação das máquinas e dos átomos na pesquisa biológica e a defesa de uma ideia de “liberdade de pesquisa, a ciência pela ciência, sem aplicabilidade imediata” (LIMA, 2009, p. 195).

O Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil foi criado oficialmente a partir do decreto-lei nº 8393, de 17 de dezembro de 1945. A primeira memória publicada sobre o Instituto de Biofísica, datada de outubro de 1948, atribuía a sua criação à ampliação dos trabalhos que já eram realizados no Laboratório de Biofísica desde 1937, “no qual se desenvolveram, pela primeira vez em nosso meio, as técnicas da Física Moderna, de maior emprego na Biologia e na Medicina” (PRIMEIRA..., 1948, p. 1), como o registro catódico e as manométricas de determinação do metabolismo celular. O Instituto de Biofísica nunca teve, de fato, a radiação e os radioisótopos como elementos centrais das suas atividades, sendo esses temas trabalhados sempre de forma setORIZADA na instituição. Apesar disso, os radioisótopos são citados em primeiro lugar como uma das principais contribuições dadas pelo Instituto de Biofísica “ao desenvolvimento de numerosos problemas da Biologia e da Medicina”. Nos seus primeiros anos, portanto, os radioisótopos começaram a ser empregados:

Na elucidação de alguns dos mecanismos celulares, bem como as investigações que tiveram como resultado o crescente progresso de nossos conhecimentos sobre a ação das radiações sobre células e tecidos, pelo qual grande avanço foi obtido nas aplicações terapêuticas de raios X e corpos radioativos (PRIMEIRA..., 1948, p. 3).

Além disso, os raios X eram utilizados em análises, juntamente com a técnica de eletroforese, no estudo da estrutura de moléculas de células, proteínas, antígenos e anticorpos. De acordo com a memória do Instituto, o desenvolvimento da nova ciência biofísica, e, nesse

caso, do próprio Instituto de Biofísica, estariam na base da chamada “nova biologia” e do “progresso incontestado da medicina” (PRIMEIRA..., 1948, p. 3-4). É interessante, nesse sentido, entender como, em 1948, se estruturava o Instituto de Biofísica. Nesse contexto, existiam quatro divisões de trabalho: a Divisão de Físico-Química Biológica, a Divisão de Eletrobiologia, a Divisão de Física Médica e Radiobiologia e a Divisão de Biofísica Celular. A radiação era explorada sobretudo nessas duas últimas divisões, principalmente a partir de trabalhos levados a cabo e publicados por Antonio Couceiro, técnico contratado do Instituto de Biofísica e chefe da Divisão de Biofísica Celular:

A Divisão de Biofísica Celular e Radiobiologia se tem ocupado com o estudo da penetração de iodo na tireoide e processos de aceleração de retardamento do mesmo, sendo de assinalar que foi usado pela primeira vez neste trabalho, no nosso continente, o iodo radioativo, em época na qual poucos laboratórios faziam uso desta técnica (PRIMEIRA..., 1948, p. 9).

Nesse contexto, no Brasil, é difícil encontrar registros da utilização de radioisótopos na pesquisa científica, e, em especial, na biologia. Como já vimos anteriormente, apenas em 1949 é criado o Laboratório de Isótopos, na FMUSP, um dos primeiros do gênero no país, e, com uma atuação importante a nível latino-americano. Nesse sentido, as atividades desenvolvidas no Instituto de Biofísica eram bastante incipientes, mas já se buscava demarcar o seu território científico a partir da escolha por trabalhar com radiação na pesquisa biológica. O programa geral do Instituto de Biofísica tinha como um dos seus temas o estudo da ação das radiações em sistemas biológicos, especificamente sobre sistemas antigênicos. Para tanto, estava em instalação uma nova válvula de raio X, e esses estudos estavam vinculados a um projeto de caracterização da capacidade antigênica do *Schizotrypanum cruzi*, organismo já estudado também em outros trabalhos dentro da instituição. Além disso, ainda em 1948, um laboratório para medidas radioativas e determinação de isótopos, “assunto com o qual se vem familiarizando o pessoal técnico há longos anos”, foi finalmente instalado (PRIMEIRA..., 1948, p. 12). A radiação também aparecia no desenvolvimento de cursos dentro da instituição, como um curso de extensão de 1947 que teve 187 alunos matriculados para aprender sobre “Biofísica das Radiações de Pequeno Comprimento de Onda (Raios Ultravioleta, Raios X, Beta e Gama)” (PRIMEIRA..., 1948, p. 15).

Enquanto várias agendas de pesquisa começavam a ganhar corpo no Biofísica, Carlos Chagas Filho pleiteava a criação de um quadro de pesquisadores no instituto, de acordo com as normas do seu próprio regimento, “o qual prevê as 3 etapas da carreira que deve correr paralela à do magistério, a admissão mediante concurso de títulos e trabalhos e acesso

subsequente, bem como o regime de tempo integral a que deve obedecer” (PRIMEIRA..., 1948, p. 21). Como aponta Lima (2009), a pesquisa no Instituto de Biofísica se fazia alinhada a uma série de reivindicações, visando a construção de um novo modelo de pesquisa. “Só assim, assegurados os direitos, criadas perspectivas de futuro, poderá a pesquisa se desenvolver num ritmo crescente de perseverança e continuação” (PRIMEIRA..., 1948, p. 22). Muitos pesquisadores do Biofísica trabalhavam então como técnicos contratados, como no caso de Aristides Azevedo Pacheco Leão, chefe da Divisão de Eletrobiologia, Manoel da Frota Moreira, chefe da Divisão de Física Médica e Radiobiologia, e o já mencionado Antonio Couceiro, na Divisão de Biofísica Celular. Alguns pesquisadores aparecem como biólogos do “Quadro Extraordinário da Universidade do Brasil”, como era o caso de Alberto Barbosa Hargreaves, na Divisão de Física Médica e Radiobiologia. Nessa mesma divisão, ainda como estagiário do Instituto de Biofísica, já se encontrava Luiz Renato Caldas (PRIMEIRA..., 1948, p. 23).

Sendo as divisões de biofísica celular e de física médica e radiobiologia as duas que possuíam, nesse contexto, alguma interação com o tema da radiação, cabe também mencionar os instrumentos científicos e outros aparatos que compunham a dimensão material desses grupos de trabalho. No caso da Divisão de Biofísica Celular, além de vários microscópios, para microscopia de ultravioleta, fluorescência e de contraste de fase, a divisão possuía monocromadores de água e de quartzo, aparelhos para técnica de micro incineração, lâmpada de ressonância de mercúrio para radiação e um laboratório de cultura de tecidos para experimentações com culturas celulares. Por sua vez, a Divisão de Física Médica e Radiobiologia possuía uma válvula de raio X, um laboratório de medidas radioativas, aparelhos para técnica de medidas de gases no sangue, aparelhos de metabolismo e para execução da técnica de calor respiratória, um laboratório de cultura de tripanossomas e um biotério (PRIMEIRA..., 1948, p. 26).

Ainda que os radioisótopos não apareçam especificados como elementos constituintes das listas de equipamentos das divisões em 1948, como já mencionado anteriormente, alguns estudos haviam se iniciado há alguns anos utilizando esses objetos. Na Primeira Reunião Conjunta das Sociedades de Biologia do Brasil, ocorrida em São Paulo, e que teve a publicação das contribuições apresentadas no evento pelo Instituto de Biofísica em 1947, uma nota prévia de pesquisa assinada por Couceiro, Chagas Filho, Ferreira e Hargreaves falava de experimentos conduzidos no instituto sobre a vitamina A e o metabolismo da tireoide. Como já apresentado no subtópico anterior deste mesmo capítulo, os radioisótopos encontraram terreno fértil no imediato pós-guerra em estudos de metabolismo, sobre doenças endócrinas e,

em específico, sobre a glândula tireoide. Como a própria nota dos pesquisadores do Instituto de Biofísica apontava, novas técnicas, como a autografia e a determinação da radioatividade pelo contador Geiger-Müller, levaram o tema do metabolismo da tireoide, que já era estudado, a um outro contexto experimental, permitindo “que o velho problema possa ser encarado sob um novo prisma” (COUCEIRO et al, 1947, p. 16). Desse modo, com os radioisótopos, e, em especial, o radioiodo, seria possível entender o papel da vitamina A e sua interação com o iodo na tireoide.

O experimento conduzido pelos pesquisadores do Instituto de Biofísica envolveu o radioiodo (I-131) em grupos de ratos em estado de hipervitaminose por vitamina A, e ratos normais, que tiveram seu metabolismo acelerado com hormônio tireotrópico. Durante dez dias, foram administradas doses de vitamina A, radioiodo e hormônio tireotrópico. Um dos grupos de ratos foi utilizado como grupo controle:

As diferenças entre os três grupos se mostraram estatisticamente significativas ao lhes ser aplicado o *test t*, proposto por Student para a significação de pequenas amostras em biologia. A vitamina A se mostrou capaz de diminuir a penetração do iodo na glândula tireoide. Não estamos, no momento em condições para responder se este efeito da vitamina A resulta de uma interferência com o hormônio tireotrópico ou se ele se exerce nos sistemas encarregados de metabolizar o iodo inorgânico. Pensamos em breve voltar ao assunto (COUCEIRO et al, 1947, p. 16).

Ainda que os resultados fossem preliminares, e um teste tenha sido aplicado para entender os significados das “pequenas amostras” do experimento com os grupos de ratos, é possível ter uma noção, a partir do relato dos cientistas, de como os radioisótopos inicialmente impactaram as agendas de pesquisa do Instituto de Biofísica. Eles seguiram o fluxo dos estudos bioquímicos sobre metabolismo, vitaminas e hormônios, possibilitando vislumbrar, ainda que de modo tímido, interações intracelulares que anteriormente não podiam ser vistas.

Numa listagem do ano de 1960, contendo 322 trabalhos publicados pelo Instituto de Biofísica, compreendendo toda a produção científica da instituição de 1946 a 1959, foram contabilizados 49 trabalhos envolvendo radiação, radioisótopos e temas correlatos. Os primeiros trabalhos, ainda da década de 1940, foram executados, quase que em sua totalidade, por Antonio Couceiro, sendo várias publicações assinadas também por Chagas Filho. Ambos os pesquisadores, adentrando a década de 1950, deixariam um pouco de lado os estudos com radiação, que passaram a ser produzidos sobretudo por Luiz Renato Caldas, na radiobiologia, e Eduardo Penna Franca, nos estudos gerais com radioisótopos. De 1946 a 1950, Couceiro, juntamente com Chagas Filho, Alberto Barbosa Hargreaves, De Robertis, Moura Gonçalves e

Martins Ferreira publicaram estudos sobre radioiodo e tireoide, envolvendo vitaminas, metabolismo e experimentação animal. Couceiro também escreveu textos mais genéricos, por exemplo, sobre o emprego de elementos artificialmente radioativos na pesquisa biológica e médica, publicado na revista *Medicina, Cirurgia e Farmácia* em 1948. Em 1949, Cezar Antônio Elias, personagem que, assim como Luiz Renato Caldas, teve sua trajetória científica marcada por uma estreita relação com radiobiologistas franceses, publicou, juntamente com Raymond Latarjet (1911-1998) e N. P. Buu-Hoi, artigo sobre a produção de uma mutação bacteriana induzida por carcinógenos solúveis em água (LATARJET, ELIAS e BUU-HOI, 1949). Esse foi também o início de uma colaboração de décadas com pesquisadores da França, que em 1949 ministraram cursos sobre radiação em biologia no Instituto de Biofísica.

Nas publicações da década de 1950, excetuando os trabalhos assinados por Caldas e Penna Franca, existem estudos como o de Rodrigues Pereira, de 1953, que em sua tese apresentada à Faculdade Nacional de Farmácia pesquisou a radiocristalografia de alguns produtos farmacêuticos (RODRIGUES PEREIRA, 1953). Ou então os trabalhos de Hargreaves com radiação ultravioleta (HARGREAVES, 1955), de Baruki, Chagas Filho, Miranda e Frota Moreira, que avaliaram a técnica de perfusão por radiografia (BARUKI et al, 1955), e de Frota Moreira, Miranda, Cezar Elias e Almeida, sobre a ação das radiações UV sobre a pele (FROTA MOREIRA et al, 1955). Chagas Filho também assinou, junto com Fonseca e Mesquisa, um texto sobre estatísticas do uso terapêutico de radioisótopos, apresentado no VIII Congresso Internacional de Genebra, em 1955. Por fim, em 1959, Pinto Coelho publicou os artigos ‘Proteção contra radiação’, na revista *Foton*, e ‘Contaminantes radioativos em materiais biológicos’, na *Dalphos*.

É possível perceber, a partir da amostragem aqui analisada, como o tema da radiação no Instituto de Biofísica, demarcava o lugar da instituição nas esferas científica, política e econômica, sobretudo em âmbito internacional, como em congressos, fóruns, agências e na participação de programas de cooperação, apesar de não constituir a principal agenda de pesquisa promovida por Chagas Filho. Até 1956, quando Eduardo Penna Franca passa a chefiar o Laboratório de Radioisótopos, a própria circulação dos radioisótopos entre os grupos de pesquisa não era algo tão comum. Naquele mesmo ano do ingresso de Eduardo Penna Franca e da criação do Laboratório de Radioisótopos, em 1956, notícia publicada em 7 de junho no *Correio da Manhã* (RJ) denunciava o descaso do governo brasileiro com as dificuldades de infraestrutura enfrentadas pelo Instituto de Biofísica, ressaltando que os estudos com isótopos radioativos pelos seus pesquisadores, necessitavam de apoio internacional, sobretudo dos Estados Unidos:

Na Era Atômica. Indiferente o governo ante as pesquisas com isótopos radioativos. O Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil só encontra dificuldades, em seu caminho – O que os poderes públicos não dão o estrangeiro empresta – A odisséia que vivem os nossos cientistas (NA ERA ATÔMICA..., 1956, p. 3).

Naquele momento, estava programado o curso de metodologia de radioisótopos ministrado pelo professor John Cooper, um evento importante na história dos radioisótopos dentro do Instituto de Biofísica. O jornal noticiava as dificuldades enfrentadas por Chagas Filho para que os equipamentos emprestados pelos EUA para o curso pudessem entrar no Brasil:

O governo não deu nada. Mas nem facilitar a vinda desse equipamento pode providenciar. Tratou a entrada do material científico como encararia a vinda de um “Cadillac”. Talvez de modo pior. Nada de facilidades. Resultou daí que o prof. Carlos Chagas Filho viu-se na contingência de tirar o avental e ir para a CACEX tratar da entrada desses apetrechos. Ontem falamos com ele. Faz um mês que peregrina pelos corredores do Banco do Brasil. Mas estava alegre. Parecia que, finalmente, haviam consentido em autorizar a entrada do equipamento. E tudo só por uns tempinhos. Porque tudo está sendo feito na base do empréstimo, como não podia deixar de ser. Quer isso significar que terminando o curso sobre metodologia de isótopos, essa preciosa maquinaria retornará aos Estados Unidos. E os cientistas atômicos brasileiros continuarão a fazer prodígios com o minguado *scaler* e os já exaustos contadores Geiger (NA ERA ATÔMICA..., 1956, p. 3).

Os equipamentos utilizados no curso de 1956, entretanto, foram doados à instituição pelo empresário Guilherme Guinle, mecenas do Biofísica desde a sua criação. A situação relatada pelo jornal permite perceber como o trabalho com radioisótopos dependia da influência internacional nos laboratórios brasileiros, e, em especial, dos Estados Unidos, de forma semelhante ao que vimos que ocorria no caso do Centro de Medicina Nuclear da FMUSP.

Em vista da priorização, por Chagas Filho, das pesquisas com o peixe elétrico como emblema da instituição, da circulação restrita dos radioisótopos ao menos até 1956, e do tema da radiação ser setorizado e desenvolvido por personagens específicos, cabe entender a atuação desses cientistas que constituíram linhas de pesquisa com esses elementos no Instituto de Biofísica. No caso dos radioisótopos, objeto de grande interesse científico internacional, entenderemos, no próximo capítulo, como a trajetória científica de Eduardo Penna Franca esteve relacionada com a estratégia de Chagas Filho de preencher essa lacuna nas agendas de pesquisa da instituição, desde o momento em que, ainda muito jovem, Penna Franca foi escolhido por uma comissão, que incluía Chagas, a estagiar por dois anos nos EUA, estudando radioisótopos. No seu retorno ao Brasil, o cientista foi convidado por Chagas Filho

a trabalhar no Biofísica, assumindo a chefia do recém-criado Laboratório de Radioisótopos, que a partir da década de 1960 iria protagonizar o desenvolvimento de novas agendas de pesquisa envolvendo radioisótopos e estudos ambientais.

Além de Penna Franca, a trajetória científica de Luiz Renato Caldas com estudos radiobiológicos e fotobiológicos no Instituto de Biofísica levou à constituição de outros sistemas experimentais, envolvendo bactérias e doses de radiação ionizante. Ainda que Caldas não tenha trabalhado diretamente com radioisótopos, tal como Penna Franca, entender o seu papel na formação da radiobiologia dentro do Instituto de Biofísica ajuda a compreender como o contexto geral de interesse pelo universo nuclear e radioativo fomentou novas práticas científicas na biologia brasileira. Ou seja, ainda que Caldas se vinculasse mais estreitamente à tradição radiobiológica francesa, e também à clínica médica - diferente de Penna Franca -, seus trabalhos pioneiros, surgidos no início da década de 1950 e impulsionados pelo incentivo à pesquisa sobre os efeitos da radiação nos seres vivos, estão relacionados aos primeiros estudos de biologia molecular no Brasil. A partir dos trabalhos iniciados por Eduardo Penna Franca com o Laboratório de Radioisótopos, podemos visualizar, ao longo das décadas seguintes, a formação de um dos primeiros núcleos brasileiros dedicados, na prática, a estudos de ecologia de ecossistemas. Em contrapartida, os trabalhos de Luiz Renato Caldas sobre mecanismos de restauração celular após lesões radioativas contribuíram para a formação de uma das principais agendas de pesquisas em biologia molecular a partir de cientistas que tiveram contato com ele.

A afirmação de que o Instituto de Biofísica teve apenas trabalhos pontuais com temas radioativos fora daqueles desenvolvidos por Luiz Renato Caldas e Eduardo Penna Franca não quer dizer que o assunto foi negligenciado na instituição. Apesar de não ser um dos temas centrais, a radiação e os radioisótopos eram elementos fundamentais na constituição do novo centro e modelo de pesquisa preconizado por Chagas Filho. Os radioisótopos conectavam o Instituto de Biofísica com o que estava se fazendo de mais novo na comunidade científica internacional. Mais do que isso, os radioisótopos eram elementos intermediadores de interesses entre institutos de pesquisa como o Instituto de Biofísica, e programas estratégicos como o norte-americano Átomos para a Paz, ou as atividades da AIEA e da UNESCO. Desse modo, as agendas de pesquisa encabeçadas por Caldas e Penna Franca resultaram, dentre outras coisas, das relações entre agências, interesses políticos e cientistas, num momento bastante aquecido da Guerra Fria.

Em 1960, o balanço dos trabalhos com radiação feitos no Biofísica era o seguinte: com radioisótopos, vinha sendo investigado o metabolismo do iodo na tireoide, a partir do I-

131, considerado o “primeiro uso de compostos radioativos para pesquisas biológicas na América Latina” (O INSTITUTO..., 1960, p. 9), iniciado entre 1944 e 1946, além de estudos sobre a contaminação de plantas por radioatividade natural, absorção de iodo marcado pela tireoide, mecanismos de curarização no órgão elétrico do poraquê e estudos de medição da precipitação radioativa ocasionada por explosões nucleares. Por sua vez, as investigações em radiobiologia envolviam, desde o início dos anos 1950, o estudo da restauração de microrganismos irradiados por catalase. Um estudo quantitativo sobre pequenas doses de radiação estava sendo executado, a partir da utilização do sistema lisogênico da bactéria *Staphylococcus albus*, organismo considerado extremamente sensível à radiação. No subtópico a seguir, esses estudos serão analisados a partir da trajetória científica de Luiz Renato Caldas, e da sua atuação pioneira nos campos da rádio e fotobiologia.

2.3.2 Luiz Renato Caldas e os estudos radiobiológicos

Nascido no dia 15 de julho de 1929 na cidade de Macaé, no Rio de Janeiro, Luiz Renato Carneiro da Silva Caldas (1929-1991) era filho de Jorge Ribeiro da Silva Caldas e Clarisse Carneiro da Silva Caldas. Concluiu seu ginásio em 1944 no Colégio São José, no Rio de Janeiro, e o seu colegial em 1947 pela mesma instituição. cursou medicina na Faculdade de Medicina da Universidade do Brasil (hoje UFRJ), formando-se em 1954. Já no final da década de 1940, como vimos acima, Caldas estava integrado como estagiário à Divisão de Física Médica e Radiobiologia. Em 1948, Chagas Filho visitou o Institut du Radium, na França, à época dirigido por Antoine Lacassagne (1884-1971), instituição na qual estagiava, desde 1947, com fomento do próprio governo francês, o pesquisador do Instituto de Biofísica, Cezar Antonio Elias. Com o objetivo de desenvolver estudos rádio e fotobiológicos no Instituto de Biofísica, Chagas Filho convidou Lacassagne e também Raymond Latarjet (1911-1998), radiobiologista que orientava Elias, para ministrarem cursos no Rio de Janeiro sobre o tema da radiação na medicina e nas ciências biológicas. Assim, em 1949, Lacassagne ofereceu o curso “Problemas de Cancerologia Experimental”, e Latarjet “Ação Biológica das Radiações”.

De acordo com Leitão (2013a), os cursos atraíram vários estudantes, incluindo Luiz Renato Caldas, que já possuía interesse pelo tema. No ano seguinte aos cursos, Caldas iniciou seu primeiro estágio na França, ocorrido entre 1950 e 1951, entre o Institut du Radium, na Universidade de Paris, e o Serviço de Radioterapia (Fondation Curie). Caldas foi orientado por Latarjet, e recebeu bolsa da UFRJ. Em 1951, mesmo ano de criação do CNPq, foi criado,

no Instituto de Biofísica, o Laboratório de Radiobiologia, inicialmente chefiado por Manoel da Frota Moreira. Assim que o CNPq passou a financiar pesquisas de estudantes, Caldas tornou-se bolsista da recém-criada instituição, o que perdurou durante grande parte de sua formação em medicina, de 1951 a 1954. Logo após se formar, o cientista viajou novamente à França para mais um estágio de pesquisa, que dessa vez durou de 1956 a 1957, no Institut du Radium. Se no primeiro estágio Caldas foi financiado com bolsa própria da UFRJ, conseguida por intermédio das articulações de Carlos Chagas Filho, dessa vez o jovem médico viajou com o patrocínio do CNPq, instituição que tinha Chagas Filho em seu conselho.

Entre a formação de Caldas e seu segundo estágio na França, outros eventos interessantes aconteceram, como a vinda de Latarjet, em 1954, para ministrar um novo curso no Instituto de Biofísica, intitulado “Aspectos Modernos da Radiobiologia”. Naquele mesmo ano, Luiz Renato Caldas integrou-se ao corpo de pesquisadores do Instituto de Biofísica. Além disso, em 1955, Caldas foi aprovado no concurso para o Hospital dos Servidores do Estado (HSE), na especialidade de radioterapia. Em 1958, após o seu retorno da França, Caldas passou a chefiar o Laboratório de Radiobiologia. Com a defesa de sua tese em 1960, que analisarei adiante, Caldas foi considerado pioneiro nos estudos de reparação de DNA no Brasil, o que levou o cientista a ser eleito membro titular, em 1974, da Academia Brasileira de Ciências. Em 1962, Caldas foi nomeado pesquisador da UFRJ, e no ano seguinte virou chefe da clínica do Serviço de Radioterapia do HSE. Em 1964, foi nomeado membro da Comissão Deliberativa da CNEN. Nessa posição, integrou a delegação brasileira enviada a Assunção, no Paraguai, para inauguração da exposição “Átomos para o Desenvolvimento”, um projeto estabelecido em parceria entre os dois países. Na CNEN, Caldas chegou a responder como presidente, durante o mês de fevereiro do ano de 1965. Essas posições alcançadas pelo médico, assim como no caso de Chagas Filho, possibilitaram, desde o início dos anos 1950, o desenvolvimento e a aprovação de vários projetos de pesquisa do Instituto de Biofísica, com o patrocínio da CNEN (LEITÃO, 2013a, p. 153).

Antes de analisar os trabalhos de Caldas no laboratório, e na articulação com outros cientistas em eventos temáticos, é importante detalhar a infinidade de cargos políticos de relevância ocupados pelo cientista. Esse detalhamento é essencial para compreender a posição de vanguarda do Instituto de Biofísica nos estudos radiobiológicos e fotobiológicos no Brasil. Na década de 1960, no HSE, Caldas foi membro do Conselho Técnico-Científico (1964-1966), membro da Comissão de Reestruturação (1968), chefe do Serviço de Radioterapia (1968), membro da Comissão Técnico-Científica (1968) e membro da Diretoria do Centro de Estudos (1968). De acordo com Leitão (2013a), isso contribuiu para que o hospital se tornasse

referência em radioterapia. No final da década de 1960, Caldas também integrou o corpo editorial de revistas como a *Revista Brasileira de Pesquisas Médicas e Biológicas*, e participou ativamente de várias sociedades científicas, não apenas relacionadas à rádio e fotobiologia.

Caldas ocupou também uma série de cargos e funções administrativas na UFRJ. Em 1966, chefiou o Departamento de Biofísica Molecular e em 1967 assumiu a Chefia Pró-Tempore do Departamento de Radiobiologia. Além disso, foi nomeado em 1969 Professor Adjunto da UFRJ. Em 1971, Caldas passou a integrar o corpo de estagiários da Escola Superior de Guerra (ESG), e, no ano seguinte, se tornou membro do corpo permanente da ESG. Na ESG, participou de três cursos de atualização, em 1971, 1976 e 1981, o chamado “Curso Superior de Guerra” (CALDAS, [entre 1980 e 1990], p. 18). Segundo Leitão (2013a), a presença de Caldas na ESG o fez conhecido entre os militares, “e é possível que, mais tarde, este fato tenha contribuído para sua nomeação, pelo Presidente da República, para o cargo de Reitor da UFRJ” (LEITÃO, 2013a, p. 154).

Apesar de ser coerente a afirmação de Leitão (2013) associando a presença de Caldas na ESG e sua posição angariada como Reitor da UFRJ, de 1977 a 1981, é preciso contextualizar melhor a relação do próprio Instituto de Biofísica e seus pesquisadores com os governos militares instaurados a partir do golpe de 1964. No dia 1º de abril de 1965, um ano após a data do golpe militar, jornais como o *Diário Carioca* (RJ) e o *Jornal do Brasil* (RJ) noticiaram um manifesto assinado por 300 intelectuais e professores universitários brasileiros. “300 intelectuais lançam manifesto: apoio à Revolução” (300 INTELECTUAIS..., 1965, p. 3), era a manchete no *Diário Carioca*, enquanto no *Jornal do Brasil* a notícia tinha como título “Professores felicitam Revolução em manifesto” (PROFESSORES..., 1965, p. 5). O documento tinha a maioria dos signatários oriundos da Paraíba, totalizando 153, seguido do estado da Guanabara, com 77, Rio Grande do Norte, com 37, Pernambuco, com 23, Bahia com 3, Rio Grande do Sul com 5 e Minas Gerais também com 5 signatários. Diferente do *Diário Carioca*, que replicou apenas os nomes dos signatários de Guanabara e alguns trechos do manifesto, o *Jornal do Brasil* publicou todos os nomes que assinaram o documento, e reproduziu o texto na íntegra. O manifesto completo dizia:

Nossa palavra, quando a Revolução brasileira completa o primeiro aniversário, não é apenas de compreensão pelo Movimento Nacional que interrompeu o processo de desorganização administrativa, de subversão dirigida e de anarquia social. Testemunhamos como o Governo deposto movia aquele processo. A documentação, já histórica, não permitirá esquecer, à sombra da política econômica inflacionária e das crises provocadas oficialmente, o objetivo ideológico de conduzir o País à traição

de seu próprio destino. A Revolução de março, possível sem sangue porque impulsionada pelo povo – em seus lares, em suas igrejas, em seus quartéis – pode provar que se fez para salvaguardar, no Brasil, constante vocação democrática. E, após um ano de trabalho incessante para corrigir a desordem social e anular-lhe as consequências, a Revolução se espelha em seus próprios atos. Esses, com base nas reformas econômicas e políticas, reafirmam o sentido democrático que manteve, ao assegurar no Congresso e na Justiça o direito dos brasileiros ao abrigo das leis. Ao organizar para desenvolver, ao atingir todos os setores de trabalho, favoreceu sobretudo – com a ordem social reposta – a atividade intelectual, que se revela no funcionamento normal da educação. As escolas, com a liberdade de cátedra, estão abertas em aproveitamento irrestrito. Negando a censura, permitindo que a criação artística e a pesquisa científica se expandissem sem motivações ideológicas, não impediu que a crítica ou o debate se armasse em indústria editorial tão livre quanto a imprensa. Fazendo-se para manter a democracia, e após o primeiro ano, a Revolução não se contradisse. As eleições, diretas, já marcadas para outubro, comprovam sua coerência. A nossa palavra, em consequência, e porque de testemunho, é também de apoio. Em 31 de março de 1965 (PROFESSORES..., 1965, p. 5).

Entre os signatários do manifesto oriundos do Rio de Janeiro, estavam alguns nomes conhecidos, como o do microbiologista Paulo de Góes (1913-1982) e o dos médicos Clementino Fraga Filho (1917-2016) e Paulo da Silva Lacaz (1913-1991), para citar apenas alguns exemplos. O Instituto de Biofísica também teve uma grande presença de signatários do manifesto, a começar pelo próprio Carlos Chagas Filho, mas também Darcy Fontoura de Almeida, Carlos Eduardo Rocha Miranda, Aída Hassón-Voloch, Eduardo Penna Franca, Alberto Barbosa Hargreaves e Aristides Leão. Apesar do nome de Luiz Renato Caldas não constar nesse documento, a ligação de vários pesquisadores importantes do Instituto de Biofísica com o manifesto indica uma série de elementos interessantes para esta análise. Analisando a relação dos físicos com a ditadura militar no Brasil, Ildeu Moreira (2014) menciona o caso de um físico que teria assinado o referido manifesto, de um total de 34 físicos selecionados em sua amostragem que foram atingidos por ações ditatoriais (prisão, aposentadoria, demissão, censura, impedimento ou cerceamento de atividades científicas). Segundo Moreira, o fato desse físico, que depois sofreu as consequências de ações ditatoriais citada acima, ter assinado o manifesto de 1965 pró “revolução”, “não significa que tenha coonestado com as práticas posteriores mais duras do regime. Praticamente todos tiveram sua vida profissional, grupo de pesquisa ou laboratório afetados, embora alguns deles mencionem que não foram atingidos, do ponto de vista pessoal, pela ditadura” (MOREIRA, 2014, p. 48).

Enquanto este físico e vários pesquisadores do Instituto de Biofísica que assinaram o manifesto em favor do golpe militar de 1964 podem ter sofrido mais tarde com o regime em seus anos mais “duros”, Luiz Renato Caldas, que não aparece como signatário do documento

em apoio ao regime militar, parece ter sido beneficiado de sua íntima relação com os militares na ESG, tornando-se reitor da UFRJ em 1977. Esses elementos complexos envolvendo ciência e ditadura militar no Brasil fazem parte, como já mencionado antes, de um espectro de atitudes de acadêmicos e professores universitários no período do regime militar, como resistência, acomodação, omissão e adesão. De acordo com Rodrigo Patto Sá Motta (2014), houve um paradoxo entre perseguições violentas a cientistas, professores e estudantes, ao mesmo tempo em que eram repassados recursos para a ciência, e, por exemplo, se desenvolvia amplamente a pós-graduação no Brasil. Os textos de Moreira (2014) e Freire (2007) corroboram essa análise. Esses autores falam das ambiguidades existentes no regime militar brasileiro, em que cientistas eram aposentados compulsoriamente, enquanto outros recebiam incentivos, e novas agendas de pesquisa eram implementadas.

Segundo Motta (2014), o regime militar brasileiro foi autoritário e conservador ao mesmo tempo, e manteve três fontes ideológicas principais: o nacionalismo autoritário, o liberalismo e o conservadorismo, além da tradição anticomunista. Assim como escrito no manifesto assinado pelos intelectuais em 1965, o regime militar afirmava, ao mesmo tempo, “os valores democráticos e liberais, a defesa da autoridade e da pátria “una e indivisa”, e a exaltação da família e da ordem social tradicional” (MOTTA, 2014, p. 72). A junção aparentemente paradoxal entre valores democráticos, ditadura e instituições liberais, relaciona-se com a própria configuração do golpe, resultado da aproximação de grupos ideologicamente diferentes, “unidos apenas por pauta negativa comum”, a ameaça comunista.

Não que houvesse entre eles, efetivamente, democratas. Tais setores preferiam um tipo de autoritarismo liberal capaz de garantir estabilidade, afastar os riscos de mudança social, e, ao mesmo tempo, evitar que a repressão muito intensa tornasse a luta armada a única opção dos opositores (MOTTA, 2014, p. 72).

Como apontado por Moreira (2014), persiste a escassez de trabalhos sobre ciência durante o regime militar brasileiro. Com relação ao Instituto de Biofísica durante esse contexto, desconheço, do mesmo modo, a existência de trabalhos que enfatizem essas relações. O tema tampouco foi tratado nos diversos livros e materiais existentes sobre a memória dos “Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho”, trabalhos em geral organizados por cientistas ainda vivos que conviveram com Chagas Filho e participaram das primeiras décadas de desenvolvimento da instituição (ALMEIDA e SOUZA, 2010, 2013; BOTARO e SOUZA, 2017). É nesse sentido que esta análise se justifica. A intenção aqui é menos produzir uma acusação retrospectiva aos pesquisadores do Instituto de Biofísica acerca

das suas relações com o regime militar do que evidenciar, em sintonia com a historiografia sobre o tema, como uma instituição cientificamente relevante como o Instituto de Biofísica, que se desenvolveu largamente entre as décadas de 1960 e 1980, se valeu de artifícios, contatos, da acomodação e das próprias ambiguidades do regime militar. Se, como já demonstrado anteriormente neste texto, o Instituto de Biofísica esteve alinhado, desde o seu início, com os ideais modernizadores e com as elites políticas, econômicas e culturais, que apoiaram Chagas Filho na construção da instituição, isso não foi diferente durante o período militar. O ideal de ciência preconizado por Chagas Filho, de um conhecimento não orientado pela busca de sua aplicabilidade imediata, e a formação de um novo modelo organizacional de trabalho na universidade, buscando estabilidade, são aspectos que também podem explicar a adesão desses pesquisadores, ao menos inicialmente, aos ideais do golpe militar de 1964.

Todos esses aspectos ajudam a compreender melhor as várias posições políticas e científicas ocupadas por Luiz Renato Caldas ao longo de sua trajetória profissional. Ao mesmo tempo em que assumia cargos na ESG, na UFRJ e na CNEN, Caldas demarcava seu território como radiobiologista. Já na administração da UFRJ, o cientista passou por vários setores importantes, sendo membro suplente e depois membro efetivo do Conselho de Ensino para Graduados (CEPG), em 1970, membro do Conselho Universitário, membro do Conselho de Coordenação Executiva, Sub-reitor de Ensino para Graduados e Pesquisa, e presidente do CEPG em 1973. Em 1977, foi nomeado membro do Conselho de Curadores, membro do Conselho Superior de Coordenação Executiva, presidente do Fórum de Ciência e Cultura, e, é claro, Reitor da UFRJ. Como reitor, Caldas inaugurou o Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, e consolidou a Fundação Universitária José Bonifácio (LEITÃO, 2013a, p. 154).

Além de todos esses cargos ocupados na administração da UFRJ, Caldas assumiu uma série de outros cargos políticos, integrando várias comissões universitárias, técnicas e científicas, incluindo o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), da Nuclebrás, e o CNPq. No nível internacional, sua presença esteve quase sempre relacionada a questões nucleares e ao debate sobre radiação ionizante, além de intercâmbios nos temas da radiobiologia e fotobiologia. Em 1960, Caldas esteve presente, juntamente com a CNEN, numa missão junto ao Commissariat à l'Energie Atomique e ao Institut du Radium, em Paris, para estudar a síndrome aguda da radiação. Também em 1960, visitou a sede da AIEA, em Viena, na Áustria, e assinou contrato com a ONU para integrar o secretariado científico e o Comitê Científico das Nações Unidas para Estudos dos Efeitos das Radiações Atômicas, o UNESCEAR, em Nova York. Foi através do UNESCEAR, como veremos no próximo capítulo, que se desenvolveu no Instituto de Biofísica um dos principais programas de

pesquisa, coordenado por Eduardo Penna Franca a partir do início da década de 1960. No caso de Caldas, sua participação em reuniões da UNESCEAR envolveu sua posição como membro da delegação brasileira, relator e presidente de reunião, durante vários encontros ocorridos entre 1962 e 1977, quando se encerrou sua participação na UNESCEAR (LEITÃO, 2013a, p. 155). O cientista também participou como membro de outras comissões e comitês internacionais sobre radiação, como o conselho da International Association for Radiation Research (IARR) e o comitê de radiações da International Union of Pure and Applied Biophysics (IUPAB).

Para além dos cargos políticos ocupados por Luiz Renato Caldas, seu principal tema de trabalho foi o das restaurações celulares. Isso só foi possível pelo diálogo que desenvolveu com radiobiologistas franceses ainda no final da década de 1940. Com exceção de seu primeiro artigo publicado, *Courbes de survie de levures haploides et diploides soumises aux rayons UV* [Curva de sobrevivência de leveduras haploides e diploides submetidas à radiação ultravioleta] (CALDAS e CONSTANTIN, 1951), suas três outras publicações iniciais foram em conjunto com Raymond Latarjet ou seu orientando Cezar Antônio Elias (LATARJET e CALDAS, 1952; ELIAS e CALDAS, 1953; LATARJET et al, 1954).

Em *Restoration induced by catalase in irradiated microorganism* [Restauração induzida por catalase em microrganismo irradiado], publicado no periódico *The Journal of General Physiology* em 20 de janeiro de 1952, Caldas e Latarjet se debruçaram sobre um fenômeno recém-descoberto por Jacques Monod e sua equipe, a catalase¹²², buscando investigar a partir de uma série de cepas bacterianas a sua natureza química, a sua relação com a ‘lisogenicidade’ de bactérias sensíveis e as implicações dessas restaurações dentro da discussão da radiosensibilidade celular (LATARJET e CALDAS, 1952). O trabalho de Caldas e Latarjet dialogava com grandes nomes da nascente biologia molecular, como Monod e André Lwoff¹²³, adentrando num dos temas mais candentes da biologia do pós-guerra: os mecanismos celulares e moleculares. O fato de o primeiro trabalho de Luiz Renato Caldas já possuir esse peso sugere o dinamismo presente no instituto coordenado por Carlos Chagas Filho e a densidade dos contatos internacionais fomentados por ele. Também indica o motivo

¹²² A ‘descoberta’ de Monod e colaboradores, em 1949, verificou que a sobrevivência de bactérias irradiadas com U.V. dependia da presença ou não da enzima catalase no meio de semeadura. Se a enzima estivesse presente a sobrevivência tornava-se muito maior (CALDAS e ALCÂNTARA GOMES, 1972, p. 142).

¹²³ Jacques Monod e André Michel Lwoff, ambos prêmios Nobel de Fisiologia ou Medicina no ano de 1965, juntamente com François Jacob, foram personagens centrais na reconfiguração pela qual passou a biologia na década de 1960. Os três receberam o prêmio por suas descobertas relacionadas ao controle genético da síntese de enzimas e vírus.

pelo qual Caldas se tornou o nome pioneiro da radiobiologia e fotobiologia no Brasil, consolidando uma escola de cientistas que, pelo estudo da interação entre sistemas biológicos e radiação, pavimentou uma das vias da institucionalização da biologia molecular no país.

Entre a publicação dos seus primeiros trabalhos sobre restaurações celulares após irradiação e sua tese, em 1960, Caldas publicou alguns outros trabalhos, como os artigos ‘Ação de peróxidos orgânicos sobre bactérias lisogênicas’ e *Lethal effect of peroxydes on certain bacterial systems* [Efeito letal de peróxidos em certos sistemas bacterianos] (CHAGAS FILHO, CALDAS e ELIAS, 1957), ambos nos *Annaes da Academia Brasileira de Ciências*. O cientista também publicou sobre alguns experimentos acerca da inibição da bactéria *E. coli* pelo levedo da cerveja, sobre a potenciação de peróxidos orgânicos pelo ácido úrico e sobre a restauração via catalase e o chamado efeito HPOX na bactéria *Salmonella typhimurium* (CALDAS, [entre 1980 e 1990]), para citar apenas alguns exemplos.

No prefácio de sua tese, intitulada ‘Restaurações celulares após irradiação’, apresentada como tese de doutoramento à Faculdade Nacional de Medicina da Universidade do Brasil, em 1960, Caldas menciona ter sido sugestão de Carlos Chagas Filho a organização num único trabalho dos resultados obtidos durante a década de 1950 com seus estudos com microrganismos irradiados e a restauração por catalase. Assim, sua tese é uma reunião dos trabalhos efetuados no laboratório de Radiobiologia do Instituto de Biofísica:

Vislumbrada em 1949 por Monod, Torriani e Jolit em nota publicada nos “Comptes Rendus de l’Academie de Sciences de Paris”, foi a restauração pela catalase abordada por Latarjet e por mim em 1952 quando em trabalho publicado no “Journal of General Physiology” estabelecemos os aspectos fundamentais deste tipo de restauração que constitui até hoje o único exemplo de restauração provocada por uma substância química em seres unicelulares irradiados (CALDAS, 1960, p. 9).

Segundo Caldas, o tema das restaurações, seja por catalase ou outras, representava um dos assuntos de maior importância para a radiobiologia. A importância do tema se dava, em nível teórico, não só pela possibilidade de vislumbrar processos que ocorrem durante radiolesões e os efeitos biológicos das radiações de modo geral, mas também, num nível ‘prático’, para compreender as radiolesões em células, tecidos e organismos e como esse processo poderia ser interrompido. A tese de Caldas trouxe também algumas conclusões derivadas dos seus estudos feitos ao longo da década de 1950. Estudando principalmente a restauração por catalase, Caldas observou que certas bactérias submetidas à radiação U.V. mantiveram a capacidade de divisão se, após serem irradiadas, fossem postas em contato com a catalase. Essa enzima decompõe o peróxido de hidrogênio, produto decorrente do metabolismo celular quando da exposição do organismo ao oxigênio. Entretanto, a

restauração da célula pela catalase só se dava em bactérias lisogênicas induzíveis ou não lisogênicas, porém derivadas destas últimas. Algumas outras características específicas da restauração por catalase foram observadas, tais como a dependência do meio de cultura, o nível de radiação UV, sua incapacidade de restauração após irradiação com raios X, etc (CALDAS, 1960, p. 66-67).

Os detalhes acima foram expostos com o objetivo de mostrar como Caldas organizou seus estudos com a restauração por catalase, elencando condições nas quais ela poderia ocorrer ou não, e demarcando conclusões intermediárias. Ao final de sua tese, ele menciona que pesquisas sobre os mecanismos internos que condicionam as restaurações naturais das células ainda não haviam sequer sido iniciadas, e que os trabalhos radiobiológicos como os apresentados em sua tese poderiam contribuir largamente para elucidá-los.

Na década de 1960, além dos eventos sobre radiobiologia, que analisarei ainda neste subtópico, Caldas continuou publicando estudos sobre sistemas bacterianos e radiação, embora numa quantidade reduzida. Boa parte dos trabalhos de Caldas da década de 1960 privilegiou o estudo da bactéria *Staphylococcus albus*, a começar por sua tese de Livre Docência para a cadeira de Física Biológica da Faculdade Nacional de Medicina da Universidade do Brasil, de 1963. Patrocinado pela AIEA, a tese de Caldas envolveu o estudo radiobiológico, com aplicações de raios X e radiação UV, do sistema lisogênico¹²⁴ do *Staphylococcus albus*.

Nos anos seguintes à apresentação de sua tese de livre docência, Caldas publicou um relatório técnico numa série da AIEA sobre o tema (CALDAS, 1964). Além disso, em 1965, dois artigos foram publicados em parceria com Roberto Alcântara Gomes, aluno de Caldas, e Cezar Antonio Elias. Um dos artigos foi sobre as “Características da lise não produtiva provocada por um fago estafilocócico em cepas lisogênicas de *Staph. albus*”, publicado pelo periódico *Ciência e Cultura* (CALDAS, GOMES e ELIAS, 1965a), e o outro envolveu o tema da inibição pela estreptomicina da multiplicação de um bacteriófago estafilocócico temperado, publicado no *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris* (CALDAS, GOMES e ELIAS, 1965b).

Em resumo, esses trabalhos de Caldas publicados na década de 1960, abordavam organismos-modelo, como os bacteriófagos, para compreender suas relações com sistemas de bactérias lisogênicas sensíveis à radiação. Chama atenção, para além de suas publicações, a

¹²⁴ “O qualitativo “lisogênica” refere-se à capacidade da bactéria de liberar espontaneamente fagos que podem infectar bactérias de outras cepas sensíveis” (CALDAS, 1963, p. 11).

participação do cientista em cursos temáticos, seja como aluno ou como professor. Sendo os cursos, como já vimos em outros momentos deste capítulo, eventos fundamentais para a consolidação de estudos radiobiológicos e com radioisótopos no Brasil, é importante mencioná-los em relação aos estudos realizados por Caldas em laboratório. Assim como suas publicações, sua presença nesses cursos integrou o desenvolvimento dos estudos biomoleculares que ocorreu a partir daquele núcleo de pesquisas.

Como aluno, Caldas participou, dentre vários outros cursos, dos cursos de atualização “Bases moleculares da Informação Biológica”, ocorrido no Instituto de Biofísica e ministrado por L. D. Hamilton, do Sloan Kettering Institut, de Nova York-EUA, em 1963, e dos cursos “Aspectos moleculares do código genético”, ministrado por F. Gros, do *Institut de Biologia Physico-Chimique*, de Paris-França, e “Bioquímica dos ácidos nucleicos”, ministrado por R. Monier, da Faculté des Sciences, Marseille-França, ambos realizados também no Instituto de Biofísica, em 1965 (CALDAS, [entre 1980 e 1990], p. 18). Como professor, Caldas ministrou em 1960, 1961 e 1962 o Curso de Radiobiologia para Oficiais da Escola Técnica do Exército e da Aeronáutica, e em 1964, 1966 e 1972 ministrou a disciplina de Radiobiologia no Instituto de Biofísica da UFRJ. Além de cursos e disciplinas, o radiobiologista participou em vários eventos proferindo conferências que contribuíram para os debates no novo campo. Durante os anos 1960, Caldas apresentou seminários sobre os aspectos modernos da biologia, sobre princípios e problemas de radiobiologia fundamental, sobre restauração de bactérias irradiadas pelos raios ultravioletas, sobre restauração pela catalase, a ação biológica das radiações, e sobre câncer, num curso para jornalistas promovido pela Academia Brasileira de Ciências (CALDAS, [entre 1980 e 1990], p. 50). Já na década de 1970, em paralelo a seminários e cursos sobre ações e efeitos fotodinâmicos, explorando agendas em fotobiologia, Caldas ministrou cursos sobre ciência, tecnologia e desenvolvimento nacional para militares na ESG.

De acordo com Mansan (2017), a ESG foi um dos principais canais para a formação ideológica do regime militar, “constantemente aberto a membros do campo da educação superior”, baseada na Doutrina de Segurança Nacional, a concepção educacional de seus cursos vinculava-se a uma perspectiva conservadora e autoritária. Esse tipo de concepção, “via a ação dos intelectuais como algo essencial para a continuidade daquela formação social, garantindo coesão e funcionalidade institucional no país” (MANSAN, 2017, p. 845). Sendo a ciência um elemento fundamental para o desenvolvimento econômico, tecnológico e institucional do Brasil, a presença de um radiobiologista na ESG pode indicar o compartilhamento de uma mesma ideia de ciência entre Caldas e os militares. Nesse sentido,

entendendo esses aspectos dentro do histórico do Instituto de Biofísica, é interessante como, ao mesmo tempo, um mesmo cientista que estava na vanguarda dos estudos radiobiológicos e biomoleculares, vinculava-se de forma tão íntima com um centro irradiador da ideologia conservadora do regime militar.

Luiz Renato Caldas foi um dos responsáveis, ao longo da década de 1960, por cursos de introdução à radiobiologia, como os que foram realizados no Instituto de Biofísica da Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro (EMCRJ), hoje Universidade do Rio de Janeiro (UNIRIO). Dentro das atividades desses cursos, foram produzidos alguns materiais no qual pode-se entender, do ponto de vista político e teórico, a radiobiologia pensada enquanto disciplina, sob a ótica dos pesquisadores que estiveram envolvidos com o projeto. Num desses materiais, um manual de ‘Técnicas de Radiobioquímica’, escrito por Aristides Pinto Coelho e publicado em 1961, o início dos cursos foi atribuído ao apoio direto da CNEN e a Francisco Alcântara Gomes Filho, diretor à época do Instituto de Biofísica da EMCRJ, físico e pai do também radiobiologista Roberto Alcântara Gomes. Muito dos conhecimentos disseminados nos manuais eram reciclados das aulas do famoso curso de 1956 sobre metodologia de radioisótopos ocorrido no Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil e ministrado pelo professor John Cooper, diretor do Departamento de Bioquímica da Northwestern University, dos EUA. No manual de 1961, Coelho Pinto enfatizava a importância das contribuições das técnicas isotópicas e dos radioisótopos para “o desenvolvimento atual da bioquímica e da biologia”, e buscava justificar a “importância da radiobioquímica entre os ramos mais novos e não menos valiosos da bioquímica” (COELHO PINTO, 1961, p. 7).

Os boletins produzidos para os cursos de radiobiologia do EMCRJ, que tiveram sua primeira edição em 1960, começaram a ser publicados apenas em 1964, “com o objetivo de divulgar técnicas indispensáveis para a prática da moderna medicina entre acadêmicos, médicos e profissionais em atividades afins” (IV CURSO..., 1964, p. 3). O boletim do curso de 1964 ressaltava, também, a “intensa participação de quase uma centena de alunos do curso médico”, e o fato de que muitos professores e pesquisadores do Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil, “interessados no incremento das atividades científicas do país”, prestavam colaboração a outras instituições, “com um legítimo exemplo de dedicação à pesquisa”. Além dos professores, como disseminadores da nova especialidade da radiobiologia e da técnica de radioisótopos, os ex-alunos dos cursos prosseguiram se aperfeiçoando “neste atualizado setor do conhecimento humano”, e eram “aproveitados em instituições especializadas onde vêm prestando valiosa colaboração” (IV CURSO..., 1964, p. 3). De forma semelhante aos de metodologia de radioisótopos, os cursos de radiobiologia,

eram vistos como contribuições fundamentais para o desenvolvimento científico nacional, além de colaborar para o aprimoramento do entendimento “desta fabulosa energia nuclear que tanto pode contribuir para a destruição do gênero humano como para auxiliar o médico na sua permanente luta contra a morte”. Em 1964, os agradecimentos à CNEN a teceram enquanto “douta” e “patrioticamente dirigida pelo Prof. Luiz Cintra do Prado” (IV CURSO..., 1964, p. 3). A ênfase constante na relevância nacional daquelas iniciativas se ligará, como observável na trajetória de Luiz Renato Caldas, aos interesses dos militares durante a ascensão do regime.

Em 1969, o material do curso de introdução à radiobiologia foi assinado por Roberto Alcântara Gomes e Luiz Renato Caldas. Nesse manual, que tinha como foco a ação biológica das radiações, os dois pesquisadores definiram o que, para eles, significava o termo radiobiologia:

A radiobiologia pode ser definida como sendo a ciência que estuda a interação de radiações com a matéria viva e as consequências desta interação. Pode-se, a título didático, admitir a existência de uma *radiobiologia propriamente dita*, que compreende o estudo da ação biológica das radiações ionizantes, e uma *fotobiologia*, que dá ênfase aos efeitos das radiações não ionizantes, especialmente ultravioleta (GOMES e CALDAS, 1969, p. 133, grifos dos autores).

Entretanto, mais do que definir o que é rádio e fotobiologia, Gomes e Caldas relacionaram os processos radiobiológicos à origem da vida, “particularmente às primeiras reações fotoquímicas necessárias à formação de complexos de carbono, nitrogênio e vapor de água” (GOMES e CALDAS, 1969, p. 133). Da mesma forma, de acordo com os autores, as radiações tiveram um papel fundamental nas transformações energéticas “indispensáveis à manutenção dos processos vitais, assim como os mecanismos de evolução e de seleção que levaram a vida ao estágio que hoje apresenta” (GOMES e CALDAS, 1969, p. 133). Esse retorno a um passado evolutivo no qual as radiações tiveram papel direto nos processos vitais, servia para “ilustrar a extraordinária eficiência das radiações ionizantes na produção de efeitos biológicos” (GOMES e CALDAS, 1969, p. 133), justificando, de certa forma, a existência e o aprofundamento de estudos como aqueles fomentados pelo curso em questão.

No manual de 1969, uma infinidade de temas caros à formação de um radiobiologista ou a um médico interessado nas radiações como recurso terapêutico, foram apresentados pelos autores. Alguns desses temas foram: os critérios para avaliações de radiolesões, a transferência de energia da radiação para a matéria viva, as fases de evolução de uma radiolesão, os efeitos diretos e indiretos das radiações, as ações químicas das radiações, rendimento radioquímico, radiólise da água, radioquímica de bases púricas e pirimídicas,

radioquímica de ácidos nucleicos, fotoquímica de ácidos nucleicos e proteínas, ligação do DNA às proteínas, a fotoquímica do RNA, curvas de sobrevivência em radiobiologia, radiosensibilidade, a radiobiologia em diferentes níveis de organização (bacteriófagos, vírus de plantas, vírus de animais, bactérias, células eucarióticas), mecanismos de restauração celular, a restauração por catalase e outros tipos de restauração (GOMES e CALDAS, 1969).

A complexidade de temas abordados pela grande área da radiobiologia, como a amostragem dos assuntos do curso evidencia, explica a posterior segmentação desses estudos, entre aqueles mais tradicionais, biomoleculares, genéticos, bioquímicos, dentre outras linhas. Nesse mesmo ano de 1969, por exemplo, Luiz Renato Caldas dividiu o Laboratório de Radiobiologia, no Instituto de Biofísica da UFRJ, em dois, passando a chefiar o Laboratório de Radiobiologia Fundamental, e dando a chefia do Laboratório de Radiobiologia Molecular ao seu ex-orientando, Roberto Alcântara Gomes.

Em 1972, Luiz Renato Caldas e Roberto Alcântara Gomes publicaram um texto como apêndice no livro *Radiogenética Humana*, de Newton Freire-Maia, em que aprofundam a relação das restaurações com os estudos biomoleculares, algo que já vinha sendo feito desde a década de 1950. Após 12 anos da publicação da tese de Caldas, a aproximação feita entre o tema das restaurações com a biologia molecular e com a necessidade de entendimento desses mecanismos celulares era algo muito presente, no sentido de que isso precisava ainda ser constantemente reafirmado:

A absorção de energia radiante pelas células acarreta a produção de efeitos deletérios, como perda de viabilidade ou indução de mutações nocivas. Parece claro que a sobrevivência das espécies pode ser assegurada, em grande parte, pelo aparecimento de mecanismos de restauração capazes de contrabalançar o efeito destrutivo das radiações. Estes mecanismos têm importância básica em radiobiologia; seu estudo permitirá melhor compreensão do funcionamento da maquinaria celular, em particular ao nível das macromoléculas (ADN, ARN e proteínas), que regem processos biológicos fundamentais, como replicação, mutação, diferenciação, crescimento e divisão. Todos esses processos são passíveis de serem afetados pela absorção de energia radiante (CALDAS e ALCÂNTARA GOMES, 1972, p. 131).

O estudo dos mecanismos de restauração celular, iria permitir, apenas no futuro, como a citação demonstra, a compreensão do funcionamento das moléculas de DNA e RNA. Ainda que considerassem tarefa difícil sistematizar todos os processos de restauração existentes, Caldas e Gomes dividem os principais tipos de restauração em três: a) a restauração por desaparecimento, seja espontâneo ou não, dos foto e radioprodutos; b) a restauração ocorrida por remoção de fragmentos moleculares radiolesados, e sua substituição por fragmentos “neo-

sintetizados”: c) a restauração por *by-pass* da lesão, ou seja, quando a célula utiliza seu equipamento enzimático para “ignorar” a existência dos fotoprodutos (CALDAS e ALCÂNTARA GOMES, 1972, p. 133). A restauração por catalase foi descrita no texto como um assunto que já havia sido bastante estudado, “na década passada, por diversos grupos de radiobiologistas”, com algumas reviravoltas:

A primeira interpretação dada a este fenômeno consistiu em admitir que a radiação U.V. formasse peróxidos no citoplasma bacteriano, sendo a ação restauradora da enzima devida à destruição dos peróxidos, impedindo-os, assim, de lesar a célula. Recentemente foi mostrado que a interpretação acima descrita não é verdadeira [...]: a restauração pela catalase não deve ser considerada como um verdadeiro exemplo de restauração. Trata-se na realidade de uma proteção conferida pela enzima contra o efeito tóxico de substâncias existentes nos meios de cultura nos quais ágar tenha sido autoclavado em presença de fosfatos, em pH alcalino (meio escuro) (CALDAS e ALCÂNTARA GOMES, 1972, p. 143).

Essa mudança em relação à restauração por catalase é interessante, pois, o tema atravessou anos de pesquisa radiobiológica brasileira, e seus desdobramentos continuaram através de outros pesquisadores ligados ao Instituto de Biofísica. Em 1972, os estudiosos do tema Caldas e Alcântara Gomes mencionaram a existência de um outro fenômeno ou mecanismo, chamado de redutona, depois entendida como um açúcar. A redutona foi o tema da tese de doutorado de Alcântara Gomes, defendida em 1966. O termo refere-se a um acetaldeído formado pela degradação a quente de diversos açúcares, que produz uma ação letal sobre bactérias irradiadas, além de bloquear a biossíntese de macromoléculas (DNA, RNA e proteínas) e a respiração celular. Esse mecanismo, de acordo com os cientistas, ainda não estava elucidado, e uma das hipóteses existentes sobre ele correlacionava o efeito letal da substância em questão (redutona) com o bloqueio dos mecanismos de restauração celular. “Evidências neste sentido foram obtidas por experiências em que se empregou paralelamente caféina e redutona” (CALDAS e ALCÂNTARA GOMES, 1972, p. 144). Assim, embora apenas com evidências inconclusivas em mãos, os cientistas acreditavam que nos próximos anos, “os progressos nestes campos permitirão elucidar o controle genético dos mecanismos de restauração” (CALDAS e ALCÂNTARA GOMES, 1972, p. 144). Sendo a maioria dos processos de restauração apresentados pelos radiobiólogos determinados, em grande medida, por fatores genéticos que condicionam a sobrevivência, Caldas e Alcântara Gomes projetaram que “em futuro não remoto seja possível interferir geneticamente numa célula, de modo a torná-la mais resistente ao efeito das radiações, não só em termos de viabilidade, como ainda em termos de redução da eficiência de indução de mutações” (CALDAS e ALCÂNTARA

GOMES, 1972, p. 144).

Outro aspecto importante do desenvolvimento da rádio e da fotobiologia no Brasil igualmente relacionado à atuação Luiz Renato Caldas foi a realização de eventos internacionais, sobretudo entre as décadas de 1960 e 1970, para promover o tema em território nacional. Esses eventos revelam a cooperação dos biólogos brasileiros com cientistas de outros países, em especial dos Estados Unidos e da França. Em 1962, um grande simpósio internacional ocorreu em São Paulo e no Rio de Janeiro e seus anais foram publicados em 1964 sob o título *Mammalian Cytogenetics and Related Problems in Radiobiology*. Esse evento teve como presidente o grande nome da radiobiologia do *Oak Ridge National Laboratory* Alexander Hollaender (1898-1986), e como comitê organizador, os nomes do geneticista da USP Crodowaldo Pavan (1919-2009) e Luiz Renato Caldas, além de Carlos Chagas Filho, Oswaldo Frota-Pessoa (1917-2010) e André Luiz Paranhos Perondini. No prefácio dos Anais, Hollaender correlacionou o desenvolvimento da pesquisa biológica na América Latina, com a organização de fortes centros de pesquisa, com a criação de simpósios altamente especializados, com o objetivo de contribuir para o estabelecimento de relações mais estreitas entre a América Latina e “o resto do mundo científico”. Esse era o caso do evento em questão, que tinha como assunto a cultura de tecidos e a pesquisa citológica, abordando tópicos específicos sobre radiobiologia relacionados.

O evento foi patrocinado por uma série de instituições nacionais e internacionais, tais como a National Science Foundation e seu programa de desenvolvimento biológico; a Divisão de Biologia e Medicina da USAEC e a Pan American Union, dos Estados Unidos; o Ministère des Affaires Etrangères de France, a Euratom (Biological Division), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), o CNPq, a CNEN, o Instituto de Biofísica e a USP. Eventos semelhantes da década de 1970 tiveram essa mesma configuração de instituições patrocinadoras. O evento contou com a presença de 134 cientistas, entre brasileiros, franceses, holandeses, estadunidenses, mexicanos, chilenos, tchecos, suecos, argentinos, ingleses, uruguaios, escoceses e austríacos, sendo a maioria brasileiros e estadunidenses. A ideia de promover esse evento, bem como outro que teria ocorrido anos antes em Santiago, no Chile, partiu de Hollaender, como fica claro no prefácio que ele mesmo escreveu, mas também no prefácio escrito pelos cientistas brasileiros organizadores, dentre eles Luiz Renato Caldas:

Alguns anos atrás o Dr. A. Hollaender teve a ideia de promover na América Latina uma série de Simpósios para estabelecer contatos científicos estreitos entre cientistas latino-americanos e seus colegas dos EUA e Europa. Ele ficou impressionado, presumimos, com o brilhante esforço de vários grupos

da América Latina no desenvolvimento das ciências biológicas, apesar das condições desfavoráveis que geralmente prevalecem. Um dos objetivos desses Simpósios foi dar oportunidade aos nossos colegas cientistas dos EUA e da Europa para apreciar os programas de pesquisa em andamento nesta parte do continente americano e se envolver em um intercâmbio frutífero com colegas em nossos países (PAVAN et al, 1964, ix).

As trocas internacionais, bem como a ideia de que, com certo desenvolvimento científico na América Latina, seria propício explorar áreas mais específicas, como é o caso da radiobiologia e fotobiologia, de fato formatou parte do espaço destinado a essas pesquisas. Ou seja, eventos como esse foram importantes para promover essas ‘novas disciplinas’. É o caso também do Simpósio Internacional Novas Tendências em Fotobiologia, ocorrido entre 15 e 20 de julho de 1973 no Rio de Janeiro e organizado pela CNEN, CNPq, Instituto de Biofísica (UFRJ), Comité Internacional de Photobiologie e ABC. Teve como presidentes Carlos Chagas Filho e o químico britânico George Porter, prêmio Nobel de química de 1967. Como vice-presidente, mais uma vez, encontramos Alexander Hollaender, e o radiobiologista francês Raymond Latarjet. O editor dos anais e secretário geral do evento foi Luiz Renato Caldas. Caldas teceu uma série de comentários, tanto no *Welcome Adress*, na abertura do evento, quanto no prefácio da publicação dos anais, lançada meses depois, entre os quais manifestou a expectativa de que o evento e a publicação das pesquisas apresentadas nele poderiam “suscitar no Brasil e na América do Sul, vivo interesse no domínio da Fotobiologia” (SIMPÓSIO..., 1973, p. 1). Em sua fala de abertura, Caldas considerou o simpósio um importante evento no curso dos esforços em busca de um desenvolvimento mais “sofisticado” da fotoquímica e fotobiologia na América do Sul e, em especial, no Brasil. E, para justificar sua defesa no investimento em estudos fotobiológicos, o cientista do Instituto de Biofísica contextualizava a disciplina em formação, elencando seus pontos fortes, como iria fazer em vários outros momentos de sua trajetória científica:

O 'epifenômeno' da vida na Terra que para nós parece ser o clímax do caminho evolutivo do universo é um subproduto da energia da luz e ainda hoje e provavelmente para sempre, depende do Sol. Assim, na segunda metade deste século, quando a humanidade se depara com problemas que desafiam sua inteligência e seu comportamento racional, a Fotobiologia surge como um importante ramo da Ciência que, se devidamente desenvolvido e devidamente aplicado, pode resolver muitas das dificuldades que ameaçam o ambiente ao qual a vida é inquestionavelmente restrita (SIMPÓSIO..., 1973, p. 3).

Luiz Renato Caldas também conta que a ideia do evento surgiu durante um congresso internacional de pesquisa com radiação ocorrido em Evian, na França, em 1970, na reunião do Comité Internacional de Photobiologie. Encorajado pelo químico George Porter, à época

presidente do comitê, Caldas resolveu submeter a proposta do Brasil sediar um evento internacional sobre fotobiologia, que seria o primeiro a ocorrer na América do Sul. Sua proposta teve o apoio direto do reitor da UFRJ, Djacir Menezes, e do diretor do Instituto de Biofísica, Carlos Chagas Filho. Ele relacionou a aceitação de um evento pioneiro como aquele com o caráter inovador do Instituto de Biofísica, centro pioneiro no Brasil e na América Latina em estudos radiobiológicos e fotobiológicos. Assim, com o apoio das três principais entidades científicas brasileiras à época, ABC, CNPq e CNEN, o evento tornou-se realidade.

Com o objetivo de abordar a química e a biologia básica da radiação ultravioleta e da radiação visível de sistemas celulares e suas moléculas, além de aspectos fisiológicos, os temas centrais do evento trataram do uso pelo homem da energia solar convertida provocada por bactérias fotossintéticas e o papel da luz como fator ambiental. É perceptível nas palavras de Caldas, a necessidade de distinguir a fotobiologia da radiobiologia, explorando aspectos e possibilidades ainda mais específicas dessa disciplina. Entretanto, ambas as disciplinas, assim como as diversas pesquisas com radiação e radioisótopos, inspiravam-se em geral nas mesmas fontes. No Instituto de Biofísica, a história da circulação dessas práticas e instrumentos envolveu atores já mencionados algumas vezes aqui:

Há mais de vinte anos, em nosso Instituto, lidamos com problemas radiobiológicos e fotobiológicos, sendo nosso primeiro laboratório criado sob a liderança comum do Prof. Chagas e do Dr. Raymond Latarjet. A influência do Institut du Radium, a estreita relação que mantemos há mais de duas décadas com o laboratório de Latarjet em Paris, influenciaram profundamente nossa evolução através de um contato permanente com ele e muitos de seus colaboradores. Desde 1958, também temos contatos estreitos com o Dr. Alexander Hollaender e funcionários do Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos Estados Unidos. A influência deste Laboratório em nossos métodos de organização da Ciência também deve ser enfatizada e neste momento é com grande e cordial satisfação que posso expressar meu profundo sentimento de gratidão a Chagas, Latarjet e Hollaender por ajudarem os esforços de um grupo de brasileiros radiobiólogos e fotobiólogos para fazer o seu próprio caminho (SIMPÓSIO..., 1973, p. 4).

A tríade composta por Chagas, o francês Latarjet e o estadunidense Hollaender acabou nesse sentido moldando o desenvolvimento das pesquisas biológicas com radiação para esse grupo de cientistas brasileiros. A forte ligação com os franceses, entre cursos e períodos formativos no outro continente, mas também a troca de materiais e métodos com os norte-americanos e o financiamento proporcionado por eles constituem o perfil e a estrutura das ciências orientadas para a questão nuclear no Brasil, como fica nítido através das interações entre cientistas ocorridas nesses eventos de caráter internacional. Inclusive o aval e

incentivo, para o que estava sendo feito no Brasil pareciam vir de ocasiões como a do simpósio em questão: “Este Simpósio representa em certo sentido, após 21 anos de trabalho paciente e permanente, uma espécie de testemunho dado pela comunidade científica internacional do nosso amadurecimento em Biologia das Radiações” (SIMPÓSIO..., 1973, p. 4).

Para além das tentativas de elencar e divulgar especificidades brasileiras do estudo da fotobiologia, enquadradas como tropicais, evocando a figura do sol como metáfora, como “o Deus da Fotobiologia” (SIMPÓSIO..., 1973, p. 4) e o Brasil como uma terra ensolarada, Caldas e suas considerações demonstram, de forma exemplar, a natureza profundamente internacional das pesquisas com radiação, na qual os países da América do Sul interconectaram-se com programas, agências e fomento internacional, vindos geralmente dos Estados Unidos.

Em 1977, em anexo ao XIV Congresso Internacional de Radiologia, ocorrido também no Rio de Janeiro, a Academia Brasileira de Ciências promoveu mais um simpósio sobre rádio e fotobiologia, que teve seus anais publicados em 1978 como *International symposium on current topics in radiobiology and photobiology*. Nesse evento, assim como nos outros mencionados, é possível evidenciar a natureza global das discussões em radiobiologia, com cientistas de todo o Brasil presentes e de países como Estados Unidos, França, Holanda, Suécia, Alemanha, Inglaterra, México, Venezuela, Itália, Japão, Israel, Canadá e Tchecoslováquia. Nesse mesmo contexto de eventos e trocas com cientistas estrangeiros, Luiz Renato Caldas, à época presidente da Association Internationale de Photobiologie, AIP (1976-1980), fez uma defesa dos estudos fotobiológicos em um editorial publicado em 1977 e intitulado *Photobiology and Photochemistry in a virgin land*. Relacionou-os com a região amazônica, suas características geográficas e climáticas, e o fato de se tratar de um extenso lugar ainda virgem. Com isso pretendia convocar estudos dessa natureza no Brasil, indicando as possibilidades existentes no estudo dos efeitos da luz nos seres vivos:

A interação da luz com a matéria viva ainda esconde muitos “mistérios” que fazem da Fotoquímica e da Fotobiologia as ciências de “todos os tempos” com um potencial de desenvolvimento quase inimaginável. Seu caráter multidisciplinar abrange campos de relevância inestimável, incluindo conversão de energia solar, fotossíntese, fotoecologia, fotomedicina, visão, com suas fortes ligações com a energia, produção de alimentos e possivelmente comportamento humano (CALDAS, 1977, p. 1).

Esse entusiasmo em relação às potencialidades de uma disciplina, como no caso da fotobiologia, ou em relação ao uso de objetos como os radioisótopos, ou ainda sobre o conhecimento molecular da vida, expressa bem a atmosfera das ciências no pós-guerra, e, em

especial, da biologia. Jacques Monod, biólogo molecular francês que em 1949 havia descoberto o fenômeno da catalase, em seu polêmico livro *O Acaso e a Necessidade*, publicado originalmente em 1970, no qual tinha como objetivo “extrair a quintessência da teoria molecular do código” (MONOD, 1971, p. 11), comentava:

Entre as ciências, a biologia ocupa um lugar ao mesmo tempo marginal e central. Marginal, no sentido em que o mundo vivo constitui apenas parte ínfima e bastante ‘especial’ do universo conhecido, de sorte que o estudo dos seres vivos parece que jamais deve revelar leis gerais, aplicáveis fora da biosfera. Mas, se a ambição última de toda ciência é, como penso, a de elucidar a relação do homem com o universo, então devemos reconhecer à biologia um lugar central pois ela é, entre todas as disciplinas, a que tenta penetrar mais diretamente no cerne dos problemas que devem ser resolvidos antes mesmo que possa ser colocado o da ‘natureza humana’ em termos diferentes dos da metafísica. Por isso, a biologia é, para o homem, a mais significativa de todas as ciências (MONOD, 1971, p. 9).

A projeção de biólogos ocupando posições centrais no universo de questões científicas, mas também na paisagem das agências, programas e centrais nucleares contribuiu para dar mais visibilidade à biologia da segunda metade do século XX. Ela também constituiu parte das transformações do campo biológico, que foi favorecido pelas oportunidades do contexto de desenvolvimento da energia nuclear em todos os seus sentidos, da sua legitimação como uso pacífico ao estudo dos possíveis riscos e das consequências da radiação para a vida. Todos esses elementos são evidentes na atuação de Luiz Renato Caldas e de cientistas como Eduardo Penna Franca, como veremos no próximo capítulo.

Caldas teve uma projeção internacional de seu trabalho. Foi membro de várias associações científicas internacionais, como a International Association for Radiation Research, a Association Internacionale de Photobiologie (AIP), a International Union of Pure and Applied Biophysics e a American Society for Photobiology (CALDAS, [entre 1980 e 1990], p. 25). Ainda em 1966, o cientista foi eleito membro do Comitê Internacional de Fotobiologia (CIP), com mandato de dois anos, e em 1968 foi eleito vice-presidente do CIP, para mais 4 anos. Foi presidente da AIP em 1976 e eleito membro do Comitê do Programa do *6th International Congress of Radiation Research* em Tóquio. Foi também membro dos corpos editoriais das revistas *Journal of Toxicology and Environmental Health* (EUA), em 1974, *Journal of Cybernetics* (EUA) e *Biophysics and Reproduction* (Suécia), em 1975. Devido ao seu falecimento no dia 23 de setembro de 1991, em decorrência de um grave acidente automobilístico, Luiz Renato Caldas foi homenageado no *Eleventh International Congress on Photobiology*, em Kyoto, no Japão, dentro do Symposium on Photodynamic Therapy, organizado por R. M. Tyrrell (LEITÃO, 2013a, p. 156).

De acordo com Álvaro Augusto da Costa Leitão, aluno de Roberto Alcântara Gomes e pesquisador ligado às pesquisas radiobiológicas no Instituto de Biofísica:

Caldas contribuiu sobremaneira para os estudos dos efeitos biológicos das radiações ionizantes e não ionizantes (radiações X e gama, radiações ultravioleta e radiações visíveis associadas a corantes – Ação Fotodinâmica), assim como para o estudo dos sistemas celulares de reparação das lesões produzidas no DNA (LEITÃO, 2013a, p. 157).

É importante situar historicamente o trabalho de Caldas como marco representativo do desenvolvimento da radiobiologia no Brasil, ainda que o objetivo aqui não seja fazer uma análise exaustiva de sua trajetória profissional. Cabe entender a atuação de Caldas como parte das conexões estabelecidas pelo Instituto de Biofísica com redes científicas nacionais e internacionais, atuação emoldurada por contextos políticos sobrepostos, como a Guerra Fria e o grande incentivo às pesquisas com radiação, a ditadura militar e o investimento seletivo em grupos específicos de pesquisa científica e tecnológica. Como parte dessas conexões mais amplas, o trabalho de Luiz Renato Caldas de promoção da fotobiologia como novo campo de trabalho no Brasil e seus estudos específicos com sistemas bacterianos e interações bio-físico-químicas celulares e moleculares foram de fato, inovadores. A partir da agenda de pesquisa e das conexões estabelecidas por ele, outros pesquisadores deram continuidade aos estudos radiobiológicos e fotobiológicos, imprimindo perspectivas mais inovadoras das pesquisas com reparação de DNA. No próximo subtópico deste capítulo, irei explorar com mais detalhes o que podemos chamar de uma escola de radiobiologia, ou fotobiologia, a partir dos trabalhos de pesquisadores ligados diretamente à Caldas, como Roberto Alcântara Gomes e Álvaro Leitão, e de outras gerações de cientistas interessados no tema, num contexto relativamente distante daquele em que Caldas desenvolveu seus principais trabalhos.

2.3.3 Dos radioisótopos aos mecanismos de reparação de DNA: formação e trajetória de radiobiologistas no Brasil

Pode-se considerar Roberto Alcântara Gomes (1941-1991) como a principal ponte entre o trabalho de Luiz Renato Caldas e a consolidação de estudos em rádio e fotobiologia no Brasil a partir de um grupo organizado e coeso. Mais do que uma ponte, no sentido metafórico, servindo como passagem, Gomes foi, na verdade, um grande articulador dos estudos em radiobiologia. Filho do físico Francisco Alcântara Gomes Filho e de Eunice de Segadas Alcântara Gomes, Roberto Alcântara Gomes nasceu no Rio de Janeiro em 28 de

maio de 1941. Seus estudos primários foram realizados na rede pública, e o segundo grau no Colégio Militar do Rio de Janeiro, de 1951 a 1958. No ensino superior, Gomes inicialmente fez bacharelado em física, pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), obtido em 1961, e, no ano seguinte, obteve a licenciatura na mesma disciplina. Apesar de sua escolha inicial pela física, talvez influenciada pelo seu pai, Roberto Alcântara Gomes também se formou, logo em seguida, em 1964, no curso de medicina da UFRJ. Antes mesmo de completar sua dupla formação, o jovem cientista iniciou seus estudos de radiobiologia, tanto pelo seu interesse por física nuclear, quanto pelo contato com esses estudos na Faculdade de Medicina, e inclusive pelo seu próprio pai, Francisco Alcântara Gomes Filho, que esteve, desde 1960, na organização dos cursos de introdução à radiobiologia na Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro..

Por já possuir formação em física, iniciou seu doutorado ainda enquanto cursava a graduação em medicina. Em 1966, defendeu a tese intitulada “Mecanismo de restauração pela catalase: interpretação e fenômenos correlatos”, orientado por Caldas e, de acordo com Leitão (2013b), a primeira tese de doutorado em Ciências a ser defendida na UFRJ. No período posterior ao seu doutorado, Gomes foi estudar fora do Brasil. Participou de um curso de biologia molecular na Grécia, ministrado pela bioquímica Marianne Grunberg-Manago e patrocinado pelo *Institut de Biologie Physico-Chimique*, de Paris. Realizou também um estágio de pós-doutoramento em Marseille, de 1966 a 1967, no *Institut de Chimie Biologique*, com o bioquímico Roger Monier. Em 1965, Monier havia ministrado um curso de bioquímica dos ácidos nucleicos no Instituto de Biofísica da UFRJ, no qual Gomes e Caldas participaram como alunos. Com Monier, na França, Gomes estudou o tema da biossíntese de ribossomos.

De volta ao Brasil em 1968, Roberto Alcântara Gomes obteve os títulos de Livre Docente em Física Biológica e Doutor em Medicina pela UNIRIO, com seu trabalho sobre biossíntese. Na UERJ, obteve mais títulos como o de Livre Docente em Biofísica e Estatística e Doutor em Medicina pela Faculdade de Ciências Médicas também com trabalho sobre aspectos físico-químicos da formação dos ribossomos. Naquele momento, Luiz Renato Caldas dividiu seu antigo laboratório em dois, como já dito anteriormente, e Gomes assumiu a chefia do Laboratório de Radiobiologia Molecular no Instituto de Biofísica da UFRJ. Na UFRJ, ele foi coordenador dos cursos de pós-graduação do Instituto de Biofísica, em paralelo à chefia de seu laboratório.

Em 1968, Alcântara Gomes tornou-se professor assistente da cadeira de Física Biológica da UNIRIO, e professor substituto da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da UERJ, na cátedra de Biologia Geral. Em 1969, Gomes realizou um segundo estágio de pós-

doutoramento na França no *Institut du Radium* da Fundação Curie, orientado por Raymond Latarjet (LEITÃO, 2013b, p. 163). Quando regressou da França, em 1969, foi nomeado professor adjunto do quadro suplementar do Instituto de Biofísica da UFRJ. A partir de 1970, passou a exercer o cargo de professor titular interino de Biofísica da UERJ, instituição no qual consolidou seu grupo de estudos. Em 1979, Gomes foi efetivado na UERJ, passando por concurso público.

Suas contribuições políticas e administrativas à UERJ se refletem no próprio nome atual do Instituto de Biologia da instituição, o Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes (IBRAG-UERJ), fundado pelo cientista, em 1971, e dirigido por ele de 1976 a 1980. Em 1996, após sua morte, é que o instituto foi rebatizado com seu nome (LEITÃO, 2013b). Na UERJ, Alcântara Gomes foi também vice-diretor da Faculdade de Ciências Médicas, entre 1971 e 1976, e, em 1975 fundou o curso de pós-graduação em Biociências Nucleares, que teve sua coordenação até 1980, quando assumiu o cargo de Sub-reitor de Pós-Graduação e Pesquisa na instituição, o primeiro a ocupar esse novo cargo, na gestão de Ney Cidade Palmeiro. Em março de 1981, mediante escolha por lista tríplice, assumiu a vice-reitoria da UERJ, cargo no qual permaneceu até 1984. Mais adiante explorarei o contexto de criação do curso de biociências nucleares.

Alcântara Gomes teve um papel importante em mudanças estruturais que foram operadas nos cursos de biomedicina e de história natural da UERJ. O Instituto de Biologia foi, na verdade, resultado da junção desses dois cursos, culminando numa abordagem moderna, do ponto de vista institucional brasileiro, no ensino superior de ciências biológicas. Unindo um alto grau de especialização científica com o engajamento pelo desenvolvimento da pesquisa na pós-graduação, seu trabalho acabou por contribuir para o delineamento das bases do Programa de Capacitação Docente, que foi aperfeiçoado quando foi Vice-reitor da UERJ. Semelhante a Luiz Renato Caldas, Roberto Alcântara Gomes teve uma atuação política importante dentro de universidades e de sociedades científicas nacionais e internacionais, ganhando e obtendo títulos e condecorações em diversas instituições e participando ativamente do desenvolvimento de agendas de pesquisa. Ao longo da década de 1970, ao mesmo tempo em que solidificava seu grupo de estudos na UERJ, ministrava as disciplinas de radiobiologia e fotobiologia, chefiava o Laboratório de Radiobiologia Molecular e orientava alunos na UFRJ, como no caso de Álvaro Leitão, que defendeu sua tese em 1977.

Da mesma forma que Caldas, Roberto Alcântara Gomes estabeleceu relações mais próximas com os franceses, apesar de ter realizado estágios no Canadá e nos EUA em 1973. Na década de 1970, iniciou uma parceria com Alain Sarasin, que posteriormente manteve

uma longa cooperação com cientistas brasileiros que trabalhavam com Gomes, como Carlos Frederico Martins Menck. Alcântara Gomes também estabeleceu conexões com os biólogos moleculares Claude Jeantet, no *Collège de France*, e Alain Favre, no *Institut de Biologie Moleculaire* do *Institut Jacques Monod*. A partir dessas relações, muitos de seus alunos foram estudar na França posteriormente, geralmente com o convênio da CAPES com o Comitê Francês de Avaliação da Cooperação Universitária com o Brasil (CAPES/COFECUB) (LEITÃO, 2013b, p. 167).

Além do trabalho com rádio e fotobiologia, e de seus estudos em biologia molecular, Roberto Alcântara Gomes foi um grande articulador da pesquisa brasileira em mutagênese. Em 1986, ele foi responsável pela organização do chamado Plano Integrado de Mutagênese (PIMUT), projeto financiado pela FINEP, que envolveu grupos de cientistas do Brasil todo, como os do seu grupo da UERJ, que falarei mais adiante, mas também da UFRJ, da Universidade Federal de Goiás (UFG), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), USP, UNICAMP, além do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). O objetivo do projeto era organizar a pesquisa no campo em questão (LEITÃO, 2013b, p. 165). Em 1989, esse mesmo grupo criou a Sociedade Brasileira de Mutagênese, que em pouco tempo passou a se chamar Sociedade Brasileira de Mutagênese, Carcinogênese e Teratogênese Ambiental (SBMCTA), e, por fim, em 2013, mudou novamente de nome, se tornando a Associação Brasileira de Mutagênese e Genômica Ambiental, a MutaGen-Brasil. Em 1991, como presidente da Associação Latino-Americana de Mutagênese, Carcinogênese e Teratogênese Ambiental (ALAMCTA), Alcântara Gomes ajudou a realizar o I Simpósio Latino-Americano de Mutagênese Ambiental, ocorrido na cidade de Caxambu, em Minas Gerais. O interesse de Alcântara Gomes pelo tema da mutagênese foi sendo construído ao longo de seus anos de pesquisa, mas os acidentes nucleares da década de 1980 impulsionaram bastante essa linha de pesquisa. No final da década de 1980, além de dar conferências sobre esses temas, como a intitulada “Acidentes Nucleares: Goiânia, Chernobyl, o Inverno Nuclear”, integrou a equipe de cientistas que estudou de perto o acidente nuclear ocorrido com o céscio-137 em Goiânia no ano de 1987 (LEITÃO, 2013b, p. 165).

Álvaro Leitão, aluno e orientando de Roberto Alcântara Gomes que apresentarei a seguir, resume a trajetória do cientista da seguinte forma:

Do ponto de vista científico, a trajetória do Dr. Alcântara iniciou-se com o Dr. Luiz Renato Caldas e suas ligações na França, possibilitando o desenvolvimento dos estudos de reparação celular no Brasil, com destaque para a reparação de lesões produzidas pelas radiações e pelas espécies

reativas de oxigênio. Posteriormente, com a criação do PIMUT, Dr. Alcântara foi o grande responsável pela implantação dos estudos de genotoxicidade e mutagênese ambiental que hoje estão disseminados por todo o país (LEITÃO, 2013b, p. 168).

Pela escassez de documentação ou literatura sobre a vida de Alcântara Gomes, este texto baseou-se largamente no relato de Leitão. O relato está presente no livro ‘Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho’ (2013), fonte que, embora de cunho memorialista, traz informações importantes sobre a trajetória profissional e científica de Alcântara Gomes e de outros nomes de relevo para esta pesquisa. Leitão também possui um texto sobre rádio e fotobiologia no Instituto de Biofísica, no qual menciona a trajetória de Alcântara Gomes, publicado em outra coletânea de memórias sobre Carlos Chagas Filho, em 2010. Entre os poucos outros textos escritos sobre Roberto Alcântara Gomes conta-se o seu obituário, publicado em 1992 na *Mutation Research* por Rogerio Meneghini e Álvaro Leitão. O obituário menciona, além de algumas das informações citadas aqui, que no dia 30 de agosto de 1991, o cientista carioca faleceu, com 50 anos de idade, num acidente automobilístico ocorrido na cidade do Rio de Janeiro (MENEHINI e LEITÃO, 1992, p. 61). O mais curioso desse trágico acontecimento é que, praticamente um mês depois, no dia 23 de setembro, Luiz Renato Caldas faleceu de forma semelhante, num grave acidente de carro, já mencionado no subtópico anterior (TYRRELL, 1992). Essa mórbida coincidência, encerrou a trajetória de dois dos principais expoentes da rádio e fotobiologia no Brasil.

A partir da breve apresentação da trajetória profissional de Luiz Renato Caldas, no subtópico anterior, e de Roberto Alcântara Gomes, é possível ter uma visão panorâmica de alguns aspectos da formação dos estudos radiobiológicos e fotobiológicos no Brasil, como o contato com biólogos franceses, o apoio contínuo das agências nucleares e de fomento à ciência nacionais, como o CNPq e a CNEN, as conexões com interesses militares pós-golpe de 1964, e, sobretudo, o desenvolvimento de algumas das primeiras pesquisas em ‘biologia molecular’ no Brasil. Para entender, de forma mais aprofundada, como os estudos em radiobiologia atravessam diferentes contextos, de um período de grande incentivo aos estudos com radiação para um contexto de emergência da genômica na década de 1990, passando por transformações de atores, objetos e problemáticas, serão analisados, a partir de agora, os trabalhos de cientistas ligados diretamente à Caldas e Alcântara Gomes, seja como alunos, orientandos e parceiros de pesquisa. Essa ligação e continuidade de pesquisas nos leva a pensar sobre a existência de uma ‘escola de radiobiologia’, surgida a partir do trabalho de Caldas, ainda na década de 1950, mas se estendendo até os dias de hoje. Esse ponto será

elaborado após a trajetória desses alunos ser aqui abordada.

A partir de agora, abordarei elementos das trajetórias científicas e da atuação em pesquisas radiobiológicas dos cientistas Alvaro Augusto da Costa Leitão, Carlos Frederico Martins Menck, Israel Felzenszwalb e Regina Costa de Oliveira. Com exceção de Alvaro Leitão, cujas informações de trajetória e pesquisas serão baseadas numa entrevista realizada em 2015 por Daniele Botaro e Wanderley de Souza (BOTARO e SOUZA, 2017), para o segundo volume do livro ‘Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho’, os outros três pesquisadores foram entrevistados dentro do projeto de história oral realizado para esta tese¹²⁵.

Embora tenha nascido numa aldeia portuguesa, Alvaro Augusto da Costa Leitão migrou para o Brasil com nove anos de idade, estudando em escolas do Rio de Janeiro e, finalmente, formando-se no curso de ciências biológicas (modalidade médica) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 1969¹²⁶. Interessado em física e não tendo sucesso em suas tentativas de ingressar no curso de medicina, Leitão optou pelo curso da UERJ devido à oferta da disciplina de biofísica. Durante a graduação, Leitão passou a estagiar na área de biofísica, disciplina que era ministrada pelo pai de Alcântara Gomes, o físico Francisco Alcântara Gomes Filho, juntamente com os colegas Nestor Figueiredo e Belarmino Alves de Azevedo. Já no primeiro ano de estágio, esse grupo de alunos passou a ser orientado por Roberto Alcântara Gomes, que retornava então ao Brasil de seu estágio de pós-doutorado. Por influência de Alcântara Gomes, Leitão migrou para o Instituto de Biofísica da UFRJ, no qual Gomes havia assumido a Coordenação da Pós-Graduação, para iniciar o seu mestrado. Na UFRJ, Leitão passou a trabalhar no Laboratório de Radiobiologia Molecular, defendendo o seu mestrado em 1971, e de julho de 1969 a janeiro de 1970 deu aulas de Biofísica das Radiações na Faculdade de Medicina de Vassouras. Em 1972, o biólogo francês que esteve no Instituto de Biofísica, Roger Monier, convidou Leitão para um doutorado na França, entretanto, de acordo com Leitão, devido à nacionalidade portuguesa, a CNEN negou a concessão de uma bolsa para a efetivação de seu doutorado no exterior. Apesar disso, o cientista indica, em seu depoimento, que, mesmo posteriormente tendo adquirido a dupla nacionalidade, optou por continuar no Brasil devido ao surgimento de oportunidades profissionais vantajosas:

Em verdade, o Diretor do Instituto de Biofísica, na época o Eduardo Penna

¹²⁵ O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio (EPSJV/Fiocruz-RJ): CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹²⁶ Não existem informações públicas sobre as datas de nascimento e de migração de Leitão para o Brasil.

Franca, pediu que eu não fosse para o exterior fazer o Doutorado, pois ele arranjaria uma vaga de professor para mim, o que ocorreu em 1973. Por isso, só fui para o exterior após o Doutorado. [...] Em 1977, defendi o doutorado. E no meu pós-doutorado, quando eu estava na França, fiz um concurso interno e fui a Professor Adjunto em 1980 (LEITÃO, 2017, p. 23).

Leitão estudou no mestrado, o processo de reparação e o efeito da redutona em células irradiadas. O tema, que já estava sendo estudado desde 1949, teve uma contribuição importante de Alcântara Gomes, que detectou que o efeito da redutona era devido ao meio onde as bactérias eram cultivadas. “A esterilização de açúcares em presença de fosfatos (etapa da preparação dos meios de cultura) conduzia à formação da redutona, que, de algum modo, causa inativação adicional às células irradiadas, inativação esta que era anulada pela catalase” (LEITÃO, 2017, p. 23). Na sua pesquisa de mestrado, Leitão deu continuidade ao estudo iniciado por seu orientador, demonstrando que o mecanismo de ação da redutona era a inibição dos mecanismos de reparação celular (LEITÃO, 2017, p. 24). Seguindo a agenda de pesquisas do laboratório chefiado por Roberto Alcântara Gomes, Leitão estudou a síntese de ribossomos em células irradiadas, e, em sua tese, continuou estudando o efeito da redutona, a partir do entendimento de seu mecanismo molecular.

Em 1977, Leitão defendeu a sua tese de doutoramento no Instituto de Biofísica, na UFRJ, estudando uma ‘Contribuição ao estudo das restaurações celulares: estudo do efeito da redutona a nível molecular’ (LEITÃO, 1977). O trabalho, que havia sido realizado no Laboratório de Radiobiologia Molecular do Instituto de Biofísica, com auxílios da CNEN, CNPq, BNDE-FUNTEC e do Conselho de Ensino para Graduados e Pesquisa da UFRJ (CPEG), teve como orientador o pesquisador Roberto Alcântara Gomes, e foi dedicada à Luiz Renato Caldas, “introdutor da radiobiologia no Brasil” (LEITÃO, 1977). Em sua tese, Álvaro Leitão parecia confirmar a hipótese levantada anos antes por Caldas e Alcântara Gomes, de que a redutona era capaz de bloquear os sistemas de restauração das lesões do U.V., porém tecendo considerações mais complexas acerca dos mecanismos biomoleculares existentes nos processos estudados (LEITÃO, 1977, p. 97).

A tese de Leitão foi produzida num contexto no qual novas técnicas para medir quebras nas moléculas de DNA estavam sendo implantadas no Laboratório de Radiobiologia Molecular da UFRJ. Novos mutantes bacterianos para servir como modelo nos estudos de reparação estavam surgindo, bem como novas tecnologias:

Utilizando essa nova metodologia, nós podíamos quantificar o número de lesões produzidas no DNA por diversos tratamentos. Isto foi possível porque o Dr. Walter Zin fez um programa para o computador PDP12 (o mais moderno do Instituto na época), que usamos durante muito tempo.

Posteriormente, o Roberto fez um programa para a calculadora HP e passamos a utilizá-lo durante muitos anos. Além desta metodologia, na época obtivemos uma série de mutantes deficientes em diversos mecanismos de reparação que nos permitiram avançar na caracterização dos mecanismos moleculares da ação da redutona (LEITÃO, 2017, p. 24).

A partir dessa configuração de novas tecnologias e metodologias (bactérias, computadores, calculadoras, raios ultravioleta) num sistema experimental bastante sofisticado, visando entender processos intracelulares ainda pouco conhecidos naquele contexto, os estudos no laboratório, concluíram que a redutona era capaz de produzir quebras nas moléculas de DNA, sendo os mutantes bacterianos sensíveis às radiações ionizantes e à própria redutona. Ou seja, a redutona agia juntamente com as radiações produzindo efeitos letais nas bactérias. Posteriormente, foi percebido que, na verdade, as ações ocorriam por meios dos peróxidos, produzidos pela redutona e inativados pela catalase. Na década de 1970, Leitão também trabalhou com a ação fotodinâmica do azul de metileno e o pigmento violaceína encontrado na bactéria *Chromobacterium violaceum*, microrganismo comum na região das águas do Rio Negro. Esses estudos continuaram até pelo menos a década de 1990, quando Luiz Renato Caldas escreveu um artigo na revista *Ciência Hoje* sobre o tema, indicando as propriedades antibióticas da violaceína, que estariam relacionadas com a escassez de alimentos para os peixes da região, por seus efeitos sobre a microfauna, expondo os experimentos fotobiológicos feitos e os possíveis desdobramentos que novos estudos trariam (CALDAS, 1990, p. 56-57).

Apesar das conexões de Leitão com outros projetos, mesmo que ligados aos trabalhos de Caldas, houve uma continuidade nos estudos sobre reparo de DNA, com projetos sobre as respostas celulares às lesões induzidas por agentes físicos e químicos sendo financiados pela FINEP, CNPq, CAPES e FAPERJ desde a década de 1980. Leitão fez três estágios de pós-doutoramento, sendo o primeiro com o radiobiologista francês Raymond Devoret, que havia sido orientando de Raymond Latarjet, no Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), em Gif-sur-Yvette, na França. Nesse primeiro pós-doutorado, realizado em 1978, Leitão estudou indução lisogênica, uma das especialidades de Devoret, e aprendeu “a trabalhar com biologia molecular (plasmídeos, fagemídeos, clonagem, transformação etc.)”, tendo seu primeiro contato com vírus lisogênicos e testes bacterianos para a detecção de substâncias mutagênicas e tóxicas para os genes, metodologias posteriormente implantadas em seu laboratório na UFRJ (LEITÃO, 2017, p. 27). Em 1995, seu segundo pós-doutorado foi dividido em duas partes, estudando mecanismos de indução da mutagênese com Devoret,

agora em Orsay, e, no laboratório de Serge Boiteux, em Villejuif, na França, estudando leveduras e bactérias deficientes na reparação de lesões oxidativas produzidas pelo peróxido de hidrogênio. Por fim, um terceiro pós-doutorado foi feito em Nápoles, na Itália, no laboratório de Stella Zanini, onde Leitão trabalhou com culturas de células tireoidianas (LEITÃO, 2017).

De acordo com Leitão, no tocante ao financiamento de suas pesquisas, em “projetos envolvendo radiações, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) também lançava alguns editais e ajudava de forma mais discreta, mas ajudava” (LEITÃO, 2017, p. 27). Ou seja, mais do que a CNEN, foram outras instituições, como a FINEP, “com a ajuda pesada do Penna Franca”, que, a partir da década de 1970 apoiaram a compra de “equipamentos de maior aporte”. O CNPq, do mesmo modo, lançava eventualmente projetos específicos, como o Plano Integrado de Genética (PIG). Leitão também menciona o PIMUT, projeto ligado à FINEP que foi responsável pela organização do campo de estudos da mutagênese no Brasil, na década de 1980. O papel menos significativo da CNEN nos projetos de pesquisa em que Leitão estava envolvido pode indicar, dentre outras coisas, como o campo da radiobiologia, a partir dos estudos mais modernos com DNA, se distanciou muito das demarcações epistemológicas e institucionais da radiação. “A área de radiobiologia mesmo não existe mais. Tem pesquisa em reparo de DNA e mutagênese, mas radiobiologia mesmo, só o Carlos Eduardo Bonacossa de Almeida no IRD” (LEITÃO, 2017, p. 29). A opinião de Leitão, em seu depoimento de 2015, sobre o campo da radiobiologia como algo que se dividiu sobretudo em estudos de DNA e mutagênese, evidencia as transformações dessas agendas de pesquisa. Alvaro Leitão aposentou-se em 2014, mantendo a direção de seu laboratório.

Apesar do campo da radiobiologia ter se dividido em estudos mais específicos, sem a preocupação de manter o rótulo da disciplina, Leitão e Roberto Alcântara Gomes produziram juntos uma série de apostilas de radiobiologia e fotobiologia desde 1973, que foram referência nas disciplinas e cursos ministrados na graduação e pós-graduação do Instituto de Biofísica da UFRJ. Em 1986, uma dessas apostilas foi premiada pela Academia Nacional de Medicina. Além disso, Leitão manteve-se professor da disciplina de rádio e fotobiologia da pós-graduação desde 1970, e, em seu depoimento, comenta que vai “continuar ministrando esta disciplina, mesmo aposentado” (LEITÃO, 2017, p. 33).

Outro personagem cuja trajetória reflete os desdobramentos da pesquisa radiobiológica no Brasil é Carlos Frederico Martins Menck. Carlos Menck nasceu em São

Paulo, no dia 01 de dezembro de 1956. De acordo com o depoimento do cientista¹²⁷, sua família, da região de Osasco-SP, sempre o incentivou nos estudos, em especial seu pai, que, apesar do trabalho como comerciante, fomentava o interesse dos filhos pela ciência e pelo conhecimento em geral. Os irmãos de Menck chegaram a cursar física e química na Faculdade. Durante seu período escolar, Menck teve professores que despertaram seu interesse pelos campos da genética e da evolução. O cientista relata que, na escola, alguns professores exibiam vídeos de células, moléculas e outras entidades biológicas do universo intracelular. Menck graduou-se em Ciências Biológicas no Instituto de Biociências da USP, em 1977. Durante a faculdade, desenvolveu seu interesse pela genética, tendo professores influentes na área, como Crodowaldo Pavan. Não sendo possível, entretanto, iniciar estágio com Pavan, pois este estava de partida para a Unicamp, Menck procurou estabelecer contato com outros pesquisadores. Assim, após assistir a uma palestra da professora Gláucia Santelli, jovem pesquisadora que trabalhava com mecanismos de reparo do DNA no câncer, Menck tentou verificar se Santelli teria condições de recebê-lo como aluno, o que também não foi possível pois, em verdade, a pesquisadora não trabalhava exatamente com o tema da palestra. Entretanto, Santelli sugeriu que Menck procurasse o professor Rogério Meneghini, que havia voltado dos Estados Unidos há pouco tempo.

Com Meneghini, Menck finalmente começou sua carreira como pesquisador, ainda na graduação. Seu grupo de pesquisa na USP, formado por no máximo seis pessoas, estudava sistemas e processos de reparo em DNA. Menck relata que se tratava, de fato, de ciência básica, “muito básica”. Entretanto, nesse mesmo contexto, o cientista aprendeu a técnica de cultura de células humanas. O trabalho com Meneghini parecia significar um contato quase direto com o que estava sendo feito fora do Brasil, uma ciência de ponta e de qualidade. “E aí eu comecei a trabalhar com luz ultravioleta, com radiação, conheci o Rex Tyrrell, que era um inglês que estava no Brasil, estava na UFRJ”¹²⁸.

De acordo com Menck, o contato com Tyrrell foi importante para o início de seus trabalhos com rádio e fotobiologia. O cientista inglês, em seu período no Brasil, trabalhou no Instituto de Biofísica com luz ultravioleta:

Que a gente nem sabia direito o que que era, eu não sabia, monocromática e tinha um equipamento todo ligado, significa que era um comprimento de onda muito específico e ele irradiava DNA com trezentos e sessenta e cinco nanômetros. E ele foi uma das pessoas que mostrou que...foi a primeira pessoa que mostrou que DNA de bacteriófago lambda gerava, irradiado com

¹²⁷ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹²⁸ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

ultravioleta A, gerava dímero de pirimidina¹²⁹.

A ‘descoberta’ de Tyrrell, publicada no início da década de 1970 (TYRRELL e WEBB, 1973; TYRRELL, LEY, WEBB, 1974), demorou 30 anos para ter alguma reverberação. Além do contato com Tyrrell, o orientador de Menck, Rogério Meneghini, havia trabalhado em Stanford diretamente com Philip Hanawalt¹³⁰, descobridor, em 1963, dos mecanismos de reparo de DNA (PETTIJOHN e HANAWALT, 1964). Na década de 1970, ainda em Stanford, Meneghini conseguiu mostrar que o DNA replicado contendo lesão, num processo chamado à época de reparo pós replicação, formava lacunas. Apenas mais recentemente, mais ou menos 40 anos depois, a equipe de Menck conseguiu demonstrar que essas lacunas são preenchidas com a proteína REV3. Uma série de trabalhos, nesse sentido, que se iniciaram na década de 1970, só foram continuados décadas depois, num período no qual o uso da radiação em pesquisa já não tinha a mesma configuração. É interessante perceber, contudo, como Carlos Menck sempre esteve conectado com cientistas que, além da utilização de radiações em suas pesquisas, estavam preocupados em ‘desvendar’ os complicados processos de reparação ocorridos no DNA após este ser submetido a lesões variadas, numa chave de pesquisa básica, mas, ao mesmo tempo, visando uma aplicabilidade biotecnológica ou médica. Ainda enquanto estava na iniciação científica, na década de 1970, Menck conheceu Philip Hanawalt, quando Meneghini organizou um curso latino-americano sobre reparo de DNA. Embora não tenha feito o curso, pois não era da pós-graduação, Menck se recorda da movimentação nos laboratórios, e do contato iniciado ali. Posteriormente, o cientista brasileiro foi visitar Hanawalt em Stanford, para fazer uma comunicação de pesquisa em seu laboratório, e, em seu estágio de pós-doutoramento, estudou com o biólogo francês Alain Sarasin, que havia sido aluno de Hanawalt.

Após se formar em ciências biológicas, Menck iniciou seu doutorado em bioquímica, no Instituto de Química da USP, sob orientação de Rogério Meneghini. Em 1982, o cientista defendeu a tese intitulada ‘Sobrevivência e sistemas de reparo em células de mamíferos’. Em seu trabalho, Menck verificou que 10% da replicação de uma fita mãe de DNA, para uma fita filha de DNA, ocorria por meio da recombinação (MENCK, 1982). De acordo com seu depoimento, durante a década de 1980, um cientista inglês acabou publicando resultados

¹²⁹ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹³⁰ De acordo com Menck, Hanawalt deveria ter ganhado o prêmio Nobel por sua descoberta, o que não aconteceu. Em 2016, cientistas latino-americanos deram um prêmio ao cientista norte-americano, “For the Original Discovery of DNA Repair”.

praticamente idênticos aos dele, na revista *Nature*, o que pode ter sido uma cópia ou plágio, suspeita nunca devidamente elucidada¹³¹.

Quando concluiu seu doutorado, Menck foi contratado pela UERJ, no Rio de Janeiro, tornando-se Professor Adjunto do Instituto de Biologia. Nesse contexto, Roberto Alcântara Gomes já havia iniciado seus estudos em mutagênese. Assim, Menck teve apoio garantido para montar um laboratório e desenvolver uma linha de pesquisa em cultura celular de mamíferos. Menck trabalhou na UERJ durante três anos, de 1982 a 1985. Nesse período, além de trabalhar com o grupo formado por Alcântara Gomes, dos quais alguns serão também mencionados posteriormente neste texto, teve a oportunidade de realizar, como já citado, seu estágio de pós-doutoramento na França. O contato com a França foi facilitado por Alcântara Gomes, que já possuía uma relação de longa data com pesquisadores franceses. Assim, Menck foi inicialmente para um estágio de dois meses, com uma bolsa da CAPES, mas o contato com Sarasin proporcionou-lhe a possibilidade de iniciar um pós-doutorado de dois anos, o que foi conseguido devido a uma bolsa do CNPq. Depois que a bolsa do CNPq se encerrou, Menck ainda ficou mais um ano na França, em Villejuif, com bolsa do próprio Alain Sarasin, continuando seu trabalho no Laboratório de Instabilidade Genômica no Instituto de Pesquisa de Câncer, o Institut de Recherches Scientifiques sur le Cancer (IRSC/CNRS).

Para trabalhar durante esse período na França, Menck saiu da UERJ, o que, de acordo com o cientista, era mais vantajoso financeiramente:

Porque minha bolsa de estudos aumentava. Praticamente era o salário inteiro. Era mais, praticamente aumentava de mil e seiscentos, alguma coisa assim, mil e seiscentos, ou de mil e quinhentos para mil e oitocentos dólares, ou de mil e quatrocentos para mil e oitocentos dólares, alguma coisa assim. [...] E o meu salário aqui, ele chegava, na baixa da inflação era duzentos dólares, depois ele aumentava e ia para seiscentos dólares. Na média era quatrocentos dólares. Então batia, basicamente, e era mais fácil sair sem vencimentos. Eu saí sem vencimentos. E sim, eu continuei trabalhando com o xeroderma pigmentoso, com replicação de DNA lesado, com mutagênese. A gente desenvolveu e aprendi, sobretudo o que eu aprendi muito lá foi trabalhar com a biologia molecular¹³².

Além das vantagens financeiras envolvendo sua escolha profissional rumo à França, Menck adquiriu, nos anos em que ficou no exterior, conhecimento sobre as ferramentas da biologia molecular. Na França, ele aprendeu a fragmentar o DNA, construir vetores e a trabalhar com técnicas que, de acordo com ele mesmo, ainda não eram praticadas no Brasil,

¹³¹ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹³² MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

ou apenas de forma incipiente. Retornando ao Brasil, em 1988, o biólogo conseguiu “trazer, trouxe tudo, eu tinha que trazer, sequenciamento de DNA, tinha que trazer isso. Eu não tinha como fazer isso. Isso foi uma bagagem muito importante”¹³³. Desde a década de 1970, com o advento das tecnologias de DNA recombinante, uma nova situação epistemológica e técnica foi criada. Enzimas de restrição, transcrição, replicação e ligação, além de plasmídeos e outros vetores, os “pedaços” de DNA e RNA, não eram objetos externos ou “máquinas analíticas” como os radioisótopos. “Eles próprios são macromoléculas. Com a tecnologia genética, os dispositivos “técnicos” centrais da intervenção biológica molecular tornaram-se partes e, na verdade, constituintes das atividades metabólicas com as quais, ao mesmo tempo, interferem” (RHEINBERGER, 1995, p. 253). Essas tecnologias que utilizavam as próprias enzimas como “tesouras e agulhas” para costurar e unir genes causaram uma mudança significativa nas práticas da pesquisa biológica:

Pela primeira vez em todos os tempos, é no nível da instrução que os processos metabólicos estão se tornando suscetíveis à manipulação. Até esse ponto, a intervenção médica, mesmo nas formas mais intrusivas, restringia-se ao nível do desempenho metabólico (RHEINBERGER, 1995, p. 253).

Desse modo, a partir dos anos 1970, as técnicas biomoleculares estruturaram novas agendas. Se até então os radioisótopos permitiam, por exemplo, acompanhar o trânsito de diferentes elementos intracelulares, a partir desse contexto, seria possível interferir no organismo através dele próprio, e sem necessariamente utilizar outras ferramentas. Isso caminhou, na década de 1980, para avanços biotecnológicos resultantes de interações entre políticas neoliberais, administradores científicos e ‘biólogos moleculares’. Aqui podemos visualizar bem o que Chadarevian e Kamminga (2005) chamam de molecularização da biologia e da medicina. Assim, essas técnicas passaram a circular e transformar diversas áreas da pesquisa biológica, como no caso de procedimentos de engenharia genética de ratos que foram adaptados para animais de criação, levando “a programas de melhoramento mais eficazes nas ciências agrícolas” (GARCÍA-SANCHO e MYELNIKOV, 2019, p. 24).

Menck chegou a retornar para a UERJ, mas logo migrou para a USP, iniciando sua carreira de pesquisador no Departamento de Biologia do Instituto de Biociências (IB), ainda em 1988. A ideia de Menck, Meneghini e de outros pesquisadores do mesmo grupo, era montar um laboratório de biologia molecular, o que de fato aconteceu:

Eu lembro que tinha um seminário no laboratório do Rogério Meneghini sobre uma técnica nova que tinham lançado, que se chamava PCR, e essa

¹³³ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

técnica de amplificação gênica que o pessoal usa hoje para teste diagnóstico. [...] Fui uma das primeiras pessoas que falou isso, pelo menos no laboratório do Rogério, fui das primeiras pessoas que falou. E essas tecnologias que a gente tentou implementar, implementou, quer dizer, foi uma coisa assim, não foi do dia para a noite, porque não dá para ser, mas eu obtive apoio da FAPESP na época, apoio do CNPq. [...] Eram apoios bons o suficiente para fazer a coisa começar a andar. O que era mais difícil, o que é normalmente mais difícil para todo o jovem que chega no Brasil, é conseguir ter uns alunos e montar um grupo. Isso não é das coisas, eu achava que ia ser fácil, porque eu fui para o Rio, no Rio eu montei rapidamente um grupo que depois se desfez, porque eu fui embora. [...] Mas montar um grupo aqui na USP, que eu achava que ia ser super fácil, foi difícil para burro. Demorou a ter as coisas andando no laboratório. É engraçado isso. Acho que algumas pessoas conseguem fazer isso fácil, mas depende um pouco de sorte¹³⁴.

O grupo de Menck, entretanto, foi montado. Em 1991 seu laboratório já estava com uma estrutura “bastante razoável”. Em 1996, Menck transferiu-se para o Instituto de Ciências Biomédicas (ICB) como Professor Titular do Departamento de Microbiologia. De acordo com Menck, ele “não teria passado como professor titular se não tivesse montado alguma coisa de biologia molecular no IB”¹³⁵. Nesse sentido, a trajetória de Menck, marcada por trabalhos na intersecção entre fotobiologia, radioisótopos como marcadores, genética e edição de DNA, é um dos exemplos das transformações ocorridas na pesquisa biológica da segunda metade do século XX, atravessada pela influência do tema da radiação e das técnicas da física no laboratório e na estruturação de grupos e agendas de pesquisa, culminando em distintas vertentes da chamada biologia molecular:

Trouxemos, fizemos alguma coisa de biologia molecular na época. Havia uma confusão, como há ainda hoje, que as pessoas falavam assim: “Biologia molecular é uma técnica só”. Não, não é técnica. Biologia molecular é um conceito e também tem uma questão científica por trás. Por exemplo, eu sempre trabalhei com biologia molecular de certa forma. A técnica é tecnologia de DNA recombinante, mas a minha biologia molecular, trabalhando com DNA, com a molécula DNA, eu faço biologia molecular¹³⁶.

No Brasil, existe uma literatura tímida sobre a história dos estudos biomoleculares. O artigo de Silva e Costa (2018) procurou mapear instituições e grupos que refletem a emergência da biologia molecular no estado de São Paulo, de 1952 a 1970, sob um viés sociológico. De acordo com Silva e Costa (2018), a promoção da biologia molecular enquanto campo de pesquisa em São Paulo foi resultado de negociações e alianças políticas entre os

¹³⁴ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹³⁵ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹³⁶ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

próprios cientistas e a FAPESP. O artigo cita o Centro de Medicina Nuclear (CMN-FMUSP), o projeto biomédico da Faculdade de Medicina da USP de Ribeirão Preto, o Instituto de Química da USP e o programa de pós-graduação em biologia molecular da Escola Paulista de Medicina, entre 1963 e 1970, como alguns desses grupos pioneiros. Apesar da contribuição do texto de Silva e Costa (2018), o estudo apresenta uma análise pouco aprofundada da atividade desses grupos, e do que eles de fato produziram. A biologia molecular é retratada como exemplo de como fatores sociais podem interferir na organização ou no desenvolvimento de ‘campos científicos’ (SILVA e COSTA, 2018). Apesar desta tese não discordar das conclusões do texto citado, elas parecem não avançar muito no entendimento da historicidade da biologia molecular no Brasil. Por exemplo, embora os autores mencionem brevemente a trajetória do CMN-FMUSP como parte importante da história da biologia molecular no Brasil, a partir do desenvolvimento da tecnologia dos radioisótopos e da aproximação entre biólogos e físicos, isso é só introdutoriamente explorado. Nas conclusões do artigo, a FAPESP é tratada como a principal agenciadora do campo da biologia molecular, mas isso não parece ter sido satisfatoriamente demonstrado na análise, tampouco o papel de outras agências.

A partir da trajetória de Menck, por exemplo, é possível complexificar a ideia de que campos do conhecimento são modelados por fatores sociais. Nesse caso, a biologia molecular não pode ser vista apenas como resultado de esforços institucionais, mas da própria interação entre cientistas, seus objetos, seus colegas de trabalho, e, numa dimensão mais estrutural, um quadro epistêmico que, evidentemente, envolve instituições, mas também tensionamentos políticos, interesses individuais, e a própria contingência dos sistemas experimentais. As transformações ocorridas durante e depois desse ‘quadro’, demarcado politicamente pelo período da Guerra Fria e pela ditadura militar brasileira, são algumas das questões que esta tese tenta abordar. Através da atuação de Menck é possível perceber essas contingências presentes nas transformações dos sistemas experimentais, dos radioisótopos à era pós-genômica.

Na década de 1990, com a intensificação dos estudos genômicos, os radioisótopos foram saindo de cena, devido ao incentivo e à maior circulação de marcadores fluorescentes nas práticas experimentais. De acordo com Menck, no início os fluorescentes eram mais lentos e bem menos eficientes que os radioisótopos, mas aos poucos tornaram-se a nova prática científica padrão. Ainda durante seu período de pós-doutoramento na França, Menck teve seus primeiros contatos com essas mudanças. “A gente fazia tudo com radioativo, mas vários vendedores vinham falar com a gente de novos kits que usavam questão de

fluorescência para um monte de coisa, para detecção de DNA, detecção... Ainda não tinha o PCR, que apareceu logo quando eu estava saindo”¹³⁷.

Até esse processo de substituição dos radioisótopos, que abordarei melhor mais adiante, em seus trabalhos, Menck utilizou vários radioisótopos para marcar moléculas, DNA e proteínas (MENEHINI et al, 1978, 1980; MENCK e MENEHINI, 1982; MENCK et al, 1986). Geralmente, esses radioisótopos eram importados, entretanto, devido à demora e ao problema da meia-vida de alguns, como no caso do fósforo-32 (³²P), teve grande importância a iniciativa do professor José Carlos da Costa Maia (1937-1994), do Instituto de Química da USP, que durante a década de 1980, montou uma estrutura para favorecer a utilização de radioisótopos em biologia molecular. Segundo Menck, ele importava mais rápido alguns radioisótopos e fazia um processo de fosforilação para que durassem mais tempo e pudessem ser utilizados em pesquisas biológicas¹³⁸. Em seu depoimento, Menck destaca a importância fundamental da iniciativa de Maia.

Quando da morte de Maia, em 21 de setembro de 1994, vítima de um ataque do coração durante uma aula de bioquímica, o bioquímico brasileiro Walter Colli (1939-) publicou na revista *Ciência e Cultura*, em 1995, um pequeno memorial de seu colega. De acordo com Walter Colli, “a recém-nascida (pelo menos no Brasil) Biologia Molecular dependeu por uma década dos produtos radioativos sintetizados por Maia. Um dia, quando for contada a história da Biologia Molecular no Brasil, o pioneirismo de Maia será plenamente apreciado” (COLLI, 1995, p. 97). Colli relata o processo encabeçado pelo químico a partir do início dos anos 1980, que, em 1989, resultou em 49 grupos brasileiros dependendo dos ATPs¹³⁹ radioativos produzidos por Maia, sendo o grupo de Menck apenas um deles:

No início dos anos 1980 Maia decidiu propor um programa nacional para a síntese de [γ 32P] ATP e [α -32P] ATP com o apoio da FINEP. Foram tempos heroicos e eu e o Maia sentimos como era difícil fazer investigação com nucleotídeos cíclicos tendo de depender apenas de nucleotídeos radioativos importados; as políticas governamentais tratavam as mercadorias importadas, mesmo aquelas destinadas a trabalhos científicos, quase como produtos de atividades criminosas. Os produtos químicos chegavam em datas incertas, geralmente depois de totalmente apodrecidos e normalmente deixados fora do freezer pelas autoridades alfandegárias. Então nós dois decidimos sintetizar ATP radioativo com 32P produzido em São Paulo pelo IPEN. A síntese do produto γ [gama] foi fácil porque o método era enzimático, mas como o produto α [alfa] exigia uma série de etapas químicas, a parafernália foi montada primeiro no meu laboratório e depois

¹³⁷ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹³⁸ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹³⁹ ATP é a sigla para adenosina trifosfato, uma molécula que constitui a principal forma de energia química, fornecendo energia livre para as células.

transferida para o laboratório de Maia. Pela persistência e preocupações sociais - características da personalidade de Maia - prosseguiu com as sínteses que acabaram atraindo o interesse nacional e o apoio da FINEP (COLLI, 1995, p. 97).

Antes da iniciativa de Maia, de acordo com Menck, a importação era, de fato, um processo complicado. O ^{32}P , que era largamente utilizado em suas pesquisas, possui uma meia-vida de apenas 14 dias. A FAPESP intermediava a importação, mas ainda assim, como também é evidente pelo relato de Colli (1995), não se tratava de um processo fácil. Esse e outros aspectos foram responsáveis, em grande parte, pelo processo de substituição dos radioisótopos por outras técnicas. De acordo com Angela Creager (2013):

Vários fatores levaram ao declínio desde os anos 90 no uso de radioisótopos em bioquímica e biologia molecular. À medida que os cientistas desenvolviam máquinas automáticas de sequenciamento de DNA de alto volume, empregavam etiquetas fluorescentes em vez de radioisótopos. Muitos outros métodos atuais também favorecem rótulos fluorescentes, como ensaios de expressão de genes em chips de DNA. No crescente campo da biologia celular, as proteínas fluorescentes são igualmente usadas para analisar visualmente os padrões de expressão gênica, geralmente em tons vívidos de vermelho e verde. Em conjunto com corantes e sondas fluorescentes, a reação em cadeia de polimerase em tempo real e a reação em cadeia de polimerase em reversão em tempo real permitem que os biólogos detectem e quantifiquem ácidos nucleicos sem radioisótopos. As ferramentas de computador reorganizaram ainda mais as possibilidades experimentais (CREAGER, 2013, p. 398).

Além das novas técnicas e instrumentos, “o abandono em larga escala de radioisótopos em laboratórios reflete o ônus da regulamentação para usuários licenciados de radioisótopos, e, principalmente, o descarte de resíduos radioativos” (CREAGER, 2013, p. 399). Mudanças de ordem epistemológica também ocorreram, segundo a autora, pois, se anteriormente a ênfase dos sistemas experimentais em biologia dava-se no rastreamento de alterações de ordem bioquímica e no papel dos genes individuais na determinação de aspectos biológicos, num cenário pós-genômico, a abordagem privilegiada que emergiu nos laboratórios foi de uma “biologia sintonizada com redes de interações moleculares e o papel da epigenética” (CREAGER, 2013, p. 399). Apesar de defender a ideia de uma mudança epistemológica ocorrida com a genômica, Creager (2013) também considera a existência de uma “pegada epistemológica” deixada pelos radioisótopos nas ciências da vida, ainda que seu uso rotineiro tenha se tornado menos frequente:

O quadro geral da vida no nível molecular estabelecido durante a segunda metade do século XX – incluindo o entendimento da replicação, transcrição e tradução de genes e a rede de caminhos metabólicos que um organismo

regula na automanutenção – permanece fundamental, e é profundamente tributário dos métodos experimentais usando radiomarcadores (CREAGER, 2013, p. 399).

Todos esses elementos podem ser percebidos através da trajetória de Carlos Menck, bem como de outros pesquisadores que ainda serão mencionados neste subtópico. Menck relata que, por um lado, existiu, de fato, na década de 1990 pressões para que o uso da radiação nas pesquisas fosse reduzido, mas, por outro, até pelo menos 2019, o cientista ainda mantinha “uma salinha aqui no laboratório, que era unicamente, até dois anos atrás, unicamente para trabalhar com produto radioativo¹⁴⁰”. Cada vez menos, entretanto, o cientista e seu grupo utilizavam radioisótopos em suas pesquisas, em especial o fósforo-32. Menck relata eventos que, de certa forma, contribuíram para esse afastamento gradativo das técnicas radioativas. No final da década de 1980, na França, por exemplo, houve boatos de que no Instituto Pasteur pesquisadores que trabalhavam com ³²P estavam tendo complicações de saúde e até mesmo morrendo:

E o que aconteceu foi no Instituto Pasteur, que um grupo que trabalhava com mutagênese, esse grupo ele começou a ter gente morrendo de câncer. Câncer nos ossos e coisa assim. E foi fechado. E havia uma suspeita de que seria o P³². Eu lembro de alguns comentários. Em carta. Na época mais assim. E, na verdade, eu tenho comigo a ideia de que não era o P³². Como era um grupo que trabalhava com mutagênese, eles testavam produtos tóxicos altamente mutagênicos. E a minha ideia é que talvez pessoas tenham, ou aquilo era um acaso, ou aconteceu em algum momento que alguém derrubou, alguém perdeu, só que P³² você pega contador Geiger e ele apita. Você consegue, entre aspas, enxergar o produto radioativo. O produto químico, se ficou uma poeirinha ali você passa a mão, você limpa¹⁴¹.

Outra trajetória científica que ilustra as contingências históricas dos sistemas experimentais formados a partir do uso dos radioisótopos é a do biólogo Israel Felzenszwalb. Nascido no dia 06 de outubro de 1952, no Rio de Janeiro, Felzenszwalb foi o terceiro filho de Lesbos e Dora Felzenszwalb, família de origem judaica que imigrou para o Brasil no período entre guerras. De acordo com o depoimento de Felzenszwalb, a coisa mais importante para sua família era que ele e seus irmãos obtivessem um título acadêmico. “Todos os filhos cumpriram essa missão deles e, por tristeza, não virei médico, que era o desejo”¹⁴². Atraído pela “parte científica”, Felzenszwalb tentou o vestibular para medicina, mas acabou passando no curso de ciências biológicas da UERJ, ingressando em 1970 e formando-se em 1974:

¹⁴⁰ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁴¹ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁴² FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Mas naquele período, até o terceiro ano, as turmas de biologia e de medicina tinham o mesmo ciclo básico, na mesma sala, era tudo junto. Então até aquele momento a gente podia optar no terceiro ano se a gente queria migrar para medicina, mas aí eu já tinha descoberto que eu não queria fazer medicina né? Eu fui atraído pela biologia né? O departamento de Biofísica e Biometria, que foi aonde eu comecei a estagiar desde o segundo ano da graduação e lá estou até hoje¹⁴³.

O curso de ciências biológicas da UERJ, criado por Roberto Alcântara Gomes, era dividido entre estudos mais fundamentais de biologia e estudos biomédicos. Felzenszwalb optou pela parte biomédica, e, ao mesmo tempo em que iniciava seu trabalho de estagiário, em 1971, no laboratório de biofísica, se “forçava” a frequentar o Hospital Pedro Ernesto, que ficava ao lado do Instituto de Biologia, “para ver se eu queria mesmo fazer medicina, e vi que não, que o hospital não me atraía como o laboratório me atraiu¹⁴⁴”. De acordo com o biólogo, o que de fato o atraiu foi o tema do reparo de DNA, dentro do campo da radiobiologia. O grupo que trabalhava nesse campo na UERJ, e que estava sendo formado por Alcântara Gomes, envolvia jovens pesquisadores como Álvaro Leitão, Elisabeth Mansur, Salatiel Menezes dos Santos, José Valter Cotegipe Pélico, João Antonio Pegas Henriques, dentre outros. De acordo com Israel Felzenszwalb, a questão norteadora do grupo que trabalhava com DNA e radiobiologia era o tema da mutação, ou seja, buscar entender como evitar mutações ou como se recuperar de mutações, “era algo que atraía terrivelmente, [...] que dava um despertar de interesse enorme para o grupo né? Então todos nós estávamos muito imbuídos com isso¹⁴⁵”.

O contexto da formação de Israel Felzenszwalb na UERJ foi marcado por um grande incentivo e promoção de pesquisas com radiação. De acordo com o cientista, Alcântara Gomes possuía um contato muito próximo da CNEN, que na década de 1970 começou a estimular e sugerir que programas de pós-graduação ligados ao estudo dos radioisótopos fossem criados e desenvolvidos:

Foi quando foi criado o Programa de Pós-Graduação em Biociências. Primeiro o curso de especialização, que se tornou em Pós-Graduação e hoje já está consolidado. É núcleo 6 da CAPES. Então foi um programa começado por sugestão da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Então ele tinha no seu embrião a radiação e os radioisótopos como meta de estudos. Depois ele foi crescendo em outras áreas da biologia. E esse programa hoje já nucleou outros cinco programas. Todos os programas de Pós-Graduação da área biológica da UERJ foram nucleados nesse programa de Pós-

¹⁴³ FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁴⁴ FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁴⁵ FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Graduação criado pelo Roberto¹⁴⁶.

Em 1975, foi criado o primeiro Curso de Especialização em Biociências Nucleares, na UERJ, patrocinado pela Campanha Auxiliar de Empresas de Eletricidade Brasileiras (CAEEB) e pela CNEN. Nesse mesmo contexto, o Brasil passava pelo momento da instalação de suas primeiras usinas nucleares, necessitando, nesse sentido, de pessoal especializado para se trabalhar nas áreas de radiobiologia e radioproteção. Esse curso tornou-se um curso de mestrado em 1977, sendo também, mais tarde, criado o doutorado em biociências nucleares (LEITÃO, 2010, p. 103). Por outro lado, para se ter uma noção do clima interno da UERJ, em relação ao incentivo de estudos com radiação e à criação de cursos nessa área nas décadas de 1970 e 1980, é interessante recorrer a uma situação envolvendo uma revolta ou indignação dos alunos do curso de medicina, relatada por Carlos Menck em seu depoimento:

Os alunos da medicina começaram a divulgar, tipo *fake news*, dizendo que a gente recebia dinheiro da CNEN para eles poderem fazer a bomba atômica. Entendeu? E isso criou um problema sério com os estudantes. Tivemos que fazer reuniões específicas com estudantes e dizer que aquilo não era verdade, a gente estava recebendo bolsas de estudos para fazer mutagênese ambiental. Até o contrário, né?¹⁴⁷

Apesar da falta de entendimento dos próprios estudantes de medicina da universidade a respeito dos estudos com radiação, as pesquisas em radiobiologia e mutagênese ainda ganhavam espaço devido a interesses, como vimos, diretamente ligados ao programa nuclear brasileiro, mas também a redes nacionais e internacionais de cientistas cooperando para o desenvolvimento do campo. Logo após se formar, surgiu a possibilidade de Felzenszwalb passar a integrar o corpo docente da UERJ, assim como vários de seus colegas recém-formados. Naquele momento, a admissão ainda não envolvia o processo de concurso. Assim, Alcântara Gomes conseguiu rapidamente constituir um grupo coeso de radiobiologistas. Em 1980, Felzenszwalb defendeu sua dissertação de mestrado, intitulada ‘Estudo do efeito da redutona em células de *Escherichia coli* carenciadas’. Orientado por Alcântara Gomes, e trabalhando com um tema de pesquisa que também era objeto dos estudos de seu orientador, Felzenszwalb utilizou sistemas bacterianos para verificar a ação da radiação ultravioleta e da redutona na sobrevivência celular (FELZENSZWALB, 1980). A redutona “na verdade, é um açúcar né? Que vem a produzir radicais livres, coisas que só foram aparecer como sendo radicais livres algum tempo depois. Era o início de todo esse movimento de agentes

¹⁴⁶ FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁴⁷ MENCK, entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

oxidantes, antioxidantes¹⁴⁸”. Na década de 1980, com a tecnologia do DNA recombinante, clonagem e desenvolvimento da técnica de PCR, agentes antioxidantes como a enzima superóxido dismutase (SOD) se tornaram ferramentas biológicas importantes para explorar os mecanismos de reação e reparação (GUTTERIDGE e HALLIWELL, 2006).

Logo após a conclusão de seu mestrado, Felzenszwalb sentiu a necessidade de estudar fora do Brasil. O objetivo do cientista era trabalhar nos Estados Unidos. Entretanto, com Alcântara Gomes tendo apenas “os caminhos para ir para França’, e não para ir para os Estados Unidos, Felzenszwalb teve de buscar sozinho como iria estabelecer sua conexão com os norte-americanos. Da sua geração de pesquisadores da UERJ, ele foi o único a priorizar os EUA e não a França. Ainda na década de 1970, alunos orientados por Luiz Renato Caldas, como Ana Clara Guerrini Schenberg Francino, realizaram pesquisas na França em abordagem que unia radiobiologia e genética de microrganismos, estudando, por exemplo, o efeito genotóxico da hipertermia em células eucarióticas (LEITÃO, 2010, p. 103). Do mesmo modo, João Antonio Pegas Henriques, orientando de Alcântara Gomes, também fez seu doutorado na França, no Institut Curie (antigo Institut du Radium), estudando os mecanismos de defesa e de reparação de DNA do genoma de células eucarióticas (*Saccharomyces cerevisiae*) expostas às radiações UV e agentes químicos. Esse trânsito também foi feito por Salatiel Menezes dos Santos, de 1977 a 1979, estudando sistemas de reparação em células de mamíferos superiores e humanas, Álvaro Augusto da Costa Leitão, de 1978 a 1979, estudando os mecanismos de reparação induzidos em bactérias (*Escherichia coli*) e José Valter Cotegipe Pélico, de 1979 a 1980, estudando o reparo e mutagênese de bactérias. Israel Felzenszwalb, de 1981 a 1983, estagiou no Radiology Department da Stanford University, nos Estados Unidos (LEITÃO, 2010, p. 105):

A ideia que eu tinha era de talvez naquele momento fazer o doutorado, mas eu não apliquei para a universidade. Eu escrevi para três laboratórios. Em princípio os três aceitavam a minha presença. Só que um era dentro de alguma coisa do exército. Então tinha que passar por uma avaliação de segurança que levaria no mínimo um ano. Era uma coisa assim, tipo vasculhar não sei o que. O segundo, me aceitava, mas só para o ano seguinte, porque ele estava tirando um ano sabático. E o Kendric Smith, ele me aceitou na hora, falou: “super bem-vindo”. E o Kendric Smith já tinha vindo ao Brasil. Eu já tinha estado, não com ele, mas já tinha assistido conferência dele num congresso aqui. E foi supersimpático, ele foi muito agradável na correspondência. Naquela época não tinha e-mail né? Era carta mesmo. Então ele foi supersimpático, me recebeu super bem e, entre aspas, como um profissional, não um aluno. Eu tive meu projeto de pesquisa, tive uma temporada fantástica no laboratório dele, produzimos legal. E foi isso. Era

¹⁴⁸ FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

trabalho, eu não estava como aluno¹⁴⁹.

Nesse período, Felzenszwalb trabalhou como *Research Scholar* no laboratório de Kendric Smith. Ao mesmo tempo em que o cientista havia aplicado para receber bolsa do CNPq, também aplicou para a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Devido a problemas de atraso no recebimento da bolsa do CNPq, quando foi aprovado pela AIEA, Felzenszwalb cancelou sua bolsa da agência brasileira, passando esse período nos EUA sendo financiado pela AIEA. A aplicação de bolsas para a AIEA, entretanto, era intermediada pela CNEN. Entre seu mestrado e o seu doutorado, que se iniciou apenas em 1987, Felzenszwalb trabalhou com o tema da mutagênese, utilizando o sistema bacteriano da *Escherichia coli* e a produção de mutantes, como o RadC 102 (FELZENSZWALB, SARGENTINI e SMITH, 1986). Esses mutantes serviam como instrumentos no enriquecimento da busca de informações sobre o processo de reparação do DNA. No laboratório de Smith, em Stanford, os cientistas estavam procurando novos mutantes da bactéria *Escherichia coli*, originados pelo uso de radiação ionizante. O laboratório já havia identificado os mutantes RadA e RadB, quando Felzenszwalb conseguiu isolar mais um mutante, que foi chamado então de RadC (FELZENSZWALB e SMITH, 1983). O processo para a obtenção de mutantes iniciava com a irradiação de uma população de bactérias, e, posteriormente, continuava com a observação das diferenças e características presentes nas bactérias que iam sobrevivendo à irradiação. Assim, o trabalho de Felzenszwalb inicialmente identificou o local, no genoma da bactéria, onde existia o gene RadC. Posteriormente, durante o doutorado, o cientista identificou também uma proteína RadC (FELZENSZWALB, BOITEUX e LAVAL, 1993).

Em seu doutorado, de 1987 a 1991, feito inteiramente no Instituto Gustave Roussy, em Villejuif, na França, pela Universidade de Paris VI, sob orientação de Jacques Laval e com financiamento do convênio CAPES/COFECUB, Felzenszwalb continuou trabalhando com reparo de DNA, e defendeu uma tese que também envolveu o mutante RadC (FELZENSZWALB, 1991). Entretanto, o caminho para isso não foi tão óbvio, sendo, na verdade, resultado de inconsistências experimentais no trabalho que, inicialmente, Felzenszwalb havia começado com Laval:

Eu trabalhei um ano e meio no projeto e um dia eu cheguei para ele e falei: “Olha, esse trabalho é muito interessante”. Eu já tinha três fichários de resultados, mas ele não ia me dar tese. Ele não daria tese. Eu disse para o Laval “Ele não vai dar tese”. Aí ele falou: “Se vira, problema seu”. Aí eu falei: “Eu posso mudar?”. Aí ele falou “pode, sem problema nenhum”. Aí eu

¹⁴⁹ FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

voltei para o RadC. E aí eu soltei mais três artigos com o Laval. E só dois anos depois que eu defendi o meu doutorado na França e que aqueles três fichários, que passaram para mão de um outro pesquisador, se tornaram um artigo. Então, que dizer, era uma linha que ainda precisava de muito, muito trabalho. Não teria dado tempo de eu fazer o meu doutorado¹⁵⁰.

O trabalho ‘abandonado’ por Felzenszwalb abordava o tema da hipoxantina glicosilase, uma enzima envolvida no reparo de DNA. Esses trabalhos utilizavam radioisótopos como marcadores, para marcar moléculas, como o DNA, mas também para marcar ou ‘queimar’ proteínas, assim como em vários dos trabalhos de Felzenszwalb¹⁵¹. Entretanto, semelhante ao que ocorreu com Menck, logo após o seu retorno do doutorado, no início da década de 1990, “eu deixo de usar um pouco os radioisótopos, basicamente. E a única radiação que a gente usa num dos projetos da gente é a radiação ultravioleta. As metodologias que a gente usa são mais ligadas a medida de mutagênese¹⁵²”.

Além de Menck e Felzenszwalb, um terceiro exemplo ligado ao grupo e ao curso formados na UERJ por Alcântara Gomes é o da trajetória da cientista Regina Lúcia Batista da Costa de Oliveira. Nascida em 1954, na cidade do Rio de Janeiro, Regina Oliveira teve como pais uma professora e um engenheiro naval. Sua formação escolar foi sempre em instituições públicas de ensino, tendo sido normalista não só porque sua mãe era professora, mas porque seu pai entendia que mulheres deveriam ser apenas professoras. “Ele se arrependeu amargamente, porque eu sou farmacêutica e minha irmã é engenheira elétrica. Então ele não acertou. No fim eu acabei sendo professora, por destino, porque eu acabei sendo professora universitária, mas não era meu objetivo inicial¹⁵³”. Embora Regina Oliveira tenha cursado o magistério, a cientista se interessou pelo mundo da farmácia através de seu avô, que o levava junto para o trabalho, nas drogarias Granado, fazendo manipulação de medicamentos, e participava dos conselhos federais e regionais de farmácia. “E eu era fascinada pela aquela alquimia dos laboratórios etc. [...] Eu queria fazer farmácia. Nunca me interessei pelo bicho homem, nunca me interessei por medicina [...] Sempre me interessei por coisas microscópicas ou químicas né¹⁵⁴”.

Na hora de optar pelo curso universitário, Regina Oliveira entrou, em 1972, para a faculdade de farmácia da UFRJ. Seu objetivo, entretanto, sempre foi trabalhar com pesquisa e

¹⁵⁰ FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁵¹ Felzenszwalb menciona que a maioria dos radioisótopos com que trabalhava, com os de lítio e o carbono-14 eram conseguidos através de importação, mediada pela CNEN, ou do IPEN.

¹⁵² FELZENSZWALB, entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁵³ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁵⁴ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

desenvolvimento (P&D), no âmbito da indústria, e não na universidade. Nesse sentido, como o curso de farmácia da UFRJ possuía três habilitações, sendo farmácia industrial, análises clínicas e bromatologia, Oliveira optou pela habilitação de farmácia industrial, estagiando, nos seus últimos anos de curso, na indústria farmacêutica:

Na [Universidade] Federal do Rio de Janeiro existia uma hierarquia, os melhores alunos faziam farmácia industrial. E eu fiz iniciação científica desde o primeiro ano da faculdade. Era rata de laboratório, era rata de faculdade. Eu ainda estudei na antiga Praia Vermelha antes da mudança para o Fundão. Aliás, a minha turma foi a turma da mudança. Mas como a gente...as disciplinas profissionalizantes tinham ficado na Praia Vermelha, então eu pouco ia ao Fundão. Então estagiei... eu fui monitora de histologia, fui monitora de imunologia, fui monitora de análise instrumental¹⁵⁵.

Regina Oliveira se formou em farmácia industrial no ano de 1975. Nesse contexto, próximo de sua formação, algumas coisas aconteceram no âmbito profissional e pessoal de sua vida. Oliveira estagiou em duas grandes indústrias farmacêuticas do Rio de Janeiro, a extinta Silva Araújo Roussel, absorvida por outras multinacionais, e o laboratório Roche. Nos dois lugares, entretanto, Oliveira conseguiu trabalhar apenas no setor de controle de qualidade, e não em P&D, que era o seu objetivo principal. “Eu recebi um desconvite honroso do meu supervisor de estágio dizendo que P&D não era para mulheres, que aquilo ali eu jamais conseguiria trabalhar. Fiquei muito decepcionada¹⁵⁶”. Em paralelo a sua frustração com o ambiente de trabalho nas indústrias, Regina Oliveira continuava buscando outras oportunidades de campos de pesquisa e de trabalho.

Eu também vivia metida em um monte de coisas, eu fiz um curso naquela antiga...hoje em dia chama-se UNIRIO, mas naquela época chamava-se FEFIERJ. Era Fundação Estadual das Faculdades Integradas etc. De rádio e fotobiologia. Era um curso que eu fazia à noite. Não tendo mais nada o que fazer, eu saía da faculdade e ia à noite¹⁵⁷.

Tratava-se de um curso de extensão em rádio e fotobiologia, ministrado por Roberto Alcântara Gomes e seus alunos, como Álvaro Augusto da Costa Leitão. O curso possuía algumas aulas teóricas e algumas práticas, e Oliveira ficou muito interessada naquele universo, mesmo sabendo que se tratava apenas de um curso, e não de um emprego. “Eu gostei daquilo. A gente irradiava bactéria com ultravioleta, via as curvas de sobrevivência. Eu achei aquilo muito interessante, mas eu não contava fazer aquilo com a minha carreira¹⁵⁸”.

¹⁵⁵ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁵⁶ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁵⁷ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁵⁸ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Dessa forma, tendo desistido da carreira em P&D, Oliveira foi procurar fazer iniciação científica num laboratório de análise instrumental dentro do Instituto de Química da UFRJ, com o objetivo de ingressar num mestrado naquela mesma instituição. Entretanto, alguns eventos trágicos ocorreram e, de certa forma, impactaram mais uma vez os planos da cientista. A primeira, foi um grave acidente de carro, que levou Regina Oliveira a ficar meses em recuperação, tendo que passar por cirurgias e estagnar sua carreira então no início. Outro evento ocorrido nesse mesmo período, foi a morte, ocasionada por leucemia decorrente de exposição à benzeno, da doutoranda Micaela, pesquisadora do Instituto de Química com quem Regina Oliveira planejava trabalhar. “Aí eu fiquei realmente apavorada. Enquanto eu estava em casa de molho, aí a gente soube que a Micaela tinha tido um problema de doença grave e que ela...Aí depois a gente acabou sabendo que era por causa da leucemia, por causa da exposição à benzeno¹⁵⁹”.

De acordo com o depoimento de Oliveira, o medo em relação a riscos e acidentes que poderiam ocorrer no trabalho dentro de um laboratório de química a fez pensar que não deveria continuar com a ideia do mestrado naquele momento. Entretanto, a cientista resolveu procurar Álvaro Leitão, que havia conhecido durante o curso de extensão, e ele disse que não poderia orientá-la no Instituto de Biofísica da UFRJ, mas recomendou que procurasse o próprio Roberto Alcântara Gomes, na UERJ. “Coincidentemente, eu morava muito perto da UERJ. Eu morava ali na Tijuca”. Com a seleção de mestrado aberta, Gomes se ofereceu para orientar Regina Oliveira, se ela tentasse participar da seletiva. Dessa forma, através da recomendação de Álvaro Leitão, e com uma resposta positiva de Alcântara Gomes, a cientista ingressou no curso de biociências nucleares da UERJ. Nele, conheceu pesquisadores como Israel Felzenszwalb, que era da turma anterior a dela. Assim, antes mesmo de concluir o seu mestrado, Oliveira já estava contratada como professora da universidade. “Que é uma coisa que hoje em dia, isso é impensável”. O fato é que Roberto Alcântara Gomes possuía “carta branca naquela ocasião para montar um grupo¹⁶⁰”. Isso reflete muito bem a natureza do curso de biociências nucleares.

De acordo com Oliveira, na época em que fez seu mestrado, o curso ainda não era nem mesmo reconhecido pela CAPES. “Era... porque as universidades tinham autonomia de criar cursos de mestrado e doutorado, desde que o Conselho Universitário e o Conselho Estadual de Educação aprovasse”. Dessa forma, o título de mestre de Regina Oliveira, por exemplo, só

¹⁵⁹ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁶⁰ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

foi reconhecido anos depois, com a aprovação do Conselho e a oficialização do curso. O próprio nome do curso, biociências nucleares, era resultado de “contingências políticas que hoje olhando para trás...Foi uma pena que o Roberto morreu tão jovem, mas ele era uma pessoa extremamente visionária e extremamente capaz de lidar com política universitária e política de financiamento de pesquisa”. Assim, em contato direto com a CNEN, o financiamento para a organização do curso foi conseguido:

Eu era bolsista da CNEN. Ele conseguiu o financiamento da CNEN para o curso, desde que a gente trabalhasse com efeitos de radiação, efeitos de não sei o que, que era, digamos, uma demanda muito grande que veio de cima. Então quem entrasse no curso tinha bolsa, não tinha essa coisa de faltar bolsa. E a gente nem respondia. Nem a CAPES, nem CNPq. Eu nem sabia o que era isso. Se bem que, paralelamente, o Roberto, ele participou e promoveu aquele primeiro. Como é? Era um programa induzido de mutagênese que o CNPq criou, que tinha uma dinheirama, mas foram anos depois¹⁶¹.

Se na década de 1970 o incentivo para as pesquisas com radiação era grande, levando à rápida criação de um curso novo e bastante especializado como o de biociências nucleares, num período no qual a pós-graduação brasileira ainda estava sendo iniciada, pouco tempo depois, na década de 1980, “o patrocínio da CNEN foi decaindo, por razões óbvias, porque o interesse também foi diminuindo, a história foi se acalmando¹⁶²”. Segundo Regina Oliveira, no início, o curso de biociências nucleares tinha uma presença grande de físicos, e até mesmo um foco maior em radiobiologia, isso é, utilização de radioisótopos e radiação ionizante, além de radioterapia e radioproteção. “Teve gente que trabalhou com, não só radioterapia, como também aquelas agulhas de rádio, elementos radioativos que podiam ser usados. Então assim, era uma física nuclear bem pesada, tá? Que eu e Israel [Felzenszwalb], a gente trabalhou bem mais com a parte biológica, que eram os efeitos das radiações¹⁶³”.

Regina Lucia Batista da Costa de Oliveira iniciou sua dissertação de mestrado em 1977, e, em 1980, defendeu o trabalho intitulado ‘Produtos de termo degradação de Sacarídeos: o efeito das células de *Escherichia coli*’ (OLIVEIRA, 1980). Sua pesquisa teve início quando o grupo da UERJ começou a perceber, em laboratório, que existiam certas situações em que não era a irradiação que causava a morte celular, mas uma série de efeitos tóxicos que eram gerados pela esterilização causada pela radiação. “Então como eu tinha uma formação de farmacêutica, na verdade, o que eu fiz foi separar essas substâncias, tentar

¹⁶¹ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁶² OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁶³ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

agrupá-las, e tentar ver que efeitos elas teriam nas curvas de sobrevivências de células bacterianas¹⁶⁴”. Após defender seu mestrado, Regina Oliveira ainda chegou a orientar trabalhos de iniciação científica, mas, segundo a cientista, não tinha intenção de fazer doutorado nessa mesma linha. Havia cansado da natureza daquele trabalho, e passou a procurar colegas como Leitão e Salatiel, que estavam no Instituto de Biofísica da UFRJ, visando mudar sua linha de trabalho. “Mas todos tinham muito medo do Roberto. Nenhum enfrentaria uma aluna, uma professora da equipe dele para dizer “Agora eu vou orientar”, que seria muito malvisto¹⁶⁵”.

Por volta de 1983, devido a questões familiares, e, sem estar ativa em nenhum trabalho de pesquisa, Regina Oliveira se mudou com os três filhos pequenos e o ex-marido, que havia sido transferido do emprego, para a França. Nesse mesmo período, Israel Felzenszwalb, que estava em Stanford, nos EUA, e era um grande amigo de Oliveira, teve contato num congresso com um pesquisador francês, que, após uma conversa, convidou-o para trabalhar em seu laboratório, na França. Como Felzenszwalb não poderia ir naquele momento, pois estava trabalhando com Kendric Smith e, além disso, já era contratado da UERJ, indicou Regina Oliveira para a vaga de pesquisa no laboratório francês. O pesquisador francês era Jacques Laval, que, com o telefone de Regina Oliveira em mãos, ligou para convida-la a ir em seu laboratório:

Eu sabia, geograficamente, onde era. Aí eu me lembro que meu ex-marido chegou em casa de noite, eu falei “Recebi um telefonema de um louco”. O homem não me conhece, eu estou aqui cuidando de três crianças, levo para a escola, faz comida, limpa a casa, lavo a roupa, e me ofereceu trabalho. Ele deve ser louco. Eu nem vou. Cheguei lá, primeira coisa que ele me mostrou foram assim, três artigos que ele tinha, que o grupo dele tinha publicado nos últimos anos. Mas aí era com enzimologia de reparo. Era reparo de DNA causado por mutações, seja por radiação, seja por mutagênicos químicos, mutagênicos físicos. Mas assim, uma linha do que eu já tinha feito, que não me era desconhecida, mas me abria milhões de portas, né?¹⁶⁶

O laboratório e a estrutura de Laval, no Instituto Gustave Roussy, impressionou profundamente Oliveira, com as “novecentos e quarenta e cinco mil soluções” disponíveis e uma série de equipamentos de ponta. “Bom, eu acho que eu fui voando para casa. Acho que eu não fui nem dirigindo. Acho que eu devo ter ido flutuando pelo ar. E decidi que eu ia aceitar o desafio e comecei o doutorado lá com ele. Ele era um homem extremamente

¹⁶⁴ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁶⁵ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁶⁶ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

rigoroso, infeliz...¹⁶⁷”. De acordo com o depoimento da cientista, Laval era um cientista bastante reconhecido, sobretudo dentro da França, e possuía contatos com pessoas influentes no campo, como Philip Hanawalt, “que para mim era um ícone”, e Tom Lindahl, que em 2015 ganhou o prêmio Nobel de química por seus estudos em reparo de DNA. O laboratório de Laval era associado à pesquisa e tratamento de câncer, porém com foco em pesquisas fundamentais. “A gente fazia ciência básica. Básica, básica, básica, entendeu? A gente não chegava nem no organismo¹⁶⁸”. De acordo com Regina Oliveira, apesar da associação com uma instituição de câncer, as pesquisas no laboratório eram bastante circunscritas a objetos e temas fundamentais da pesquisa biológica, sem necessariamente visar uma aplicação imediata. Tratava-se de um arranjo necessário para que pesquisas básicas mantivessem financiamento, uma configuração que expressa os processos de negociação pelos quais cientistas como Laval ou Alcântara Gomes passavam para desenvolver suas linhas de pesquisa e articulá-las com outros agentes e interesses:

A primeira coisa que eu fazia, as bactérias cresciam, eu matava todas, extraía as proteínas. Então nem com a bactéria viva eu trabalhava. Eu trabalhava com extratos de proteínas. Mas a gente sempre conseguiu financiamento dentro de um laboratório de pesquisa. Laboratório voltado para o câncer, dizendo que a gente fazia ciência básica, né? Eu me lembro de uma... a gente brincava sempre que, cada vez que a gente escrevia um projeto para arranjar financiamento, tinha aquela frase que a gente falava um para o outro “Bactérias não têm câncer. Como é que vocês vão chegar da bactéria até o câncer”. A gente não sabe, mas a gente dava um monte de justificativas alternativas para conseguir financiamento. Depois eu melhorei um pouquinho. Passei a trabalhar com levedura, que pelo menos é uma célula eucariótica, mas também não tem câncer¹⁶⁹.

Longe de ser algo específico desse caso, a possível ou suposta aplicação médica de desenvolvimentos de pesquisa básica foi utilizada como justificativa em vários contextos históricos. No caso da história dos radioisótopos e dos usos pacíficos da energia atômica, isso ocorreu de forma bastante frequente (CREAGER, 2013). No relato de Regina Oliveira, o tema é tratado com certa comicidade, pois, na visão de uma cientista treinada para a pesquisa de laboratório, envolvida com sistemas bacterianos e proteínas, sendo os fungos “o mais próximo” que ela chegava dos seres humanos, parecia irônico sua associação com uma instituição focada em câncer. Mas isso diz respeito a uma configuração política, econômica, institucional e mesmo epistemológica bastante comum na história das ciências da vida, como

¹⁶⁷ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁶⁸ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁶⁹ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

a própria história do Instituto Oswaldo Cruz (IOC), no Rio de Janeiro, pode exemplificar, pela combinação estreita entre pesquisas de caráter mais aplicado com estudos de caráter mais básico (STEPAN, 1975). Ao mesmo tempo em que esses cientistas faziam ‘ciência básica’ tinham o financiamento de instituições que trabalhavam com temas relevantes para a esfera pública.

De acordo com Oliveira, o grupo de Laval “estava tão desesperado para arranjar um aluno (...) Você imagina você ir a um congresso nos Estados Unidos perguntar para uma pessoa que você nunca viu se tinha alguma indicação. Você via que o desespero era grande¹⁷⁰”. A demanda, nesse sentido, por alunos, por jovens pesquisadores, pode estar relacionada com o contexto de financiamento e de incentivo a pesquisas com radiação e áreas correlatas, como também vimos no caso da rápida criação do curso de biociências nucleares por Gomes, e da rápida admissão de vários de seus alunos como professores na UERJ. O trabalho de Regina Oliveira com Jacques Laval, entretanto, não foi nada fácil. “Depois eu vim a descobrir por que que o desespero era grande. Ele era de um gênio de cão, não era qualquer um que aguentava”. A cientista teve dificuldade em conciliar a pesada rotina de laboratório, com um chefe bastante exigente, e a rotina de cuidar de três filhos pequenos num país no qual ela não tinha familiares ou pessoas próximas:

Foi talvez a proposta mais dolorosa, que me custou mais caro em toda minha vida. Que me custou um desmaio por estresse, me custou uma úlcera, porque, invariavelmente, às três e quarenta e cinco ele me chamava na sala dele para discutir os resultados. Sabendo que as quatro horas eu tinha que ir embora. (...) Ah sim, dois acidentes de carro, porque eu bati o carro duas vezes dirigindo que nem uma louca para poder apanhar meus filhos na escola. Mas tirando isso eu sobrevivi, entendeu? Ele começou a ter um pouquinho de medo de mim no dia que eu desmaiei e bati com a cabeça, levei uns pontos na cabeça e o médico disse que era estresse por causa do trabalho. E aí ele ficou um pouco preocupado. Mas tirando isso, foi uma época maravilhosa. Maravilhosa, produtiva, eu interagi com grupos de renome, eu conheci o que era a ciência de verdade¹⁷¹.

Apesar das inúmeras dificuldades, Regina Oliveira considera sua experiência na França como um divisor de águas em sua carreira. Ela relata também a existência de uma certa competição “saudável” entre Jacques Laval e Alain Sarasin. Ambos haviam feito pós-doutorado nos EUA com Philip Hanawalt, mas seus grupos possuíam diferenças. Enquanto o grupo de Laval trabalhava especificamente com células bacterianas e leveduras, Sarasin e seus alunos trabalhavam com células eucarióticas, e, especificamente, células humanas. Entre

¹⁷⁰ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁷¹ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

as décadas de 1970 e 1980, esses personagens destacaram-se nos estudos em fotobiologia, como nas pesquisas sobre a reação de células a efeitos letais e processos de reparação.

Apesar dos intercâmbios, Oliveira relata que Jacques Laval, por exemplo, não tinha interesse nenhum pelo que os pesquisadores brasileiros estavam fazendo. Entretanto, a cientista fez amizade com Serge Boiteux, que na época estava concluindo seu doutorado no mesmo laboratório, e a ajudava na relação difícil com seu chefe. Nesse contexto, em 1987, enquanto Regina Oliveira tentava dar continuidade a suas pesquisas na França, seu ex-marido foi novamente transferido, e, no fim, sua família teve que retornar ao Brasil, porém dessa vez para São Paulo. Ainda faltava um ano e seis meses para Oliveira terminar sua tese na França:

Ele [o ex-marido] falou “Mas eu não posso ficar, eu tenho que voltar. (...) O que que eu ia fazer? Voltei né. Voltei, mas ainda fui duas vezes nesse período à França para terminar uns experimentos. E aí me vi num mato sem cachorro, porque eu tinha duas opções. Ou eu concluía a minha tese na França e eu teria que escrever toda a tese em francês, teria que defendê-la em francês sozinha, financeiramente seria uma coisa muito custosa, por que quem ia amparar? Quem ia pagar minhas passagens? Minha hospedagem? etc. etc. Ou eu ingressava no sistema brasileiro. O Alain Sarasin, ele é muito amigo do Rogério Meneghini, foi por isso que o Menck chegou lá, porque o Menck tinha sido orientado do Rogério Meneghini. E o Alan pediu ao Rogério pessoalmente por mim. Se ele podia me aceitar no laboratório.”¹⁷²

Por todos esses eventos e contingências pessoais, familiares e, evidentemente, de gênero, Regina Oliveira acabou por concluir sua tese na USP, com Rogério Meneghini como seu orientador. Com o apoio de Meneghini, Oliveira se inscreveu na USP, cursou todos os créditos necessários, e, já em 1989, defendeu a tese intitulada ‘Controle da resposta celular a agentes alquilantes: mecanismo de reparação indutíveis em células de *Escherichia coli*’ (OLIVEIRA, 1989). Após concluir seu doutorado, Regina Oliveira passou vários anos trabalhando como pesquisadora em estágio pós-doutoral supervisionada por Carlos Menck na USP. De acordo com seu depoimento, em 1996, não tendo conseguido passar em dois concursos que havia tentado na própria USP, a pesquisadora recebeu uma oferta de Serge Boiteux para trabalhar como pesquisadora em seu laboratório em Fontenay-aux-Roses. Oliveira acabou aceitando e, assim, em dezembro de 1996, retornou à França.

Entretanto, como Regina Oliveira havia ido sozinha para a França, sua estadia no outro país, sem os filhos, não durou muito tempo, e em 1997 a cientista retornou ao Brasil. Novamente no Brasil, Regina deu mais um tempo em casa, ignorando os convites de Menck para que ela retornasse ao seu laboratório. Num dos telefonemas de Menck, entretanto,

¹⁷² OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Regina acabou atendendo, e, sabendo de sua negativa para voltar a ser pós-doutoranda em seu laboratório, Menck a ofertou uma vaga de emprego na Universidade de Mogi das Cruzes, em São Paulo, para trabalhar dando aulas de genética. “Eu falei “Tá. Assina carteira? Paga salário? Tem seguro saúde? Que eu já estou cansada de não ter identidade, né?”¹⁷³”

Em pouco tempo no novo trabalho, ainda em 1997, Regina Oliveira participou de um grande projeto organizado pela FAPESP para sequenciamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*. Ao mesmo tempo, o reitor de sua nova universidade, também antigo reitor da USP, buscava uma reestruturação para se adaptar a leis de diretrizes e bases, o que incluía a contratação de pesquisadores, montagem de laboratórios e desenvolvimento de projetos de pesquisa. A união desses dois elementos catapultou Oliveira para mais uma grande empreitada de trabalho. O Projeto Genoma da FAPESP (PGF) foi iniciado em 1997, sete anos após o lançamento oficial do Projeto Genoma Humano (PGH) dos Estados Unidos. O objetivo do projeto era o sequenciamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, que afetava, naquele contexto, a produção agrícola brasileira, causando uma doença chamado clorose variegada dos citros (CVC), conhecida popularmente como “amarelinho”. De acordo com Osada e Costa (2006), o projeto da agência paulista tinha como meta, de acordo com o diretor científico da FAPESP à época, Fernando Perez, fomentar melhorias sociais, econômicas e desenvolver o campo da biologia molecular no Brasil. As autoras ressaltam também a dedicação sobretudo das pesquisadoras mulheres do grupo, que chegaram a ganhar o Prêmio Claudia de Ciência.

A escolha da bactéria em questão, para além de questões de ordem econômica, se dava pela dificuldade de cultivá-la em laboratório pelos métodos clássicos de microbiologia. Nesse sentido, a própria natureza da bactéria foi determinante para a sua escolha como objeto ‘símbolo’ do empreendimento científico paulista. A partir da abordagem molecular, com o material genético da bactéria em mãos, seria possível compreender os processos fisiológicos de forma, teoricamente, mais efetiva do que as abordagens tradicionais. Em julho de 2000, artigo assinado por 119 cientistas de instituições paulistas, dentre os quais estava Regina Lucia Batista da Costa de Oliveira, foi capa da revista *Nature* com o título *The genome sequence of the plant pathogen Xylella fastidiosa*. Carlos Menck foi também um dos pesquisadores que assinou o artigo (SETUBAL et al, 2000). Concluído com sucesso, o Projeto Genoma da Fapesp deixou como saldo uma importante infraestrutura científica para o Brasil. No contexto inicial, ainda em 1997, Regina Oliveira foi pressionada pelo diretor de

¹⁷³ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

pesquisa de seu novo trabalho a encarar o desafio do grande projeto:

Falei “Não vou entrar, mas nem ferrando. Você está maluco? Eu, trabalhar com bactéria de planta? Deus me livre. Eu trabalho com reparo de DNA, com enzimologia de reparo. Imagina, vou mudar agora aos quarenta e cinco anos minha linha de trabalho. Ele falou “Regina, você vai entrar. É uma dinheirama. E eu conheço gente do comitê assessor que olhou o teu currículo e falou que você tem experiência em sequenciamento de DNA, sequenciamento de...” Ninguém em São Paulo tinha esse tipo de experiência etc. E assim, existia uma decisão política na época também. Decisão política é que a fundação de amparo, a FAPESP, ela ia estimular, não só as universidades públicas, as três grandes públicas, USP, UNESP e UNICAMP, como também ia apoiar universidades privadas que quisessem... emergentes em português claro. Seriam UNAERP, em Ribeirão Preto, a UNIVAP, no Vale do Paraíba, enfim, algumas que tinham interesse em fazer isso. Bom, a gente submeteu e entrou. Entrou, ganhamos dinheirama mesmo, montamos um laboratório muito, muito, muito bom. Muito bom. Foram uns dez anos de trabalho extremamente estimulante¹⁷⁴.

Depois desse processo, Regina Oliveira passou a se dedicar à genômica e microbioma, deixando de lado os estudos em reparo de DNA. De acordo com a cientista, seu trabalho nunca foi especificamente ligado apenas à rádio e fotobiologia. Em seu período na França, trabalhava sobretudo com mecanismos de indução de mutação em bactérias e leveduras, usando não apenas radiação mas frequentemente mutagênicos químicos. Nesse sentido, a radiação foi apenas um dos marcadores do seu trabalho. Desde o seu mestrado, entretanto, um objeto contínuo foi o estudo de microrganismos. Foi através dos seus experimentos com microrganismos em laboratório, que Oliveira estruturou todas as suas experiências de trabalho. Juntaram-se a isso a expertise em bioquímica, estudo de proteínas e enzimologia:

Todo o instrumental que eu obtive foi...na França...purificando enzima, purificando proteína, fazendo análise de substrato, reação enzima-substrato, análise de catálise. Então uma série de coisas que eu aprendi lá. Então, durante esses anos de mestrado e doutorado eu tive uma base sólida para entender o que que é DNA, o que que é mutação, como é que eu mapeio mutação, como é que eu sequencio o DNA para poder verificar uma mutação¹⁷⁵.

Apesar de o trabalho de Regina Oliveira não ter sido apenas sobre radiação, tendo se ampliado para uma série de linhas de investigação ao longo dos anos, sua carreira foi profundamente atravessada pelos desdobramentos das políticas de energia nuclear e incentivo à radiobiologia no Brasil e também no mundo. No período em que a entrevista foi realizada, num momento dramático da pandemia de covid-19, em maio de 2021, Regina finalizou seu

¹⁷⁴ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

¹⁷⁵ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

depoimento comentando sobre as dificuldades de se fazer pesquisa no Brasil, num contexto não só de isolamento social, mas de pouco incentivo financeiro e pouco interesse no trabalho de universidades menores como a que ela trabalha, em Mogi das Cruzes (UMC). “Bons tempos aqueles da radiobiologia. Tinha financiamento, tinha interesse externo, tinha gente de fora inteligente que estava de ponta, entendeu? E aí tinha uma luz no fim do túnel. Hoje é meio triste, mas tudo bem. Eu gosto do que eu faço¹⁷⁶”.

A dramaticidade e as contingências de ordem pessoal, ou mesmo do acaso ligado a cada contexto específico que envolveu as etapas da vida de Regina Oliveira, fazem parte de uma análise que escolheu utilizar fontes orais, para além dos artigos científicos e relatórios de atividades. Através de depoimentos como esses aqui apresentados, é possível perceber certos aspectos individuais do cenário maior marcado por programas de energia nuclear, transformações na pesquisa biológica e institucionalização das ciências no Brasil. No caso específico de Regina Oliveira, entretanto, a riqueza de detalhes do depoimento sobre sua trajetória de pesquisa permite refletir sobre as relações entre gênero e ciência, além de temas como a autonomia dos cientistas que trabalhavam com radiação, e as diferentes estratégias de financiamento encabeçadas por grupos de pesquisa.

O trabalho de Neide Osada e Conceição Costa sobre gênero e biologia molecular no Projeto Genoma da FAPESP demonstrou, por exemplo, que as mulheres ganharam espaço na ciência devido a esforços pessoais, apesar de estruturas e contextos desfavoráveis, como instituições de fomento à pesquisa, lideradas quase sempre por homens “e que acabam criando ambientes poucos adequados às mulheres” (OSADA e COSTA, 2006, p. 296). Isso fica evidente na trajetória de Regina Oliveira, desde o momento em que ela é desestimulada dentro da indústria farmacêutica, onde negam a possibilidade de mulheres trabalharem com P&D, até a difícil e estressante conciliação entre o cuidado de três filhos pequenos, num país desconhecido, e o suprimento das exigências de um supervisor pouco compreensível.

Numa outra esfera, os detalhes das trajetórias apresentadas ilustram bem o que podemos compreender como a ‘plasticidade’ da radiação, ou dos radioisótopos como objetos tecnológicos, nas transformações da pesquisa biológica brasileira. Ou seja, existia um norte no debate público, que era a energia nuclear, e os esforços para suprir demandas relacionadas a esse tema, seja sobre o controle de armamentos bélicos, ou do conhecimento sobre os átomos. No caso dos EUA, as tecnologias financiadas por militares, como a construção, por exemplo, de um sistema de rastreamento acústico pela marinha para detecção de submarinos

¹⁷⁶ OLIVEIRA, entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

inimigos, poderiam ser apropriadas para outros usos, como, nesse caso, um termômetro para medir a temperatura dos oceanos (KRIGE, 2014, p. 432). Os próprios radioisótopos emergiram em larga escala como subprodutos do Projeto Manhattan, da construção das bombas atômicas no período de guerra. Ou seja, o exame da atuação de cientistas relacionados à tradição de pesquisa radiobiológica permite perceber como o contexto e o incentivo político no estudo e desenvolvimento de tecnologias nucleares ou médicas e utilitaristas, propiciou, talvez como efeito colateral, ou como parte integrante desse mesmo processo, o surgimento de agendas de pesquisa a partir dessas fontes, mas que não se limitaram aos objetivos imediatos dos militares ou políticas desenvolvimentistas. Elas ganharam dinamismo próprio decorrente das próprias frentes de pesquisa abertas pelos radioisótopos e das interações e reconfigurações que eles geraram, entre trajetórias, programas de investigação, iniciativas de intercâmbio e oportunidades de financiamento.

Este capítulo abordou a história de gerações de pesquisadores ligados ao estudo da radiação nas ciências da vida, suas conexões com os Estados Unidos ou a França, e o estabelecimento de agendas de pesquisa específicas, buscando evidenciar não só as aplicações gerais dos radioisótopos, como também as transformações estruturais ocasionadas por esses elementos, e sua conformação visualizada na formação de cientistas, disciplinas científicas e debates políticos e sociais. Essas agendas de pesquisas tiveram como histórico consolidado o uso dos radioisótopos em diferentes sistemas experimentais, possuindo muitos pontos em comum, como por exemplo, o risco da radiação e da poluição no meio ambiente e suas implicações moleculares.

Ao demarcar os grupos de pesquisadores a serem analisados num amplo recorte temporal atravessado por tantos contextos e eventos distintos, o objetivo foi compreender algumas das características da pesquisa biológica no Brasil do pós-guerra, desde o período mais acirrado de estratégias diplomáticas globais que tentavam manejar o aparato nuclear recém-dominado, até o desenvolvimento de disciplinas e agendas científicas maduras do ponto de vista epistemológico e institucional. Assim, se debruçar sobre as áreas da pesquisa agrônoma, medicina nuclear, rádio e fotobiologia, é buscar entender os diferentes desdobramentos das aplicações de técnicas nucleares e as variadas facetas da institucionalização e conformação da biologia no Brasil. Esse processo, como pretendo defender, não é resultado apenas da emergência de conceitos e ideias sobre a vida. Trata-se,

na verdade, de uma conjugação de fatores, tais como uma conjuntura geopolítica, interesses nacionais, articulações entre cientistas e, sobretudo, o surgimento de objetos, instrumentos, técnicas e metodologias que permitiram explorar novas dimensões do mundo vivo. Veremos esses aspectos, a partir de agora, de forma mais aprofundada, através da análise da trajetória científica de Eduardo Penna Franca e da formação da ecologia de ecossistemas no Brasil.

3 - Os radioisótopos na trajetória científica de Eduardo Penna Franca e os estudos de radioatividade natural

Este capítulo propõe lançar um olhar detalhado sobre a trajetória científica do químico e radioecólogo Eduardo Penna Franca (1927-2007). Ao longo desta análise, explorarei as nuances de sua atuação, mergulhando nas interseções entre sua formação, experiências internacionais e contribuições para a ciência no contexto pós-guerra. A denominação 'radioecólogo' atribuída a Penna Franca nesta tese destaca como ele extrapolou as fronteiras convencionais da química, revelando-se um cientista multifacetado que transcendeu disciplinas estanques. A escolha deste termo não é apenas uma questão semântica; é uma tentativa de encapsular a profunda ligação entre a trajetória de Penna Franca e o emergente campo dos radioisótopos nas ciências do Pós-guerra.

O advento desses elementos radioativos após a Segunda Guerra Mundial não apenas redefiniu agendas científicas, mas também moldou a direção e o escopo de trajetórias como a de Penna Franca e alguns de seus alunos. Este capítulo visa demonstrar como a presença marcante dos radioisótopos na ciência do pós-guerra serviu como um catalisador para a diversificação das áreas de atuação de Penna Franca. A partir disso, a atuação de Penna Franca contribuiu de forma decisiva para o desenvolvimento da ecologia de ecossistemas no Brasil. Suas incursões em diferentes ramos do conhecimento científico não apenas estruturaram a identidade do Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica, como também contribuíram para a compreensão das complexas interações entre elementos radioativos e os ecossistemas brasileiros.

Este capítulo serve também como um ponto de partida para a análise do capítulo seguinte, no qual abordarei o desenvolvimento de uma 'escola de radioecólogos' a partir do pioneirismo científico de Eduardo Penna Franca. Esta explanação pretende, assim, contextualizar a contribuição de Penna Franca na formação de uma rede de cientistas formados a partir do estudo com radioisótopos no meio ambiente.

3.1 Da química ao ambiente: a trajetória profissional de Eduardo Penna Franca

3.1.1 A formação inicial de Eduardo Penna Franca

O principal documento para escrita deste capítulo é o 'Memorial' de Eduardo Penna Franca, apresentado em 1992 à Universidade Federal do Rio de Janeiro, para o concurso de Professor Titular no Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF), no Setor de Radiobiologia. Cruzarei esse documento, que aborda em detalhes a trajetória profissional do

cientista, com trabalhos publicados pelo mesmo entre as décadas de 1950 e 1990. O Memorial de Penna Franca é dividido em quatro partes. Na primeira, o cientista aborda sua ‘Formação Profissional’, datada de 1943 a 1955. A segunda parte, chamada de ‘Formação Científica’, envolve os curtos anos de 1956 a 1962. A terceira parte é intitulada de ‘Buscando seus próprios caminhos’, e compreende os anos de 1963 a 1980 e, por fim, ‘Fechando o círculo’, é a quarta parte, de 1981 a 1992. O documento digitalizado possui algumas anotações à lápis do próprio Penna Franca e foi me enviado pelo cientista Jean Remy Davée Guimarães, um dos pesquisadores que trabalhou com Penna Franca e que foi entrevistado nesta tese.

Em 1943, Eduardo Penna Franca optou por cursar química na Escola Nacional de Química da Universidade do Brasil, à época instituição de prestígio, com a fama de catapultar seus alunos para empregos antes mesmo de se formarem. Alguns professores, de acordo com Penna Franca, acabaram posteriormente ocupando cargos importantes na Universidade Federal do Rio de Janeiro, como Raymundo Moniz de Aragão, Athos da Silveira Ramos, Jorge de Abreu Coutinho e Horácio Macedo (PENNA FRANCA, 1992). Penna Franca relata também o cotidiano na Escola, de “grande companheirismo” e aprendizado prático, “em grande parte nos laboratórios”. O contato com os professores catedráticos, no entanto, era dificultado, de acordo com o cientista, devido ao “parco” salário recebido pelos professores, o que os obrigava a terem múltiplas atividades e empregos em outras instituições. Embora Penna Franca tenha sido desencorajado a trabalhar com pesquisa científica, como relata, dentro da própria Escola de Química, próximo de se formar o jovem químico procurou seu tio, Nicanor Botafogo Gonçalves, chefe do Laboratório de Química Orgânica do Instituto Oswaldo Cruz (IOC), visando um estágio. Formado como Químico Industrial em 1949, foi finalmente admitido como estagiário no IOC, já em 1º de março de 1950. Sua tarefa na nova instituição se resumia a purificar fármacos de acordo com os graus exigidos pela farmacopeia brasileira, processo que, embora mecânico, proporcionou-lhe grande experiência em operações químicas e análises de controle de qualidade de fármacos (PENNA FRANCA, 1992, p. 4). Em maio do mesmo ano, o pai de Penna Franca faleceu, levando-o a dividir seu tempo entre aulas particulares de física e o estágio no IOC, para sustentar sua mãe e dois irmãos. Um ano depois, em junho de 1951, Penna Franca foi designado para exercer a função de Assistente de Eletrônica e Eletromicroscopia no curso de biologia, sendo transferido para o recém-criado Laboratório de Microscopia Eletrônica. Desse modo, Penna Franca passou a trabalhar com um dos únicos microscópios eletrônicos existentes no Rio de Janeiro à época, um aparelho RCA, modelo EMC-2 de 30 Kv.

Foi na gestão de Olympio da Fonseca Filho, entre 1949 e 1953, que o IOC buscou

providenciar o primeiro microscópio eletrônico, preparando também um grupo de técnicos. Com a ajuda de José Carneiro Felipe (1886-1951), especialista em físico-química, o IOC passou a estudar qual seria o tipo de microscópio eletrônico mais indicado para o uso nos laboratórios do Instituto. Adquiriram, então, por quase 500 mil cruzeiros antigos, um RCA Victor, quando a marca norte-americana fez uma exposição no Rio de Janeiro, e, com isso, tiveram que incorporar um especialista em eletrônica e em alto vácuo, o engenheiro-físico Hans Muth, aos quadros técnicos do IOC. A compra, entretanto, dependeu da autorização do governo norte-americano, que exigia garantias quanto à existência de pessoal capacitado para o seu manuseio. As tensões não cessaram mesmo quando o microscópio eletrônico já estava instalado, pois, segundo relatos de Olympio da Fonseca, houve cientistas contrários à compra do instrumento, pelo seu alto preço e ‘falta de utilidade’. O microscópio eletrônico adquirido pelo IOC não era o primeiro a chegar ao Brasil, pois a Polícia do antigo ‘Distrito Federal’, a Clínica Ginecológica da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro e o próprio Instituto de Biofísica já possuíam esse mesmo instrumento. O uso efetivo desses primeiros microscópios, entretanto, não foi considerado tão extenso. Já no IOC, quando finalmente o microscópio eletrônico começou a ser de fato utilizado, nos primeiros anos da década de 1950, alguns trabalhos antes impossibilitados foram desenvolvidos, como os de Souza-Araújo com o bacilo da lepra, os de Lejeune de Oliveira e Pedro Fontana com várias espécies de diatomáceas ou então os de Milton Thiago de Mello e Niber da Paz, com colaboração de Hans Muth, sobre os aspectos estruturais do *Proteus vulgaris* (LARA, 2020). Além desses trabalhos, e de outros sobre asas de borboletas e ‘negro de fumo’, de acordo com Penna Franca, “muito pouco foi realizado na área de ciências biológicas” (PENNA FRANCA, 1992, p. 6).

Segundo Penna Franca, Hans Muth não possuía muita experiência na utilização da microscopia eletrônica em pesquisas biomédicas, além de ser muito ciumento com o “seu microscópio”, embora fosse um profissional competente. Nesse sentido, Penna Franca e Clotilde Paci ficavam responsáveis por funções secundárias específicas, como o preparo de filmes suportes de espécimes e tratamentos químicos de amostras *shadow casting*, processo chamado de metalização (PENNA FRANCA, 1992, p. 5). A partir desses trabalhos, os dois publicaram em 1952 um artigo no periódico *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, sendo o primeiro trabalho publicado de Penna Franca. Penna Franca e Paci detalham o preparo de filmes, especificando os diferentes tipos existentes, como os filmes de plásticos orgânicos (nitroceluloses), os de óxidos e os metálicos, mencionam as qualidades que cada membrana deveria possuir, e afirmam que nenhuma delas daria conta integralmente de todos os

requisitos ideais para o trabalho, tais como a espessura, a resistência e o baixo peso molecular. Os jovens cientistas também apresentam técnicas de preparação utilizadas e testadas por eles, incluindo preparações sem filmes. O artigo, que agradecia a Hans Muth, também possuía fotografias, realizadas com chapas já usadas, o que era ressaltado como algo que prejudicava a visualização dos assuntos observados. Penna Franca e Paci também mencionam que as “grandes dificuldades atuais de importação impediram-nos de receber chapas novas, a tempo de realizarmos este trabalho” (PENNA FRANCA e PACI, 1952, p. 42).

O detalhado trabalho de Penna Franca e Paci, que apresentava, ao fim, fotos produzidas no microscópio eletrônico do IOC de fragmentos de diatomáceas, bactérias, detalhes da cauda de um espermatozoide de sapo, dentre outros recortes de objetos, chama atenção por pelo menos dois motivos. Um deles, é por evidenciar, ainda prematuramente, a relação de Penna Franca com temas inovadores para a ciência brasileira. Sem incorrer em uma narrativa teleológica sobre a sua trajetória, é nítida a relação do cientista com a emergência de novos instrumentos e técnicas científicas na década de 1950, não só nesse caso, publicando um dos primeiros artigos brasileiros sobre técnicas de microscopia eletrônica, ainda como assistente, mas alguns anos depois, na mesma década, tomando contato com o tema dos radioisótopos. Um outro motivo relacionado a esse é algo mencionado na nota sobre o estado das fotografias, onde os autores apontam as dificuldades de importação dos materiais necessários. Esse aspecto, qual seja, das deficiências de infraestrutura e defasagem de laboratórios, recorrendo a programas de países como os Estados Unidos para a manutenção de novas agendas de pesquisa, foi praticamente estrutural na história dos radioisótopos no Brasil, da qual Penna Franca foi também um dos principais atores.

3.1.2 Estagiando nos Estados Unidos: os primeiros contatos com os radioisótopos

Em 7 de abril de 1952, Penna Franca foi designado auxiliar de pesquisador no IOC, passando finalmente a ser funcionário da instituição. Entretanto, em seu memorial, o cientista relata que não estava satisfeito com a natureza de seu trabalho. Nessa época, porém, o diretor do IOC, Olímpio da Fonseca, sinalizou que pretendia enviar três técnicos do IOC para um estágio de dois anos nos Estados Unidos, com o objetivo de se especializarem no tema das aplicações de radioisótopos na pesquisa biológica. Os selecionados haviam sido Firmino Torres de Castro, Pedro Fontana Júnior e Penna Franca. Penna Franca relata ter aceitado a proposta de estágio apenas após ter pesquisado sobre o tema, e verificado o grande incentivo

que o programa Átomos para a Paz, dos EUA, estava dando para o emprego de radioisótopos em diversas áreas do conhecimento, e que esses instrumentos de pesquisa estavam começando a adentrar o “terceiro mundo”, com doações ou vendas autorizadas pelos estadunidenses:

Com essas informações, aceitei entusiasmado a oferta do Professor Olímpio da Fonseca e, em 15 de fevereiro de 1953 eu embarcava para New York, com bolsa do CNPq (na época, Conselho Nacional de Pesquisa), acompanhado por minha esposa e uma filha de seis meses (PENNA FRANCA, 1992, p. 7).

Penna Franca também relata o seu impacto ao chegar em Nova York, durante o inverno, e sobre como se sentiu pequeno e desamparado. A primeira etapa de seu estágio seria na Columbia University, na qual conseguiu uma acomodação e, além disso, apresentou-se ao seu orientador, David Rittenberg (1906-1970), no Departamento de Bioquímica. De acordo com Penna Franca, Rittenberg era conhecido à época como ‘Mr. Isotope’, devido à importância que dava aos radioisótopos em suas pesquisas. De fato, Rittenberg foi um dos principais nomes no desenvolvimento da técnica de traçadores isotópicos para estudar reações bioquímicas no metabolismo. Ainda em 1935, publicou na revista *Science*, junto do também bioquímico alemão Rudolph Schoenheimer (1898-1941), um artigo histórico no qual descrevem seus experimentos pioneiros com deutério no rastreio de vários compostos no corpo animal (SCHOENHEIMER e RITTENBERG, 1935, p. 157).

Baseado no objetivo principal da missão de Penna Franca nos EUA, que era preparar técnicos para a criação de um novo laboratório no IOC visando a utilização dos radioisótopos em pesquisas biomédicas, Rittenberg dividiu o estágio de Penna Franca em três etapas. A primeira envolvia frequentar aulas na universidade, nos cursos de Bioquímica, Técnicas Isotópicas em Bioquímica, Radioquímica e Química Orgânica Avançada. As outras etapas envolviam a experiência prática no trabalho com os radioisótopos, como radioproteção, métodos radioquímicos e radiométricos, e metodologias específicas de aplicação dos radioisótopos na pesquisa biológica:

Era um tipo de treinamento que exigia estágios em várias áreas por períodos curtos, sem muita chance de completar linhas de pesquisa, mas que me parecia o mais eficaz para os meus objetivos. Foram escolhidos para esta etapa o Brookhaven National Laboratory, em Long Island, New York, e a Western Reserve University, em Cleveland, Ohio (PENNA FRANCA, 1992, p. 8).

Nesse processo formativo, Penna Franca relata ter se sentido “completamente perdido e sob a maior tensão”. Teve dificuldades nas aulas, na falta de diálogo com os professores e outros alunos, nos métodos de ensino empregados, no idioma, na adaptação em geral. “Nunca

estudei tanto na minha vida, mas com o correr dos dias, descobri novas energias e sobretudo o brio de, como estrangeiro e sul-americano, não me deixar abater e competir com os demais colegas com todo o meu empenho” (PENNA FRANCA, 1992, p. 9). Essa tensão, entretanto, parece ter catapultado Penna Franca para um ritmo intenso de aprendizado e pesquisa que o levou, inclusive, anos depois, a manter certa rigidez com os seus próprios alunos.

Já em Brookhaven, Penna Franca relata a excelência das instalações técnico-científicas daquele laboratório, compreendendo reatores nucleares de diferentes portes, aceleradores de partículas, laboratórios de química, física, energia nuclear, biologia e medicina. Menciona também, em seu memorial, que muitas das instalações eram restritas, proibindo a entrada de estrangeiros:

Na realidade, para poder trabalhar em Brookhaven, tive que passar por um longo processo de *clearing*, preenchendo inúmeros questionários e realizando entrevistas. Como eu morava dentro da área da instituição, não podia receber visitas. Estávamos no auge do macartismo nos Estados Unidos (PENNA FRANCA, 1992, p. 10).

Esse processo de *clearing*, pelo qual passou Penna Franca, foi também relatado em entrevistas para esta tese por outros cientistas brasileiros que eventualmente fizeram pesquisa em instalações nucleares de outros países. Entretanto, como o próprio Penna Franca ressalta, os Estados Unidos estavam no auge de seu “anticomunismo”. De acordo com Badash (2000), nesse período, carreiras foram arruinadas, passaportes e vistos negados, juramentos de lealdade feitos, investigações de segurança e cientistas exilados. Dentro dos laboratórios nacionais, por exemplo, como era o caso do Brookhaven, a comunicação foi prejudicada por políticas tais como as de *clearing* e pela classificação de segurança excessivamente ‘zelosa’ de relatórios, o que levou a certas ineficiências como a duplicação de informações. Além disso, as políticas anticomunistas ou macartistas¹⁷⁷ dos estadunidenses acabaram inclusive por enfraquecer ou prejudicar o senso de internacionalismo dos cientistas, algo valorizado pela maioria deles.

No laboratório de Brookhaven, Penna Franca teve como orientador o químico Richard W. Dodson (1915-2008), outro nome de relevo na história dos radioisótopos e das ciências nos Estados Unidos. Além de se envolver, durante sua formação, com ficção científica e com pesquisas sobre guerra química, Dodson teve uma intensa carreira científica, fundando o

¹⁷⁷ O termo, em inglês McCarthyism, faz alusão ao senador por Wisconsin, nos Estados Unidos, Joseph McCarthy (1947-1957), que promoveu um amplo discurso anticomunista, afirmando a existência de membros do Partido Comunista e de espionagem soviética no Departamento de Estado dos EUA. O período conhecido posteriormente como macartismo foi marcado por uma grande repressão política aos comunistas e uma campanha de medo de que o artigo de Badash (2000) busca avaliar os impactos na ciência norte-americana.

Departamento de Química de Brookhaven e ocupando cargos de liderança na USAEC e na AIEA. Dodson realizou trabalhos em radioquímica e físico-química sobre a cinética de reações de transferência de elétrons e equilíbrio de íons complexos. A partir do longo e extenso treinamento que preparou para Penna Franca, o qual abrangeu proteção radiológica, medidas de radiação e procedimentos de radioquímica, eles publicaram juntos estudo sobre o efeito dos íons cianeto na velocidade de troca da reação dos íons tálico e taloso no *Journal of the American Chemical Society* (PENNA FRANCA e DODSON, 1955). De acordo com Penna Franca (1992), o programa de treinamento em radioquímica estabelecido por Dodson, com duração de um ano, que teve também a participação do professor Gunther Wolf, foi fundamental para a montagem de seu laboratório de radioisótopos, quando do seu retorno ao Brasil. Com Gunther Wolf, Penna Franca estudou a identificação de substâncias orgânicas marcadas com carbono 14. O projeto de pesquisa, entretanto, era muito complexo para o tempo reduzido que o jovem cientista brasileiro tinha de estadia em Brookhaven.

Pouco tempo depois, já em Cleveland, Ohio, Penna Franca trabalhou na Western Reserve University, com o bioquímico Harland Goff Wood (1907-1991) que, em 1935, demonstrou que não só as plantas e algas, mas também organismos como humanos, animais, protozoários, fungos e bactérias, são capazes de fixar dióxido de carbono. Wood integrou Penna Franca em um de seus grupos de pesquisa, desenvolvendo trabalho em que utilizava intermediários de sínteses orgânicas marcadas com carbono 14 como traçador, com o objetivo de compreender alguns mecanismos de reações bioquímicas. O método de medida radioativa que era utilizada no laboratório foi, posteriormente, utilizado por Penna Franca no Brasil. Após o término de sua estadia na Western Reserve University, ele retornou ao IOC, mas se deparou com uma série de mudanças ocorridas na instituição em função da direção de Francisco Laranja da Silva, que seguiu uma política contrária à de seu antecessor, Olympio da Fonseca Filho (1949-1953), com recursos limitados para pesquisa e sem espaço para aqueles pesquisadores que haviam estagiado no exterior. A diretoria não sabia o que fazer com os recém-chegados de seus estágios:

Não se cogitava criar novos laboratórios. No meu caso, deram-me uma mesa e uma cadeira numa sala isolada e solicitaram-me que escrevesse o relatório da viagem. Foram muitos meses de desapontamento e tédio, e sem saída, pois não tinha condição de perder o emprego (PENNA FRANCA, 1992, p. 12).

O fato de Penna Franca ter estagiado com os maiores nomes da bioquímica estadunidense da época, além de ser um dos poucos jovens cientistas brasileiros a ter tido a oportunidade de aprender e treinar com métodos e instrumentos nucleares inovadores para

aquele contexto, não contribuíram para que ele se reinserisse no IOC.

3.1.3 O retorno de Eduardo Penna Franca ao Brasil

Segundo Penna Franca, Carlos Chagas Filho (1910-2000), diretor do Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil, que havia participado como conselheiro do CNPq da decisão de conceder-lhe a bolsa de estudos para os EUA, ficou observando o destino que ele teria no IOC após o seu retorno. Percebendo a dificuldade na sua reinserção e interessado em jovens cientistas treinados nas novas técnicas radioativas, Chagas Filho convidou Penna Franca para trabalhar no Instituto de Biofísica. Embora a proposta não apresentasse nenhuma garantia empregatícia, sendo um contrato na modalidade de serviços prestados, Penna Franca aceitou a sua demissão do IOC, para a imediata admissão no Instituto de Biofísica, ingressando na nova instituição a partir de 1º de janeiro de 1956 (PENNA FRANCA, 1992, p. 13).

De acordo com o relato de Penna Franca, já no dia seguinte, em 2 de janeiro de 1956, o cientista se dirigiu ao Instituto de Biofísica que, à época, ficava localizado no prédio da Faculdade de Medicina da Universidade do Brasil¹⁷⁸, na Praia Vermelha, Rio de Janeiro. Penna Franca menciona uma ótima entrevista com Chagas Filho, com vários pontos em comum e um programa de trabalho a ser definido em conjunto. O principal motivo de Penna Franca ter sido chamado para trabalhar no Instituto de Biofísica era a prioridade máxima estabelecida por Chagas Filho: a implantação de um laboratório, a curto prazo, para a aplicação de radioisótopos em pesquisas biomédicas. Como já explicado em alguns momentos desta tese, os radioisótopos estavam começando a ser largamente utilizados como traçadores radioativos. Os traçadores radioativos são formados por moléculas marcadas com radioisótopos artificiais, produzidos em grande escala após a construção das bombas atômicas, por bombardeamento com nêutrons em reatores nucleares. Num dado organismo vivo, ou então num sistema biológico, os traçadores, quando introduzidos, podem ser acompanhados, devido a sua radioatividade. Assim, seu trânsito integral, bem como mudanças de compartimentos, acúmulos, eliminação e alterações químicas podem ser rastreadas pela detecção da radiação emitida pelo traçador, sendo essa detecção externa ao organismo ou através de amostras coletadas (PENNA FRANCA, 1992).

¹⁷⁸ Posteriormente, o IBCCF (Instituto de Biofísica) migraria do campus da Praia Vermelha para o campus da Cidade Universitária, na Ilha do Fundão.

De acordo com Penna Franca, “a disponibilidade desses traçadores abriu novas perspectivas para a indústria, a medicina e a pesquisa científica em geral, possibilitando investigar com muito mais facilidade processos dinâmicos” (PENNA FRANCA, 1992, p. 18). Após a Segunda Guerra Mundial, as indústrias químicas e farmacêuticas passaram a investir na produção em larga escala de compostos marcados com radioisótopos. Os EUA, através de seu programa Átomos para a Paz, acabou por mediar uma série de trocas e exportações desses produtos, sobretudo para países da América do Sul (CREAGER, 2013; MATEOS e SUÁREZ-DÍAZ, 2016).

Outra prioridade do Instituto de Biofísica, atribuída à Penna Franca, foi a formação de pessoal especializado nas aplicações dos radioisótopos na pesquisa científica em geral e na medicina nuclear, que aos poucos começava a se organizar no Brasil, em parte pela atuação de Tede e Verônica Rapp de Eston em São Paulo. Desse modo, cursos intensivos e “essencialmente práticos” começaram a ser organizados em caráter de urgência. De fato, a segunda metade da década de 1950, como já demonstrei nesta tese, foi marcada pela proliferação de cursos de metodologia de aplicação de radioisótopos, tanto no Instituto de Biofísica, no Rio de Janeiro, quanto no que viria a se tornar o Centro de Medicina Nuclear (CMN) e no Instituto de Energia Atômica, em São Paulo, ou também em espaços como o Centro de Medicina Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP).

Em relação à infraestrutura disponível no Instituto de Biofísica quando do seu ingresso, Penna Franca relata ter achado as instalações e laboratórios modestos porém bem equipados. O cientista teve como assistente Keika Nishie, bióloga formada na USP, e uma sala quase vazia que, no contexto de sua chegada ao Instituto de Biofísica só possuía um aparelho detector Geiger-Müller, acoplado a um *scaler* binário, para contagem de radiação, que havia sido fabricado por Marcello Damy de Sousa Santos, no Instituto de Física da USP. Em seu primeiro dia de trabalho, Penna Franca planejou como seriam as novas instalações de seu laboratório e produziu uma lista de materiais a serem adquiridos. Houve uma preocupação com a radioproteção do espaço, dado que seria um laboratório no qual substâncias radioativas circulariam com frequência. Com o apoio direto da direção do Instituto, os materiais foram comprados, tais como reagentes, um novo contador de radiação, da marca Phillips, e detectores Geiger-Müller apropriados para a medição de carbono 14. Em abril de 1956, o primeiro estagiário do laboratório foi recebido, Elói Julius Garcia, um bolsista CAPES auxiliar de pesquisa da Faculdade de Farmácia de Porto Alegre, que inicialmente permaneceria apenas por seis meses, mas estendeu sua estadia para dois anos (PENNA FRANCA, 1992).

3.1.4 Eduardo Penna Franca e seus primeiros trabalhos no Instituto de Biofísica

O primeiro grande trabalho colaborativo que foi exigido do Laboratório de Radioisótopos comandado por Eduardo Penna Franca foi para o projeto eleito por Chagas Filho como o estandarte do Instituto de Biofísica: os mecanismos de curarização (relaxamento muscular) do *Electrophorus electricus*, o peixe elétrico, popularmente conhecido como ‘poraquê’, da Ilha de Marajó e do rio Amazonas. De acordo com Penna Franca (1992), o peixe elétrico do Amazonas havia sido escolhido por Chagas Filho já no início do que viria a ser o Instituto de Biofísica, em 1938, como o “modelo biológico experimental institucional, por oferecer múltiplas abordagens disciplinares em torno de sua bioeletrogênese” (PENNA FRANCA, 1992, p. 20). Chagas Filho considerava importante escolher um objeto de estudo que sintetizasse os anseios do Instituto, além de possibilitar a exploração de uma série de aspectos biofísicos distintos. De acordo com Esquibel (2010), embora já conhecido e utilizado popularmente, sendo o seu choque empregado para curar reumatismo, dor de cabeça e até impotência sexual, o primeiro dado bibliográfico nacional referente ao peixe elétrico data de 1939, quando Chagas Filho publicou o *Studies on the Properties of the Electric Eel*, num livro de homenagem aos fisiologistas irmãos Álvaro e Miguel Ozório de Almeida (ESQUIBEL, 2010, p. 18).

O poraquê ainda era um animal muito pouco conhecido do ponto de vista científico. Seus órgãos elétricos ocupam o lugar de músculos longitudinais que, em espécies não-elétricas, são utilizados para se locomover. Esses órgãos que contém eletricidade se encontram ao longo da espinha dorsal do peixe, abaixo de uma linha lateral na qual se localizam os órgãos sensoriais. Há também tecido elétrico ao longo das nadadeiras do peixe. De acordo com Esquibel (2010), o grande projeto de Chagas Filho era identificar neurotransmissores. Ainda em 1951, Chagas Filho, juntamente com a cientista francesa Denise Albe-Fessard, havia publicado no *Comptes Rendu de la Societè de Biologie* sobre a ação curarizante na atividade elétrica do poraquê, se aproximando da ideia de que o tecido elétrico e o tecido muscular estão fisiologicamente associados (ALBE-FESSARD e CHAGAS FILHO, 1951). Anos depois, em 1955, artigo de Altamirano, Coates, Grundfest e Nachmansohn publicado na *Biochimica et Biophysica Acta* confirmava os resultados de Chagas Filho e Albe-Fessard (ALTAMIRANO et al, 1955). Entre o final da década de 1940 e a década de 1950, Chagas Filho e outros cientistas do Instituto como Martins-Ferreira e Antonio Couceiro também estudaram sobre a existência de um sistema excitável do tecido

elétrico do peixe, sobre a presença de um transmissor no órgão elétrico, funcionando através de estímulos, sobre diversos aspectos histológicos do poraquê, dentre outros temas (ESQUIBEL, 2010, p. 18). Segundo Penna Franca (1992), o estudo do *Electrophorus electricus* “era fator essencial na preservação da unidade”, da própria identidade do Instituto, sendo praticamente obrigatório que qualquer pesquisador ou estagiário, durante os primeiros quinze anos do Instituto de Biofísica, trabalhasse ao menos algum tempo com o poraquê, mesmo que seu interesse de pesquisa fosse outro.

Assim, dentro do grande projeto de pesquisa de Chagas Filho, foi solicitado a Penna Franca e seu laboratório a colaboração para determinar o sítio de fixação dos curares no órgão elétrico do peixe. Um curare sintético marcado com carbono 14 foi obtido diretamente do Instituto Pasteur da França. Chamado de tri-iodo etilato de galamina (Flaxedil ou Trieg), seria injetado no *Electrophorus electricus*. Segue o relato do procedimento feito com o poraquê:

Após algumas horas o animal seria sacrificado e perfundido para eliminar o curare não fixado. O órgão elétrico era então triturado e extraído com água ou salina que passaria por fracionamentos em vários processos. A concentração do curare em cada fração seria então determinada por medidas de radioatividade do traçador (PENNA FRANCA, 1992, p. 20).

Enquanto a equipe ligada mais diretamente a Chagas separaria as frações dos extratos retirados do peixe, o Laboratório de Radioisótopos operaria as medições radioativas dos extratos. De acordo com Penna Franca, esse projeto durou três anos e, ao final, concluiu-se que o receptor envolvido na fixação do curare estava contido em proteínas do órgão elétrico do peixe. Essas proteínas seriam solúveis em água. O órgão elétrico poderia ser um receptor presente na chamada transmissão colinérgica¹⁷⁹. Anos depois, já sem a colaboração do Laboratório de Radioisótopos, devido a outros desdobramentos da pesquisa, a equipe de Chagas Filho concluiu que a fixação do curare ocorria na chamada eletro placa do poraquê (PENNA FRANCA, 1992).

Vários artigos foram publicados, praticamente durante toda a década de 1950, sobre as pesquisas que estavam sendo realizadas. Penna Franca cita suas principais publicações como sendo as dos periódicos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *Comptes Rendu de l'Académie des Sciences de Paris* e *Archives of Biochemistry and Biophysics* (CHAGAS FILHO et al, 1955, 1958). Embora o foco desses anos de estudo, para Penna Franca, tenha sido a fixação do curare radioativo, houve espaço para a exploração de outros temas a partir do arcabouço dos radioisótopos. Em 1958, por exemplo, Penna Franca publicou juntamente

¹⁷⁹ Agentes colinérgicos são compostos que ‘imitam’ a ação da acetilcolina ou da butirilcolina. O sistema nervoso colinérgico, por exemplo, depende da liberação de acetilcolina para funcionar.

com Chagas nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, estudo expondo resultados de análises preliminares feitas para investigar a radioatividade existente em amostras de castanhas do Pará, além de amêndoas e amendoins (PENNA FRANCA e CHAGAS FILHO, 1958). As conclusões do trabalho demonstraram que a castanha do Pará possuía uma maior capacidade de absorção de rádio e outros elementos radioativos naturais do solo, se comparada a outros vegetais:

Não nos parece necessário admitir que o solo onde crescem os castanheiros deva ser particularmente rico em rádio, já que o teor médio universal de rádio é, na camada superficial do solo, de 1000 milicuries por milha quadrada. Bastaria que esta planta possuísse um mecanismo metabólico capaz de concentrar rádio e outros isótopos radioativos para exibir a sua maior radioatividade em comparação com outros alimentos similares (PENNA FRANCA e CHAGAS FILHO, 1958, p. 48).

O tema da análise de radiação em alimentos, surgindo em meio ao desenvolvimento das pesquisas com o *Electrophorus electricus*, prevaleceu e ganhou corpo na trajetória científica de Penna Franca. Voltarei em breve a esse aspecto. Antes disso, entretanto, é importante explorar outro aspecto fundamental na trajetória profissional de Penna Franca, desenvolvido ainda antes do surgimento do primeiro grande projeto de pesquisa de seu laboratório. Refiro-me aqui ao protagonismo que o cientista teve nos cursos de metodologia de radioisótopos. Embora já tenha comentado em vários momentos da tese sobre esses cursos, bem como a sua importância para a circulação de ideias, práticas e linhas de pesquisa com radioisótopos no Brasil, cabe novamente elencar alguns pontos referentes à participação central de Penna Franca nesse processo.

3.1.5 O 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos do Instituto de Biofísica e a formação do Laboratório de Radioisótopos

O 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos foi planejado por Penna Franca e Chagas Filho ainda durante o projeto de pesquisa com o peixe elétrico. O curso visava primeiramente cobrir a inexistência de especialistas sobre o tema no país. Com mediação do CNPq, o Departamento de Estado dos EUA selecionou o professor John A. D. Cooper, da Escola de Medicina de Northwestern, da Universidade de Chicago. Especialista em medicina nuclear, Cooper recebeu uma bolsa do International Education Exchange Service para custear sua estadia de alguns meses no Brasil. Além disso, por intermédio da firma Nuclear Chicago e Tracerlab, Cooper trouxe uma série de aparelhos necessários para o

primeiro curso. Após a realização do curso, o empresário Guilherme Guinle adquiriu os aparelhos e os doou ao Instituto de Biofísica (PENNA FRANCA, 1961, 1992).

Pelo esforço para realização do curso, recebendo inclusive um grande espaço no antigo laboratório de aulas práticas de bioquímica, cedido por Paulo da Silva Lacaz, o Laboratório de Radioisótopos acabou por se tornar o maior da instituição. O primeiro curso foi realizado entre julho e agosto de 1956, com duração de seis semanas e em tempo integral. Em 5 de junho, o jornal *Correio da Manhã* (RJ) já noticiava a espera de Cooper para o início do curso:

Professor americano dará um curso sobre radioisótopos. Está sendo esperado no Rio o prof. Cupper [sic], que vem realizar um curso sobre radioisótopos. O professor Cupper traz o material necessário às demonstrações experimentais, inclusive contadores por cintilação (PROFESSOR..., 1956, p. 15).

No dia seguinte, uma notícia detalhava de forma mais completa o curso, dizendo ser promovido pelo Instituto de Biofísica, com a orientação da Comissão de Energia Atômica¹⁸⁰ do CNPq e da USAEC, e que seria dividido em dois, sendo o primeiro curso num caráter de extensão universitária sobre aspectos gerais da aplicação de radioisótopos à pesquisa biomédica, e um segundo restrito a 20 alunos, com o título de “Métodos Isotópicos Aplicados à Biologia e à Medicina”. A notícia também mencionava o trabalho de John Cooper, e o material fornecido pelas empresas norte-americanas (APLICAÇÃO..., 1956, p. 10). Os exercícios práticos do curso envolveram desde técnicas de manipulação de radioisótopos, passando pela calibração dos equipamentos de medidas e proteção radiológica, além de características dos tipos de radiação e, principalmente, a utilização de traçadores radioativos em pesquisas bioquímicas e médicas (PENNA FRANCA, 1992).

Se cruzarmos as informações dos jornais com aquelas contidas na publicação de Penna Franca de 1961, seu Manual de Biofísica, e o seu memorial de 1992, existem alguns desencontros, como o fato de o curso ser ou não em dimensão latino-americana, como dá a entender Chagas Filho (PENNA FRANCA, 1961), a quantidade de alunos – jornais inicialmente falavam em 20, Penna Franca (1992) menciona 32 -, e o próprio título do curso. O fato é que o curso resultou de uma cooperação internacional com John Cooper, teve apoio de instituições e pessoas brasileiras – como Guilherme Guinle -, e abarcou alunos de outras universidades do país, além de médicos interessados em medicina nuclear e até mesmo alunos de outros países da América do Sul (PENNA FRANCA, 1992, p. 24).

¹⁸⁰ Nessa época ainda não havia sido criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que assim o seria nesse mesmo ano de 1956.

Na edição de 27 de outubro de 1956, reportagem da revista *O Cruzeiro*, escrita por Jorge Lyra e com fotos de Walter Luiz, também mencionava o número de 32 alunos participando do curso, sendo 4 estrangeiros (dois chilenos e dois portugueses). Intitulada “Um passo à frente na medicina”, a reportagem de Lyra e Luiz, publicada apenas alguns meses após a realização do curso, divulgava aquele evento como um importante marco na história da medicina brasileira, ressaltando características positivas do professor Cooper, os esforços dos alunos brasileiros, além dos aparelhos fornecidos pela Nuclear Chicago e a relação desses estudos com a “Era atômica”:

A Era Atômica não se caracteriza somente pela sensação de pânico que as armas atômicas trazem ao conjunto das atividades internacionais de nossos dias. Tem essas mesmas armas o seu contrapeso no imenso progresso que há de trazer ao mundo a utilização pacífica dos resultados da fissão do átomo. Entre estas, as aplicações de isótopos radioativos são as de maior significação. [...] Dá, assim, o Brasil um passo à frente na Medicina moderna, preparando médicos para enfrentar a era atômica (LYRA e LUIZ, 1956, p. 25-26).

As várias fotos registradas pela reportagem durante as aulas práticas do curso serviam também para ilustrar aos leitores o “avanço” da medicina brasileira, representado pelos modernos aparelhos atômicos. No texto, era destacado que “a aparelhagem empregada no Curso de Isótopos é estimada em 17.000 dólares e é única no Brasil. Apenas três laboratórios americanos se encontram nas mesmas condições”. O curso previsto para o ano seguinte, em 1957, já iria contar com professores brasileiros, “o que significa, além do mais, o alto grau de apreendimento [sic] dos nossos médicos” (LYRA e LUIZ, 1956, p. 26).

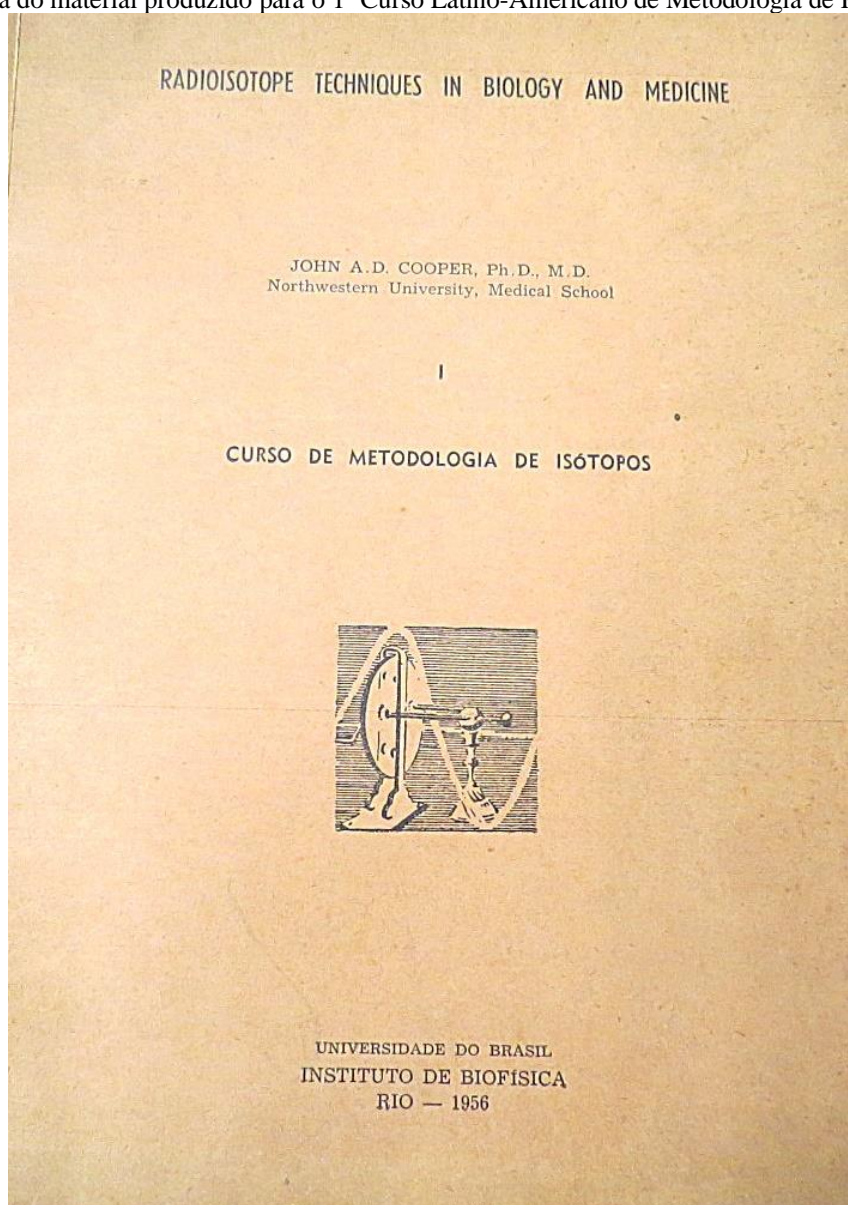
Figura 32: Fotos das aulas práticas do 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos para a reportagem “Um passo à frente na medicina”.



In: LYRA, Jorge; LUIZ, Walter. Um passo à frente na medicina. *O Cruzeiro*, v. 29, n. 2, p. 24-26, 1956.

Através de publicações resultantes de outros cursos semelhantes, é possível perceber a circulação de conhecimentos, técnicas, práticas e cientistas em formação e experientes. Em 1958, dois anos depois, o Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Comerciários (IAPC), de Porto Alegre, promoveu o Curso de Metodologia Isotópica. Coordenado pelo médico Levy de Albuquerque e Souza, o curso mobilizou uma série de conceitos e noções sofisticadas da aplicação dos radioisótopos à pesquisa biológica, bioquímica e medicina nuclear. Na publicação de mesmo ano, do conteúdo do curso, é possível verificar como certos conhecimentos práticos foram incorporados no programa do curso de Penna Franca e John Cooper de 1956. Por exemplo, ao abordar o método para estabelecer a determinação da taxa de soroalbumina humana, Levy de Albuquerque utiliza anotações feitas durante o ‘Curso de Metodologia de Isótopos’, “ministrado pelo Dr. John A. D. Cooper, em 1956” (SOUZA, 1958, p. 75).

Figura 33: Capa do material produzido para o 1º Curso Latino-Americano de Metodologia de Radioisótopos.



In: COOPER, John. A. D. **Curso de Metodologia de Radioisótopos**. Instituto de Biofísica, Universidade do Brasil. Rio de Janeiro, 1956.

Após a avaliação positiva do curso de Penna Franca e Cooper, o Instituto de Biofísica decidiu institucionalizá-lo em frequência anual, com o título de 'Curso Latino Americano de Metodologia de Radioisótopos'. Dessa forma, sob a responsabilidade de Penna Franca, foram realizadas edições do curso nos anos de 1957, 1958, 1961, 1963 e 1965 (PENNA FRANCA, 1992). Além da formação de uma série de cientistas nas técnicas radioisotópicas, o curso gerou publicações como o Manual de Biofísica (PENNA FRANCA, 1961), e se estendeu para cursos menores ministrados por Penna Franca em outros lugares, como na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal do Rio Grande do Norte, e pequenas conferências nos 'Estudos Gerais Universitários de

Moçambique Lourenço Marques'. Devido aos cursos, o Laboratório de Radioisótopos, coordenado por Penna Franca passou a ser um uma espécie de centro de apoio ao desenvolvimento de pesquisas com aplicações de radioisótopos no país. Foi prestada assistência a vários projetos de pesquisa e auxílio técnicos em unidades de hospitais e clínicas que tinham o interesse de iniciar seus serviços de medicina nuclear, começando por aquelas ligadas à UFRJ. A Seção de Endocrinologia, chefiada por Jayme Rodrigues, no Hospital Moncorvo Filho iniciou sua clínica de medicina nuclear voltada ao diagnóstico e a terapêutica de disfunções tireoidianas após adquirir os equipamentos necessários.

Penna Franca foi solicitado por Luiz Gentil Feijó, da Terceira Cadeira de Clínica Médica, a prestar seus serviços à recém-criada área da medicina nuclear naquele hospital. Penna Franca contribuiu ajudando a selecionar os instrumentos que seriam comprados, calibrando detectores de radiação, treinando operadores e redigindo protocolos de exames:

Durante vários meses dediquei uma manhã por semana acompanhando os trabalhos da clínica, que adquiriu grande prestígio pelo seu pioneirismo na utilização de radioisótopos em endocrinologia. Em 1958, Luiz Carlos Lobo, recém-formado em medicina e pesquisador do Instituto de Biofísica, passou a chefiar a clínica e deu-lhe grande notoriedade pelas suas pesquisas em bócio endêmico (PENNA FRANCA, 1992, p. 27).

O laboratório de Penna Franca prestou apoio a vários outros estudantes de medicina e grupos iniciantes em medicina nuclear, disciplinas e hospitais, como, por exemplo, a Santa Casa de Misericórdia, o Hospital dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro e a Clínica de Obstetrícia da Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro. Esse trabalho em conjunto com outros médicos, contribuindo para o desenvolvimento da medicina nuclear no país rendeu uma série de publicações ao cientista, de 1957 a 1962. Não irei me ater à natureza dessas publicações, mas cabe mencionar que elas abordaram temas de relevo na interface radioisótopos-medicina, como no caso do uso de radioisótopos para localizar a inserção placentária, no qual foi demonstrado que a dose de radiação recebida pelo feto era muito inferior à dose de raios X, procedimento comumente empregado até então (PENNA FRANCA, 1992).

Na década de 1950, Penna Franca e seu laboratório trabalharam ativamente na formação de novos técnicos, na criação de cursos de aplicação de radioisótopos, no desenvolvimento da medicina nuclear, e, sobretudo, como um centro chave para inúmeros outros projetos e grupos de pesquisa, do Instituto de Biofísica ou de fora, realizando medidas radioativas de vários trabalhos. Na década de 1960, em contrapartida, um grande projeto próprio do Laboratório de Radioisótopos iria surgir. Em 1962, o laboratório contava com a

colaboração do químico Nazyo Lobão, as farmacêuticas Orlita Gomes de Freitas e Marlene Teitakowski, além do pesquisador Pedro Lopes dos Santos, da Universidade do Maranhão, que havia sido colocado à disposição do laboratório pela CNEN. O Laboratório de Radioisótopos também tinha como estagiário Carlos Costa Ribeiro, que desde os 17 anos já participava de projetos de pesquisa no Instituto, ingressando também a convite de Chagas Filho, e onde permaneceu até os seus 43 anos de idade. Falecido com 76 anos em 2015, ele¹⁸¹ foi um dos grandes nomes a passar pelo laboratório de Penna Franca, contribuindo largamente com a agenda de pesquisas do grupo. Com esse time, Penna Franca relata que resolveu investir num programa próprio de pesquisa, com uma linha definida e não só contribuir para medições de radiação de outros projetos. Ocorria, entretanto, que o Instituto de Biofísica tinha grande parte dos seus esforços, recursos e pessoal voltados para a área da pesquisa biomédica. Embora Penna Franca tivesse já boa experiência com pesquisas desse caráter e cogitasse permanecer dentro do campo da radiobiologia, seu grupo se consolidou, de fato, a partir de estudos de caráter bastante inovador para o país.

3.2 Um programa para o Laboratório de Radioisótopos: os estudos de radioatividade natural

3.2.1 Bombas atômicas, *fallout* e o início do programa de pesquisas do Laboratório de Radioisótopos

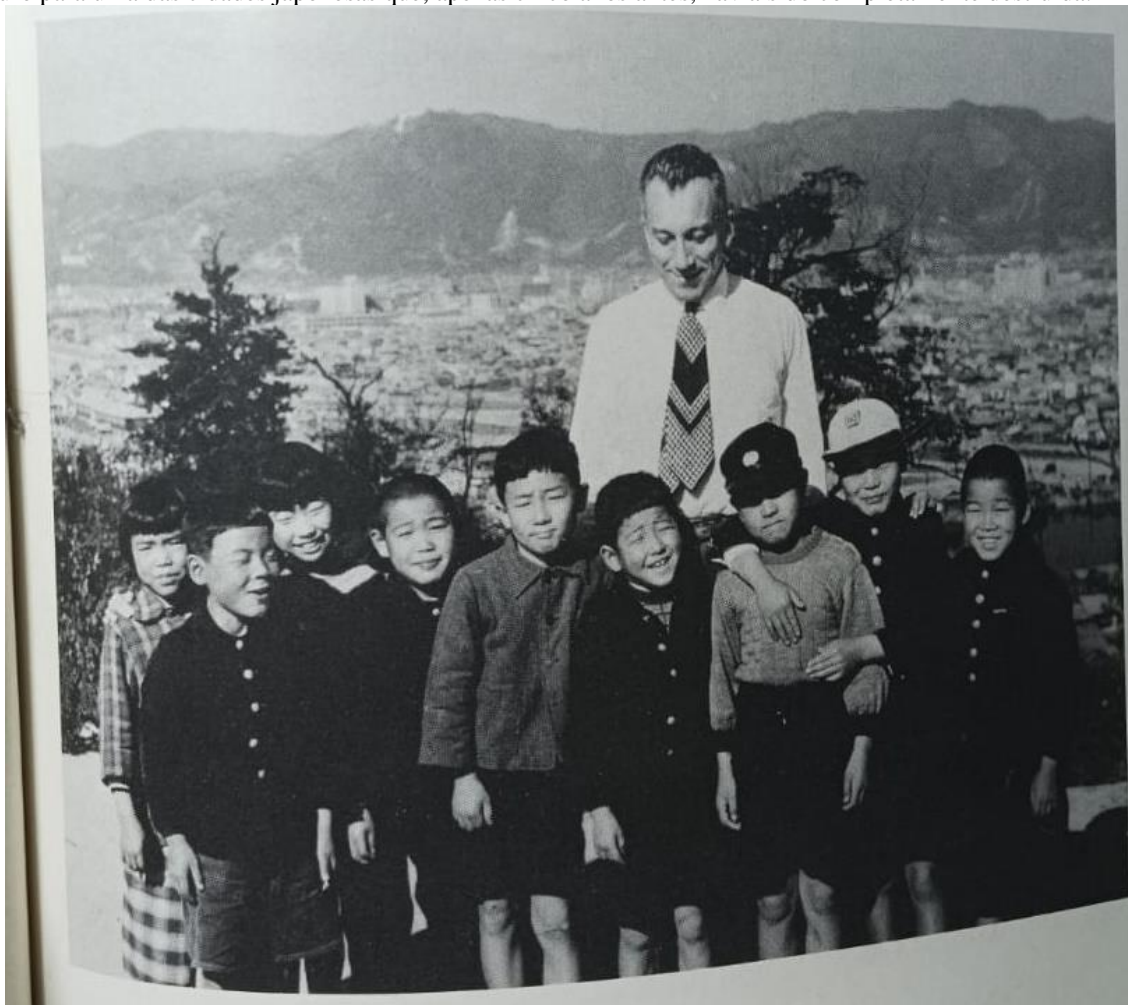
Algo determinante para o início de um programa específico de pesquisa do Laboratório de Radioisótopos foi a preocupação de cientistas e agências com as possíveis consequências dos inúmeros testes nucleares que estavam ocorrendo durante a década de 1950. A ONU criou em 1955 um comitê científico denominado United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), que congregava membros de 15 países e tinha como objetivo a identificação e avaliação de todas as fontes de radiação, seja

¹⁸¹ Carlos Costa Ribeiro estudou química na Technische Hochschule Wien, em Viena, na Áustria, e se formou no mesmo curso pela Faculdade Nacional de Filosofia, em 1963. Posteriormente, doutorou-se em ciências do meio ambiente pela School of Engineering and Sciences, na Universidade de Nova York. Teve como orientador de mestrado e doutorado o professor Merrill Eisenbud, parceiro no Projeto Guarapari, de estudos das regiões de elevada radioatividade natural. Carlos Costa Ribeiro, assim como Wolfgang Christian Pfeiffer representam alguns dos primeiros nomes de radioecólogos a se formarem no entorno de Penna Franca. Eles estabeleceram as primeiras análises de metais-traço no ambiente, como o estudo de técnicas associadas ao meio atmosférico (material particulado) e ambientes aquáticos (RIBEIRO, 2010). Adiante ainda explorarei mais a fundo o trabalho desses cientistas.

natural ou artificial, a nível global, buscando entender os seus riscos à humanidade. O histórico de representantes do Brasil nesse comitê reflete bem os cientistas brasileiros que tinham contato com a temática, sendo Chagas Filho o primeiro representante, com o Padre Francisco Roser do Instituto de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) como suplente, e posteriormente o geneticista da USP Crodowaldo Pavan, o radiobiologista Luiz Renato Caldas e, a partir de 1978, Eduardo Penna Franca (PENNA FRANCA, 1992, p. 30).

O projeto de pesquisa do qual Penna Franca iria fazer parte com seu laboratório iniciou com o encontro entre Chagas Filho, Roser e Merrill Eisenbud, à época chefe do Environmental Radiation Laboratory do New York University Medical Center, que era membro da delegação estadunidense da UNSCEAR. Roser já vinha realizando pesquisas no Brasil, buscando identificar áreas de radioatividade natural elevada por possuírem alta presença de minerais contendo urânio ou tório na parte superficial do solo. Regiões como Guarapari, no Espírito Santo e Araxá, em Minas Gerais, já haviam sido demarcadas pelo Padre Francisco Roser, que as considerava como “laboratórios naturais para investigação dos efeitos sobre as populações locais de doses crônicas de radiação em períodos longos” (PENNA FRANCA, 1992, p. 30). Eisenbud propôs, então, uma parceria com o grupo de pesquisa da PUC-Rio, para a criação de um projeto e conjunto. Esse projeto teria a possibilidade de obter auxílio financeiro da USAEC, como de fato ocorreu posteriormente. A sugestão de incluir o Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica no referido projeto, veio de Chagas Filho. Ela foi aceita de imediato, e, assim, o laboratório de Penna Franca passou a ter sua primeira participação num grande projeto de caráter internacional (PENNA FRANCA, 1992).

Figura 34: O cientista estadunidense Merrill Eisenbud, importante colaborador de Eduardo Penna Franca e do Laboratório de Radioisótopos, posando em foto com crianças de Hiroshima, Japão, em 1950. Ao fundo da foto, a cidade sendo reconstruída. A fotografia expressa a centralidade adquirida por especialistas em aspectos ambientais da radiação, como Eisenbud, na ciência do pós-guerra. Junto disso, os representantes de um possível futuro para uma das cidades japonesas que, apenas cinco anos antes, havia sido completamente destruída.



In: EISENBUD, Merrill. **An Environmental Odyssey: People, Pollution, and Politics in the Life of a Practical Scientist**. Seattle and Washington: University of Washington Press, 1990.

Em sua autobiografia intitulada *An Environmental Odyssey: People, Pollution and Politics in the Life of a Practical Scientist* [Uma Odisseia Ambiental: Pessoas, Poluição e Política na Vida de um Cientista Prático], publicada em 1990, Merrill Eisenbud contextualiza alguns aspectos do início do projeto:

Em 1961, iniciei colaborações com cientistas brasileiros que duram até hoje. [...] Eu tinha ouvido falar vagamente que tais áreas existiam no Brasil, mas não sabia quase nada sobre elas até a criação do UNSCEAR em 1955. [...] Um dia, em 1956, Roser contou-me sobre o seu trabalho e eu expressei interesse em ter algumas amostras de rochas, areias e plantas radioativas para estudo em laboratório. Vários meses depois, recebi um telefonema de inspetores do aeroporto que haviam encontrado alguma bagagem radioativa que pertencia a um padre que disse me conhecer. Isto foi durante a Guerra Fria, quando o governo dos EUA estava tão nervoso com o contrabando de bombas atômicas para o país que todos os portos estavam equipados com

detectores de radiação sensíveis e os porões dos navios, aeronaves e bagagens dos passageiros que chegavam eram monitorados (EISENBUD, 1990, p. 153).

Nesse contexto de surgimento da UNSCEAR e da participação de cientistas de diferentes países no debate sobre as consequências dos testes nucleares e da radiação de modo geral, surgiram, nos Estados Unidos, projetos como o Project Gabriel e o Project Sunshine. Ambos os projetos tinham como objetivo principal o estudo da precipitação radioativa, o *fallout*, em especial do radioisótopo estrôncio-90 e sua presença em tecidos e ossos humanos. Entre 1958 e 1959, o próprio Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica analisou estrôncio-90 decorrente de fallout, pela primeira vez no Brasil, em ossos de recém-nascidos, urina e em leite (PENNA FRANCA, 1992). Antes mesmo disso, em abril de 1957, uma notícia com afirmações de Eduardo Penna Franca sobre o tema foi publicada no *Jornal do Brasil*. “Estrôncio 90 no leite distribuído às crianças – Em pequena quantidade, porém, o perigoso elemento radioativo não constitui problema” (ESTRÔNCIO 90..., 1957, p. 11). Apesar da afirmação de Penna Franca, o estrôncio foi mencionado na notícia em questão como “um dos elementos radioativos mais perigosos para a saúde do homem”. A notícia relatava que Penna Franca havia encontrado estrôncio-90 no “leite distribuído às crianças do Brasil” e na urina de alunos da Escola Nacional de Medicina. Ao jornal, Penna Franca disse que a quantidade de estrôncio encontrado nas amostras estudadas não representava uma ameaça séria aos seres humanos, pois seria 10.000 vezes menor que o teor máximo admissível. Sobre o aparecimento do estrôncio-90, a notícia dizia que se tratava de uma consequência das primeiras explosões atômicas, com o elemento se espalhando pelas camadas baixas da atmosfera, contaminando as regiões próximas das explosões:

A situação se agravou, entretanto, com o aparecimento da bomba de hidrogênio, para cuja detonação é utilizada uma bomba de urânio. O estrôncio 90, produzido pela fissão da ‘bomba gatilho’, é lançado, pela violência da bomba H, a grandes altitudes, onde se dissolve no vapor d’água. Com as chuvas, o estrôncio 90 se deposita no solo, contaminando quase por igual, toda a superfície da terra. Daí a sua presença nos vegetais, por simples depósito ou pela absorção das raízes e, no leite, através do capim com que se alimenta o gado (ESTRÔNCIO 90..., 1957, p. 11).

Todo esse ciclo ecológico do estrôncio em diferentes objetos vivos e no solo, além de se mostrar preocupante, indica o caminho que seguiam as pesquisas de caráter ambiental. De acordo com o jornal, essas mesmas pesquisas, feitas no Brasil e confirmadas por Penna Franca, afirmavam que, apesar da contaminação ser um dado grave, para que o estrôncio-90 constituísse de fato um perigo à saúde humana e animal, seria necessário a explosão de pelo

menos mais 64.000 bombas de hidrogênio (ESTRÔNCIO 90..., 1957).

Dois anos depois, uma matéria na edição do dia 4 de abril de 1959 da revista *O Cruzeiro* alertava novamente para os perigos do estrôncio. A primeira página mostrava duas imagens em paralelo, sendo uma da nuvem de cogumelo da bomba nuclear, e a outra uma menina tomando um copo de leite. Em cima, o letreiro grande dizia “Chove estrôncio em minas: Importantes pesquisas feitas no IPR revelam a trágica herança recebida da “poeira atômica”.” (FRANCO e SILVA, 1959, p. 53). Na página seguinte, a revista apresentava fotos da engenheira química Maria Carmen Tavares Carvalho, que examinou o leite em Minas Gerais, e o professor Francisco Magalhães, presidente do Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR). Ao lado, outra manchete dizia “Bomba Atômica levou perigo para o leite que o mineiro bebe”. Abaixo, a fotografia de uma vaca sendo ordenhada, com a legenda: “A vaca contaminada dá o leite contaminado. No caso do Estrôncio-90 o mesmo se observa. E lá vem o leite apresentando o teor de 3,65” (FRANCO e SILVA, 1959, p. 54).

A reportagem menciona que, após um ano de estudos no IPR, chegou-se à conclusão de que existia estrôncio-90 no leite consumido pela população de Belo Horizonte. Originado nas explosões nucleares, o estrôncio-90 era visto como alarmante por poder causar efeitos somáticos como câncer, leucemia, deformações, além de possíveis efeitos genéticos, sendo grave sua presença no leite devido ao metabolismo semelhante ao do cálcio. De acordo com Francisco Magalhães, em entrevista à reportagem do *O Cruzeiro*, os teores de estrôncio que haviam sido observados eram baixos e até aquele momento não constituíam um perigo real (FRANCO e SILVA, 1959, p. 54). Outro entrevistado da reportagem, Carlos Rodrigues Pereira, engenheiro nuclear pela Argonne National Laboratory da USAEC, também ponderava os resultados das pesquisas do IPR em relação às incertezas diante da continuidade dos testes nucleares: “O exame do leite feito aqui mostrou que somos ainda felizes em relação aos países do hemisfério. Entretanto, somos totalmente a favor da cessação dos testes atômicos, devido aos prováveis efeitos genéticos que daí podem advir” (PEREIRA *apud* FRANCO e SILVA, 1959, p. 56).

Em tese sobre o Project Gabriel e o Project Sunshine, Brian Sewell Lindseth (2013) afirma que o surgimento desses projetos na década de 1950 relaciona-se com a centralidade que a noção de estado de segurança nacional e a mobilização para a guerra contra a União Soviética passaram a ter na política estadunidense da Guerra Fria. O desenvolvimento dos testes de bombas nucleares e bombas de hidrogênio eram considerados “necessários para ‘conter’ o comunismo”. Mas a possibilidade de que a precipitação radioativa criasse efeitos negativos significativos para a saúde representava um problema para um Estado que estava

comprometido com a construção de um arsenal de armas atômicas e nucleares” (LINDSETH, 2013, p. 91). Desse modo, os efeitos negativos da precipitação radioativa sobre a saúde era uma questão de ordem epistêmica e política. De acordo com Lindseth (2013), ao mesmo tempo em que esse tema era tratado por cientistas em seus laboratórios, representava um grande problema político que poderia, inclusive, prejudicar a legitimidade do estado de segurança nacional da Guerra Fria para os Estados Unidos, bem como os esforços de mobilização para a guerra. Nesse sentido, a presença dos EUA em projetos como o do estudo da radioatividade natural em Guarapari e Araxá reflete os interesses dúbios dos norte-americanos. O estudo da precipitação radioativa estava sendo financiado por um dos países que mais causava esse fenômeno atmosférico, através de seus testes nucleares. E, ao mesmo tempo, em meio a essa tensa dicotomia e devido a ela, os estudos ecológicos ganhavam espaço. Assim, visando a afirmação de que os testes nucleares eram seguros, os projetos Gabriel e Sunshine acabaram por empregar cientistas que, a princípio, corroborariam a posição dos EUA no tema da precipitação radioativa (LINDSETH, 2013, p. 91).

No início da década de 1960, nos primórdios do programa de pesquisa do Laboratório de Radioisótopos, o Instituto de Biofísica instituiu o que seria o primeiro curso de pós-graduação *stricto sensu* na área biomédica no Brasil. Criado em 1962, mas credenciado pela CAPES apenas dois anos depois, o curso foi ocupado, primeiramente, por pesquisadores já experientes do instituto. Os pesquisadores do laboratório de Penna Franca, passaram, então, a ministrar cursos sobre a aplicação de radioisótopos para a área biomédica em geral, além de proteção radiológica e dosimetria, substituindo assim, nessa nova fase da pesquisa e ensino científico no Instituto, os primeiros Cursos Latino-Americanos de Radioisótopos (PENNA FRANCA, 1992, p. 33). Eduardo Penna Franca, por exemplo, matriculou-se no curso de doutorado em 1964, e em dezembro de 1968 apresentou a tese ‘Radioatividade na dieta dos habitantes das regiões brasileiras de elevada radiação natural’ à Universidade Federal do Rio de Janeiro, para a obtenção do grau de Doutor em Ciências. Ligada diretamente aos trabalhos do projeto Áreas Brasileiras de Elevada Radioatividade Natural, a tese apresentava como epígrafe uma citação de Merrill Eisenbud, cientista estadunidense representante na UNSCEAR e proponente do projeto, que comparava os “ganhos para a humanidade” da utilização civil da energia atômica com os seus pequenos riscos, mas condenava os efeitos radioativos de origem militar.

De acordo com Penna Franca (1992), existiam no Brasil dois tipos de regiões com radioatividade natural num nível elevado. Essas regiões apresentavam solos ricos em minerais, e continham tório e urânio. Uma delas é a região de areias monazíticas, que se

estende pela costa dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo até o sul da Bahia; a outra região é a dos intrusivos vulcânicos, que ocorrem no estado de Minas Gerais. Essas regiões foram identificadas, entre 1952 e 1956, primeiramente pelo Laboratório Nacional de Produção Mineral e depois pela CNEN. Os estudos de radioatividade natural no Brasil começaram nesse mesmo ano, a partir do trabalho do padre Francisco Roser, diretor do Instituto de Física da PUC-RJ. Roser e seu colaborador, o padre Thomas Cullen, investigaram as possibilidades que essas áreas de alta radioatividade natural poderiam oferecer para o estudo de efeitos biológicos da exposição crônica à radiação ionizante. Doses de radiações foram levantadas pelos padres, que selecionaram três regiões que seriam as mais propícias para o início dos trabalhos: 1) Guarapari e vila de Meaipe, no Espírito Santo, com a presença de populações humanas habitando as áreas de areias monazíticas¹⁸²; 2) Araxá e a vila Tapira, em Minas Gerais, com a característica de prática de agricultura de subsistência em terrenos com a presença de alta radioatividade natural; 3) Morro do Ferro, em Poço de Caldas, Minas Gerais, sem habitação, mas oferecendo condições para o estudo dos efeitos radioativos na flora e na fauna da região (PENNA FRANCA, 1992, p. 34).

Em sua tese de 1968, Penna Franca relata que o interesse em estudar o tema da proteção radiológica e as regiões de radioatividade natural elevada surgiu a partir de sua participação em quatro sessões do Comitê Científico das Nações Unidas para o Estudo dos Efeitos das Radiações Atômicas, que já eram frequentadas por Chagas Filho e Roser desde 1956. Penna Franca também considera os padres Roser e Cullen como aqueles que abriram, a partir de suas prospecções e levantamentos radiométricos, perspectivas para iniciar estudos radioecológicos e radioepidemiológicos no Brasil, com o foco nas regiões identificadas (PENNA FRANCA, 1968). Apesar disso, o químico acreditava que, no início da construção desse grande projeto de pesquisa, o seu grupo do Instituto de Biofísica não se encontrava preparado: “faltavam condições materiais e psicológicas para nos lançarmos num programa de pesquisas de envergadura” (PENNA FRANCA, 1968, p. 5). Segundo Penna Franca, o que deu a confiança de ingressar de cabeça no programa, para além de outras dificuldades financeiras e particulares dos pesquisadores, foi o contato que ele teve com o cientista estadunidense Merril Eisenbud, da New York University, “de passagem pelo Rio de Janeiro para consultas com o grupo da PUC, e deste encontro resultou mudança radical em minha carreira” (PENNA FRANCA, 1968, p. 5). Por sua vez, Eisenbud também menciona em sua

¹⁸² De acordo com o próprio Penna Franca (1992), em 1956 Guarapari e Meaipe tinham uma população estimada em 6.000 pessoas. Com o passar dos anos, a região tornou-se um centro de turismo e veraneio.

autobiografia tanto a longa parceria com Penna Franca, quanto o trabalho colaborativo com Roser e Cullen, tecendo inclusive alguns comentários sobre como estes conciliavam suas funções de padres e cientistas:

Minhas experiências brasileiras giraram em torno de pessoas com quem se desenvolveram laços excepcionalmente estreitos. Além de Roser e Cullen, esteve Eduardo Penna-Franca, que era um dos alunos de Chagas quando iniciamos nossa colaboração. Penna-Franca acabou se tornando diretor do Instituto de Biofísica e principal pesquisador brasileiro em nossos estudos conjuntos. [...] Roser e Cullen eram padres-cientistas jesuítas clássicos. Sem as distrações das famílias e sem interesses materialistas, estavam totalmente comprometidos com a Igreja e a ciência, e dividiam as suas longas jornadas de trabalho entre as suas duas esferas de devoção. Eram bons cientistas, mas nunca fiz qualquer progresso nas minhas muitas tentativas para compreender como resolveram os conflitos básicos que devem ter enfrentado. Embora liberais nas questões sociais, eram conservadores em questões religiosas e, pelo menos exteriormente, não tinham dificuldades em aceitar os milagres que faziam parte da sua fé, ao mesmo tempo que insistiam no rigor intelectual ao lidar com questões científicas (EISENBUD, 1990, p. 156).

Figura 35: Da esquerda para a direita, Eduardo Penna Franca, Padre Thomas Cullen e Merrill Eisenbud, na conferência da PanAmerican Health Organization em Washington, em 1965.



In: EISENBUD, Merrill. **An Environmental Odyssey: People, Pollution, and Politics in the Life of a Practical Scientist.** Seattle and Washington: University of Washington Press, 1990.

A partir do encontro com Eisenbud, Penna Franca foi convidado para participar do 12º

Congresso Internacional de Radioatividade Natural Ambiental, na cidade de Houston, no Texas, em abril de 1963. O contato se seguiu até uma proposta de contrato de pesquisa ocorrer com a USAEC:

Meses após, técnicos dessa organização vieram ao Brasil, juntamente com Eisenbud, quando acertaram conosco os detalhes do contrato, após uma memorável viagem a Poço de Caldas e Guarapari, em avião da Força Aérea Brasileira. Assim começou uma proveitosa colaboração entre três universidades, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, New York University e Universidade Federal do Rio de Janeiro, num esforço multidisciplinar para procurar, dentro das possibilidades limitadas de pessoal do ambiente científico brasileiro, investigar alguns dos muitos aspectos radioecológicos, radioquímicos e radiobiológicos das regiões brasileiras de elevada radioatividade natural (PENNA FRANCA, 1968, p. 6).

Cada grupo de pesquisa correspondente a uma das universidades ficou responsável por uma tarefa a ser desenvolvida dentro do projeto de pesquisa. O Instituto de Física, da PUC-Rio, fez os levantamentos dos níveis de radiação externa em ruas, casas e nas praias de Guarapari-Meaipe, e nas fazendas das regiões de Araxá-Tapira e Morro do Ferro. O New York University Medical Center trabalhou nas medidas dosimétricas em plantas e animais, estudou a patologia de animais da região do Morro do Ferro, e fez o treinamento de pesquisadores brasileiros em laboratórios da própria universidade de Nova York. Por sua vez o Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica (UFRJ) estabeleceu as medidas das concentrações de radionuclídeos na água, em alimentos e no corpo humano, tanto em Guarapari e na vila de Meaipe quanto em Araxá e na vila Tapira. Além disso, um amplo levantamento da flora e da fauna do Morro do Ferro foi realizado. Já na parte final do projeto, o Laboratório de Radioisótopos operou também um levantamento citogenético da população de Guarapari e Meaipe (PENNA FRANCA, 1992, p. 39-40).

Sem experiência com pesquisa de campo, o Laboratório de Radioisótopos obteve a colaboração do zoólogo Johan Becker e da botânica Margareth Emmerich, do Museu Nacional, para os levantamentos de plantas e animais no Morro do Ferro. Um laboratório de campo foi montado numa casa alugada em Poços de Caldas (PENNA FRANCA, 1992). Com relação ao trabalho de citogenética, Eduardo Penna Franca conseguiu, com recursos do projeto, convidar José Carlos Cabral, do Instituto de Biofísica, que estava implantando o primeiro laboratório de citogenética clínica, após retornar de um estágio na Inglaterra, para ampliar seu escopo de pesquisa e integrar o projeto de radioatividade natural. Cabral estudava malformações congênitas e de 'intersexualidade', e, no projeto do Laboratório de Radioisótopos, assumiu o levantamento das aberrações cromossômicas em linfócitos periféricos em amostras da população de Guarapari e Meaipe (PENNA FRANCA, 1992, p.

40).

Em seu memorial, Penna Franca conta como dirigia peculiaridades do grande projeto de pesquisa, como é o caso do investimento nas pesquisas citogenéticas. Sua coordenação foi de grande impacto na trajetória do cientista Marcello André Barcinski, inicialmente estagiário de José Carlos Cabral, mas que devido ao seu interesse pelo projeto de radioatividade natural, foi enviado por Penna Franca para se especializar na Mount Sinai School of Medicine e no Oak Ridge National Laboratory, nos EUA. Com esse incentivo, Barcinski encarregou-se do levantamento de aberrações cromossômicas do projeto. Ele defendeu tese de doutorado, sob orientação de Penna Franca, com o tema “Investigação Citogenética em Populações Brasileiras Submetidas à Irradiação Crônica” (PENNA FRANCA, 1992, p. 41). Vários trabalhos com foco em aspectos citogenéticos daquelas populações foram publicados, sempre numa cooperação entre o Laboratório de Radioisótopos e o Laboratório de Citogenética Clínica do Instituto de Biofísica (PENNA FRANCA, 1992, p. 41). Não previstos no escopo inicial do projeto, os estudos citogenéticos refletem desdobramentos daquele programa de pesquisa.

A pesquisa nas regiões brasileiras de elevada radioatividade natural teve início oficialmente em julho de 1963, apesar de desde a década de 1950 estivessem sendo feitas análises na região. As potencialidades científicas do estudo dessas regiões ocuparam o cerne das discussões do comitê científico da ONU, o UNSCEAR. Em 1959, a Organização Mundial da Saúde (OMS) também sinalizou o potencial que essas áreas poderiam ter para a compreensão da exposição crônica de organismos à radiação, a partir da reunião de um grupo de especialistas com dados coletados nas regiões de areias monazíticas da Índia. Além da contaminação por irradiação externa, as regiões radioativas também ofereciam risco de contaminação interna através da ingestão de radionuclídeos naturais, presentes na cadeia alimentar. Assim, estudos nas regiões como as mapeadas no Brasil, Índia e no Middle West estadunidense foram incentivados e apoiados. Dois especialistas no tema, Charles Dunham e H. D. Bruner (1958, 1961) consideraram que esses estudos precisavam ser feitos para verificar se os dados obtidos com experiências em animais estavam ou não sendo enganosos, subestimando os efeitos da irradiação crônica em humanos, e para desenvolver técnicas seguras sobre os efeitos radioativos num nível ambiental, dando o exemplo das investigações em Hiroshima, no Japão.

Para Penna Franca (1968), as regiões de elevada radioatividade natural ofereciam possibilidades de investigações radiobiológicas “impossíveis de serem conduzidas em diferentes locais ou circunstâncias” (PENNA FRANCA, 1968, p. 28), mesmo se comparado a

situações como acidentes radioativos, exposição ocupacional, áreas de elevado fallout ou das populações de Hiroshima e Nagasaki. Esses estudos poderiam investigar o trânsito de radioisótopos pesados através da cadeia alimentar, o que seria um trabalho eminentemente radioecológico, além de entender as doses a que as populações dessas regiões estariam cronicamente expostas, por toda a vida e há várias gerações, indivíduos que estariam ingerindo regularmente, desde o seu nascimento, alimentos contaminados, acumulando assim altas concentrações corporais de radionuclídeos (PENNA FRANCA, 1968).

Em 1956, o diretor do Instituto de Física da PUC do Rio de Janeiro e membro da UNSCEAR Padre Francisco Xavier Roser, começou a investigar as regiões de elevada radioatividade natural. Em pouco tempo, juntou-se a ele o também padre Thomas Cullen e outros colaboradores, realizando um amplo trabalho de radiometria, construindo mapas a partir de cintiladores portáteis. Esse grupo definiu as regiões que melhor se adequariam a um programa intenso de pesquisa, as já comentadas vilas de Guarapari e Meaipe, no Espírito Santo, Araxá e Tapira, em Minas Gerais e o Morro do Ferro, próximo a cidade de Poço de Caldas-MG. O grande projeto de pesquisa, iniciado em 1963, foi apoiado diretamente pela United States Atomic Energy Commission (USAEC), além de receber auxílio de várias instituições, como a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e a PanAmerican Health Organization (PAHO). Como já destacado neste texto, o projeto foi composto por três instituições, sendo elas a PUC do Rio de Janeiro, o Institute of Environmental Medicine da Universidade de Nova York e o Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (PENNA FRANCA, 1968).

Em sua tese de doutorado, feita ao longo dos primeiros anos do projeto e utilizando os dados do mesmo, Penna Franca (1968) descreve em detalhes as características socioeconômicas das vilas nas quais as pesquisas foram realizadas. Passarei a comentar um pouco sobre cada uma das regiões.

Guarapari, no Espírito Santo, inicialmente uma vila de pescadores, foi transformando-se num centro turístico importante da região, em grande parte devido a suas 'areias pretas' com possíveis 'virtudes terapêuticas'. Na época em que Penna Franca redigiu seu trabalho, várias modificações estavam ocorrendo na região, com uma grande corrida imobiliária que alterava inclusive as condições radiométricas do início do programa de pesquisa, "pela pavimentação das ruas, demolição de antigas casas, eliminação de plantações para novos loteamentos e movimentação de populações" (PENNA FRANCA, 1968, p. 34). A cidade, que nos dias de hoje conta com aproximadamente 128 mil habitantes, possuía em média 5 mil habitantes na época do programa de pesquisa. Em relação aos níveis radiométricos elevados,

os maiores índices estavam sobre as manchas de areia preta na praia, com um máximo de 2 mR/h¹⁸³.

Já a pequena vila de Meaipe, apenas 30 km de distância de Guarapari, contava à época com uma população de 300 habitantes, sendo pouco afetada pelo turismo. Fundada por uma empresa que tinha como objetivo explorar os minérios de monazita da região, Meaipe tornou-se também uma vila de pescadores, situada entre o estuário de um rio e o oceano. Meaipe possuía uma média de níveis de radiação de 0,13 mR/h, chegando até 1 mR/h. Penna Franca (1968) descreve a flora própria da região estabelecida em ambientes de alta salinidade, além de plantas vizinhas e associadas, tais como epífitas bromeliáceas, as cactáceas e palmeiras, que formavam a restinga. Tanto em Meaipe quanto em Guarapari, existia uma produção de alimentos constituída de poucos grupos de coqueiros, pequenas hortas e exemplares de árvores frutíferas, além de criações de porcos e galinhas, ainda que tudo muito reduzido. Não se considerava, nesse sentido, a existência de exploração agropecuária na região relevante.

Em relação à região dos centros vulcânicos alcalinos, no estado de Minas Gerais, em 1955, a Companhia LASA localizou, a partir de levantamentos aerofotogramétricos, acrocintilométricos e aeromagnetométricos, 44 anomalias radioativas significativas. As maiores anomalias foram registradas em lugares como no Morro do Ferro e Cercado. De acordo com Penna Franca (1968), “a região constitui um verdadeiro laboratório natural para estudos de radioecologia” (PENNA FRANCA, 1968, p. 36). Nessa região, os estudos do programa de radioatividade ambiental tiveram como foco os municípios e vilas de Araxá e Tapira. Na época, Tapira era uma vila de 350 habitantes, e, juntamente com Araxá, tinha como principal atividade agropecuária a criação de gado, leiteiro e de corte, embora as pastagens da região fossem pobres. A vegetação era constituída de campos cerrados, geralmente com solo considerado de má qualidade para a agricultura, mas com plantações de verduras, frutas, feijão, mandioca e batatas em regiões de solo enriquecido pela presença do mineral apatita. Devido a essa configuração ambiental, as plantações daquelas populações eram feitas em solos com maior contaminação radioativa, pois os minerais de rádio se associavam à apatita. Em relação à criação de gado, era necessário o transporte periódico desses animais para outras regiões, devido às características negativas das pastagens. Desse modo, esses animais passavam períodos de suas vidas em regiões ausentes de contaminação radioativa (PENNA FRANCA, 1968).

Uma produção agrícola um pouco mais extensa de milho, feijão e mandioca, feita nas

183 Sigla que se refere a taxa de ‘milliRoentgen per hour’.

fazendas da região, era geralmente vendida para o mercado de Araxá. Nas moradias mais simples, hortas eram vistas no fundo dos quintais, para consumo apenas dos moradores. Sobre as características das populações de Araxá e vilas próximas, Penna Franca teceu o seguinte comentário em sua tese:

A população do Barreiro, Tapira e arredores das áreas radioativas não difere do tipo humano normalmente encontrado nas zonas pobres do interior de Minas Gerais. Os proprietários das fazendas mais prósperas, de um modo geral, vivem na cidade de Araxá e arrendam suas terras para criação de gado. Os fazendeiros mais pobres são indivíduos primários e ignorantes, que mal conseguem que suas famílias subsistam com os alimentos e a renda que auferem das suas terras, embora sejam muitas delas de extensão considerável. No Barreiro, uma grande parte da população é dependente do Grande Hotel Araxá, o maior empregador local, que possui inclusive vilas residenciais nas suas vizinhanças para moradia da maior parte de seus funcionários (PENNA FRANCA, 1968, p. 41).

Figura 36: Mapa das regiões brasileiras de elevada radioatividade natural, mostrando tanto a faixa de ocorrência de areias monazíticas, no Espírito Santo, quanto a região de intrusivos alcalinos vulcânicos, em Minas Gerais.



In: PENNA FRANCA, Eduardo. **Radioatividade na dieta dos habitantes das regiões brasileiras de elevada radiação natural.** Tese (Doutorado em Ciências – Biofísica) Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio

de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 1968, p. 42.

3.2.2 Estudos em Guarapari, Meaipe, Morro do Ferro, Araxá e Tapira

Os principais objetivos do projeto, elencados após o estabelecimento dos fundamentos científicos e do planejamento global do programa, se dividiram em 4. O primeiro grande objetivo seria estimar a dose total de irradiação externa e interna recebida por diferentes recortes da população local. O segundo objetivo era o de verificar, a partir de comparações com estudos que tiveram como objeto grupos ocupacionais expostos à radiação ou acidentes, se as doses encontradas nas regiões do projeto seriam elevadas o suficiente para se observar efeitos biológicos auferíveis em organismos humanos. Um terceiro objetivo, após a conclusão do segundo, seria, em caso afirmativo, organizar quais os parâmetros biológicos para poder estudá-los estatisticamente, comparando com dados de populações controle. O último dos objetivos do programa, envolvia desaconselhar ou não a produção de alimentos nas áreas com taxas de radiação mais elevadas, caso os níveis de radioatividade encontrados no ambiente e nas cargas corporais justificassem o risco (PENNA FRANCA, 1968, p. 54).

A partir desses objetivos, cientistas do Instituto de Física da PUC-Rio ficaram responsáveis por complementar o levantamento radiométrico já feito por Roser e Cullen nas áreas de estudo, além de determinar a dosimetria externa, as concentrações dos gases torônio, radônio e poeiras radioativas nas casas e locais de trabalho. Ficaria a cargo desses mesmos pesquisadores a determinação da carga de radionuclídeos nos corpos humanos através de medidas de corpo inteiro e ar exalado. O Instituto de Biofísica-UFRJ, como já mencionei anteriormente, ficou responsável pelas análises radioquímicas dos alimentos, pelo desenvolvimento e aplicação de métodos indiretos para estimar a ingestão e a carga corporal de radionuclídeos de importância biológica; análise de materiais como dentes, excreta e placentas, além da aplicação de inquéritos dietéticos e dosimetria interna. Na tese de doutoramento de Penna Franca (1968), que contém alguns resultados parciais dos trabalhos, além de muitos outros detalhes, com foco para a descrição da ingestão média de radionuclídeos de maior interesse biológico por grupos distintos das populações expostas e suas cargas corporais, o cientista também descreve algumas das etapas do projeto, que listarei aqui.

Segundo Penna Franca (1968), no início do projeto, em julho de 1963, os cientistas do grupo conheciam apenas os mapas radiométricos e o risco de contaminação radioativa sofrido pelos habitantes das regiões. Algumas indicações de conteúdo radioativo em amostras de alimentos eram de conhecimento também devido a análises feitas pelos cientistas da New

York University, mas tanto a distribuição dos radionuclídeos naturais em diferentes alimentos, quanto a real importância dos produtos locais na dieta dos habitantes e conseqüentemente o número total de indivíduos expostos à radiação não eram dados conhecidos. Desse modo, e com os objetivos gerais traçados, algumas etapas progressivas foram estabelecidas para dar conta do projeto.

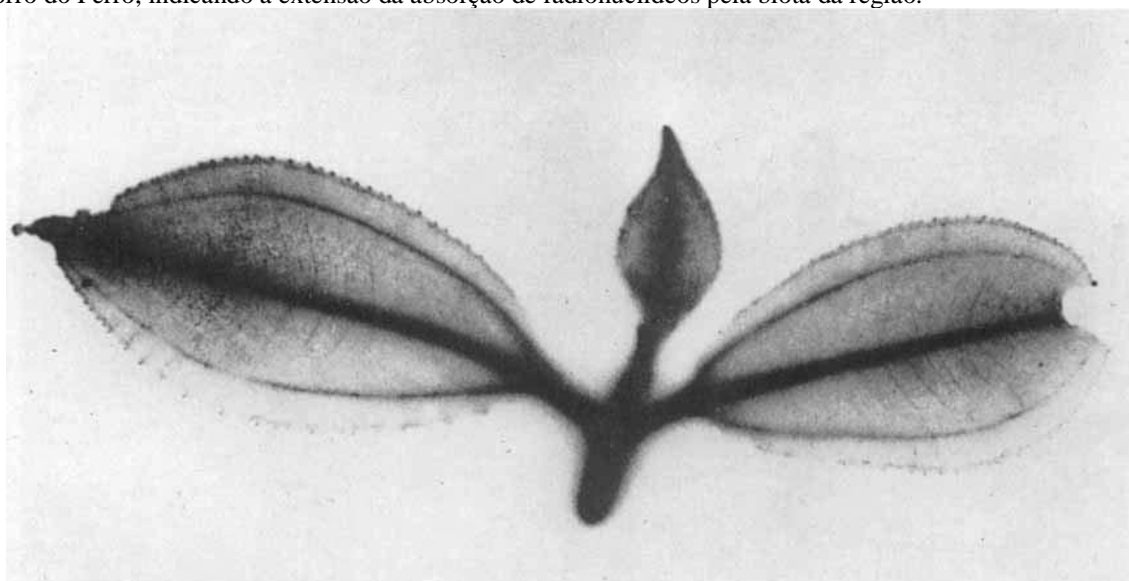
Na etapa 1 do projeto, determinações radiométricas e radioquímicas em alimentos, excreta, dentes e placentas seriam feitas, estabelecendo métodos radiométricos e radioquímicos em laboratório para determinar a concentração de emissores de partículas alfa e dos radionuclídeos de maior relevância biológica. Levantamento de todas as áreas produtoras de alimentos situadas sobre as chamadas anomalias radioativas; inquérito sobre tipo, quantidades e radioatividade dos alimentos e suas respectivas análises. Na etapa 2, um levantamento dos hábitos dietéticos estava programado, visando entender o grau de contaminação radioativa dos alimentos produzidos em Araxá e Tapira. Análises das dietas e de seus componentes individuais seriam feitas, bem como a seleção de famílias e grupos que consumissem apenas alimentos produzidos localmente. Por fim, a etapa 3 estimaria a ingestão média de radionuclídeos naturais pela população da zona do Barreiro e Tapira; estimativa da ingestão anual e diária de emissores alfa, Ra^{228} e Ra^{226} ; comparações dos resultados das análises de dentes, placentas e excreta com dados sobre a ingestão e estimativas de cargas corporais de rádio (Ra) (PENNA FRANCA, 1968, p. 56).

Após mais ou menos um ano do início oficial do grande projeto de pesquisas, um artigo sobre o estágio atual das investigações foi publicado no periódico *Health Physics*. Assinado por membros das três instituições de pesquisa diretamente responsáveis pelo programa, o texto tinha como objetivo apresentar alguns detalhes do trabalho e resultados parciais, centrados nos efeitos da radiação externa em Guarapari e Meaibe, Morro do Ferro e Araxá-Tapira. Como já foi mencionado, essas regiões possuíam características propícias para tais análises, como as pequenas quantidades de alimentos cultivados em solos radioativos, indicando ingestão biológica de radionuclídeos pesados por seres humanos. Os autores do artigo fazem uma diferenciação importante antes de iniciar sua análise e descrever os métodos de investigação, pois apenas Guarapari e Araxá poderiam suscitar estudos dos níveis de anormalidade de radiação ionizante em humanos, por serem habitadas, sendo que em Guarapari a exposição se dava sobretudo de forma externa, e em Araxá, devido à criação de gado e plantações, a exposição radioativa também se dava de forma interna, através de alimentos contaminados (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 701).

As medições radioativas de Guarapari e Meaibe apresentavam uma série de

dificuldades devido sobretudo à grande variabilidade nos níveis de radiação. Dentre as diferentes formas de medir, com dosímetros de fluoreto de lítio ou de vidro fluorado, métodos engenhosos aproveitando certas configurações dos cientistas do projeto e daquela população foram utilizados, como por exemplo, a sugestão do padre Thomas Cullen de inserir o dosímetro em escapulários de feltro utilizados por religiosos, para que dessa forma pudessem estar continuamente medindo por vários meses os níveis de radiação externa naquelas populações (PENNA FRANCA, 1968, p. 46). Os dosímetros eram coletados apenas após três meses de exposição. Com relação às estimativas de dose interna de radiação recebida por aquela população, os métodos eram mais complexos do que a utilização de dosímetros. Embora alguns isótopos pudessem ser estimados em exames de corpo total por espectrometria gama, o uso desse método foi descartado devido sobretudo aos indicativos de que as cargas corporais de radiação não se mostravam elevadas o suficiente para justificar um investimento num programa de contagem de radiação de corpo inteiro. Nesse sentido, a solução para tais medições seriam métodos indiretos que incluíam radioensaio de alimentos, água, urina, fezes e dentes (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 701). Explorarei de modo mais profundo esses estudos, assim como os estudos citogenéticos de aberrações cromossômicas, mais adiante, quando outros artigos posteriores com resultados dos trabalhos forem analisados. Nesse artigo de 1965, outros aspectos dos estudos também chamam atenção, e se referem aos estudos radioecológicos feitos no Morro do Ferro e estudos dosimétricos feitos com três tipos de organismos da região: plantas da família *Melastomataceae*, roedores escavadores e cupins (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 709).

Figura 37: Autorradiografia de folhas de uma *Miconia theaezans*, da família *Melastomataceae*, coletada no Morro do Ferro, indicando a extensão da absorção de radionuclídeos pela biota da região.



In: PENNA FRANCA, Eduardo; et al. Status of investigations in the brazilian areas of high natural radioactivity. **Health Physics**, v. 11, p. 699-712, 1965, s.p.

Figura 38: Fotografia da região do Morro do Ferro, onde estudos radioecológicos estavam sendo feitos na região esquerda da mata.



In: PENNA FRANCA, Eduardo; et al. Status of investigations in the brazilian areas of high natural radioactivity. **Health Physics**, v. 11, p. 699-712, 1965, s.p.

Diferentemente de Guarapari-Meaipe e Araxá-Tapira, o Morro do Ferro não era uma região habitada, com uma área não muito grande de 1,6 km², e níveis de radiação externo que chegavam a 3,2 mR/H, considerados no estudo como os níveis de radiação natural mais altos relatados no mundo até então (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 706). Para a medição desses níveis de radiação, foram utilizadas técnicas, tais como a de câmara de ionização, cintilômetro, espectrometria gama, análises de amostras de solo, medições de concentração de radônio e torônio (Rn²²⁰) no solo e dosimetria de estado sólido. A variedade de técnicas de medição de radiação reflete a complexidade que esses estudos radioecológicos possuíam, aglutinando uma série de instrumentos, objetos, técnicas e conhecimentos das áreas mais diversas da física, química e biologia. O domínio dessas técnicas e conhecimentos só foi possível pela versatilidade do grupo do Instituto de Biofísica, com uma formação diversa, e o contato com diferentes cientistas de várias instituições e departamentos, angariando métodos biogeoquímicos para a construção do programa de pesquisa.

A vegetação da região de Poço de Caldas era composta por floresta tropical *montana* e pastagens. Aos pés do Morro do Ferro, além das pastagens, existiam riachos e manchas de mata e pequenos pântanos. Essas florestas sustentavam uma população de roedores, insetos e pássaros, vivendo sob níveis de radiação gama de 0,05 a 0,6 mR/hr (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 706). Geólogos abriram trincheiras horizontais com até 7 pés de profundidade anos antes do início do projeto, e, essas alterações antrópicas criaram um microclima especial no qual se desenvolveu uma flora considerada rica. Desse modo, foi na região de mata e nas trincheiras onde foram empreendidos os estudos radioecológicos com mais foco. De acordo com o artigo, pela primeira vez no Brasil, foi feito um grande esforço de catalogar a fauna e flora de uma região específica, nesse caso a do Morro do Ferro:

As coletas revelaram comunidades vegetais e animais típicas de altitudes elevadas no sudeste do Brasil. Várias novas entidades taxonômicas foram encontradas, incluindo uma nova espécie de sapo, um novo gênero e três novas espécies de libélula. Acredita-se que esses achados sejam reflexo de um conhecimento incompleto da fauna do interior do Brasil (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 706).

Nessa passagem acima, fica clara a tentativa dos cientistas do programa em evidenciar as potencialidades do estudo de regiões de elevada radioatividade natural, para além dos dados mais específicos das medições de doses internas e externas de radiação em humanos e na biota em geral. O artigo faz um detalhado relato dos estudos feitos sobre a história natural de pequenos vertebrados, investigando seus hábitos alimentares, área de vida e ciclo de reprodução. Além das medições externas de radiação gama e da análise do conteúdo radioisotópico dos solos da região do Morro do Ferro, os estudos dosimétricos relatados buscaram dar conta de certos animais e plantas, constituindo um estudo mais apurado acerca da ecologia da região. Esses diferentes focos do programa compõem a natureza do que se pode entender por radioecologia, e que estou seguindo, do ponto de vista histórico, nesse estudo de caso da tese.

As medições das folhas das *Melastomataceae* indicavam que a radioatividade presente era devida principalmente ao radionuclídeo Ra228, mas incertezas existiam no estudo em relação à fração de torônio retida pelas folhas. Dificuldades também existiam para estimar doses internas e externas de radiação em roedores. As doses externas estavam sendo verificadas a partir da implantação de dosímetros de vidro nesses animais, que após um mês eram recapturados e sacrificados para análise. Já em relação às doses internas, sempre mais difíceis de se avaliar, alguns procedimentos foram tentados, visando medir os teores dos gases de radônio e torônio:

[...] Enchendo um recipiente de 175 ml revestido com frasco de sulfeto de zinco com ar respirado das tocas. O frasco foi então colocado no topo de um tubo fotomultiplicador alojado em uma caixa estanque à luz com uma bateria e um pré-amplificador. Os pulsos resultantes foram contados em um scaler portátil. A taxa de contagem foi medida até ficar aproximadamente constante (cerca de 20min) e foi medida posteriormente quando necessário. Os frascos foram calibrados usando uma fonte de radônio de intensidade conhecida (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 710).

Esse complexo experimento se torna ainda mais interessante quando pensamos que poucos eram os parâmetros existentes para esse tipo de pesquisa na época. Como Penna Franca (1968) relata em sua tese de doutoramento, apenas algumas comparações poderiam ser feitas com estudos ocupacionais e acidentes radioativos, mas nunca com ecossistemas tão específicos. Os valores das análises de radônio e torônio, por exemplo, variavam muito quando observados na continuação do experimento em laboratório, “de dia para dia e de hora para hora, dependendo de muitos fatores que ainda não são compreendidos” (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 710). A simples ação dos ventos nas tocas dos roedores expulsava os gases do solo, e isso variaria a sua concentração, pois cada gás possui sua meia-vida diferente, tendo o torônio uma meia-vida muito mais curta que o radônio. Além da variabilidade, fixou-se que as doses desses gases radioativos eram invariavelmente altas naquele espaço ocupado pelos roedores. Fora os gases aos quais estavam expostos os pulmões desses roedores, as sementes de plantas que serviam de alimento para esses animais possuíam doses elevadas de Ra^{226} e Ra^{228} .

No caso da estimativa de dose interna no cupim (*Cornitermes cumulans*), o problema se complexificava naquela altura inicial do projeto. Os cupins estudados se alimentavam de húmus, resultado da decomposição de vegetação e solo, e parte de suas colônias eram constituídas pela excreta desse alimento. Além disso, em decorrência de sua parede corporal fina, a radiação do solo poderia ser recebida pelo alimento mas também diretamente pelo solo, de fora para dentro do corpo. Radionuclídeos poderiam ser encontrados em outras partes de seu corpo, além do intestino, mas os estudos com cupins ainda estavam em seu estágio embrionário (PENNA FRANCA et al, 1965, p. 711).

Esses estudos que não visavam apenas a contaminação radioativa em humanos, foram se constituindo como parte importante do projeto. Embora o que tivesse catapultado os cientistas para as regiões de elevada radioatividade natural se relacionava mais diretamente com preocupações globais envolvendo a contaminação humana, os estudos radioecológicos não se restringiram a isso. Tratava-se, evidentemente, de dados que surgiam do acúmulo de informações dos cientistas que compunham o projeto com diferentes especialidades. Em um

interessante artigo publicado na prestigiosa revista *Nature* em março de 1963, ainda antes do início oficial do projeto, assinado por Penna Franca e Gomes de Freitas, ‘materiais biológicos’ coletados por técnicos da CNEN nas regiões de elevada radioatividade natural foram analisados radioquimicamente pela equipe de Penna Franca. Na esteira do que seria feito posteriormente, mas ainda muito semelhante ao trabalho já feito anteriormente pelo Laboratório de Radioisótopos comandado por Penna Franca, o procedimento de receber e analisar amostras com radiação visava compreender e estimar o grau de contaminação radioativa desses materiais.

Os radioisótopos considerados mais comuns que decaíam do tório e de grande importância fisiológica eram os isótopos de rádio, tanto o Ra^{228} quanto o Ra^{224} , considerados “caçadores de ossos” (*bone-seekers*) com uma longa meia-vida em animais. Fazendo uma simples diferenciação das meia-vidas de ambos os radioisótopos, e de suas correlações com outros isótopos, o artigo apontava o Ra^{228} como o principal radioisótopo na radiação interna de humanos e outros animais (PENNA FRANCA e FREITAS, 1963, p. 1063). O estudo publicado na *Nature* buscou entender radioquimicamente a eficiência da detecção de radiação gama para Ra^{228} em equilíbrio com actínio 228, que foi de 28%, considerando uma grande quantidade de amostras do Morro do Ferro e Guarapari-Meaipe, tais como folhas, fezes bovinas, arbustos, musgo, ossos, casca de lagosta, mel de abelha, dentre outros. O estudo concluiu que na comparação entre os dados das diferentes regiões de elevada radioatividade natural, a contaminação radioativa interna em plantas e animais parecia ser relativamente irrelevante, ao menos até aquele momento, diferentemente da irradiação externa (PENNA FRANCA e FREITAS, 1963, p. 1063). Como já demonstrado acima, apesar dos estudos preliminares de 1963 desconsiderarem a importância das doses internas de irradiação nas amostras estudadas, é necessário pontuar que esse tipo de dose se mostraria de difícil estudo em artigos posteriores.

3.2.3 Sistemas experimentais no programa de áreas de elevada radioatividade natural

Em 1968, as conclusões da tese de Penna Franca refletiam o estágio de algumas das investigações em curso. Um dos pontos, que se relaciona com o artigo da *Nature* de 1963, é a conclusão de que de fato a ingestão de radionuclídeos naturais pelas populações de Guarapari e Meaipe era insignificante, “praticamente dentro dos limites em regiões normais” (PENNA FRANCA, 1968, p. 166), sendo assim considerado inclusive em alimentos e na incorporação na flora e fauna. As medidas indiretas de radiação, como as cargas corporais de rádio

absorvido por vias metabólicas, também não revelaram resultados elevados se comparados com os grupos controle. Essas conclusões, entretanto, foram baseadas em análises de dentes e placentas. Assim, nas regiões de Guarapari e Meaipe, apenas a contaminação por poeiras radioativas e gases tais como o torônio foi considerada significativa, com previsões de novos estudos pelos físicos da PUC.

Por outro lado, a tese de Penna Franca apresentava um outro cenário para as regiões de Araxá e Tapira, nas quais os alimentos produzidos em áreas específicas possuíam uma carga radioativa muito mais elevada do que alimentos cultivados em regiões consideradas normais. Entretanto, coadunando com outros dados a respeito da contaminação por irradiação interna, a análise da dieta da população mostrou que esse tipo de problema tinha uma dimensão menor do que a inicialmente prevista:

Somente uma pequena parte da população consome dietas com nível de radioatividade 5 ou mais vezes superior à média em regiões consideradas normais. De uma população inicial de 1.670 pessoas residindo nas áreas de anomalias radioativas, apenas 196 indivíduos foram selecionados para investigações mais pormenorizadas. O maior incremento da ingestão radioativa em comparação com áreas de controle, foi de apenas 20 vezes (PENNA FRANCA, 1968, p. 167).

Apesar dessas conclusões, as estimativas das doses de irradiação interna ainda eram consideradas bastante preliminares, servindo, na verdade, apenas como marcadores dos possíveis efeitos radiobiológicos observáveis na população. A principal aposta de Penna Franca foi nos dados que poderiam ser revelados pelos estudos citogenéticos. Ou seja, se os métodos indiretos (dentes, excreta, placenta) não eram suficientes para responder às perguntas que estavam sendo colocadas, como a que buscava entender a carga corporal total de radiação naqueles indivíduos, a determinação da frequência de aberrações cromossômicas poderia ser uma das únicas e últimas alternativas para se entender o impacto biológico daquela exposição crônica à radiação. É, em grande parte, por isso que houve um maior investimento na citogenética dentro do projeto, com ambições de comparar cromossomos das regiões de Araxá-Tapira com Guarapari-Meaipe, e com grupos controle. Nesse sentido, os complexos métodos de detecção e medição da radiação, seja em alimentos, na biota ou em corpos humanos e suas partes, tanto investigando gases e poeiras radioativas quanto radioisótopos naturais, não deram conta, naquele momento, de estabelecer de forma efetiva e precisa os parâmetros necessários para se lidar com o problema, respondendo aos objetivos iniciais do programa.

Entretanto, apesar dessas considerações em parte inconclusivas, o projeto de pesquisa continuou sendo desenvolvido e as experiências e dados gerados nos anos iniciais propiciaram

não só *expertise* para grande parte daqueles cientistas, incluindo Penna Franca, como também forneceram subsídios para que outras pesquisas pudessem dar continuidade às questões levantadas. Constatou-se, com os instrumentos e técnicas disponíveis à época, a existência da exposição constante à radiação, mas não se observou números alarmantes de doses de radiação na população, em alimentos ou mesmo na biota, se comparado com grupos controle ou outras regiões:

As populações das duas regiões selecionadas estão adequadamente caracterizadas e classificadas de modo a permitir investigações radioepidemiológicas, em caso de avanços científicos e tecnológicos levarem, num futuro próximo, a descoberta de novos métodos que possibilitem este tipo de estudo em pequenos grupos humanos, expostos a níveis de radiação como os encontrados naquelas áreas (PENNA FRANCA, 1968, p. 168).

A citação acima, que fecha o texto da tese de Penna Franca (1968), transmite uma lógica científica bastante interessante, que permite refletir sobre como se operacionalizaram os chamados sistemas experimentais na construção do conhecimento científico. De acordo com Rheinberger (1992), um sistema experimental pode ser definido como a menor unidade funcional da pesquisa, “projetado para dar respostas a perguntas que ainda não somos capazes de fazer claramente” (RHEINBERGER, 1992a, p. 309). Na visão de Rheinberger, diferente da tradicional ideia de que os experimentos são instâncias singulares criadas para corroborar ou refutar teorias previamente estabelecidas, a existência de um arranjo experimental projetado a partir da constituição de um sistema de experimentos parece mais plausível, arranjo esse que tem como objetivo produzir conhecimento e respostas para perguntas que nem sempre existem *a priori* (RHEINBERGER, 1992a). O sistema experimental materializa perguntas, gerando tanto fenômenos materiais como conceitos que são incorporados. Desse modo, ele é composto por duas estruturas funcionais, os objetos tecnológicos e os objetos científicos, sendo os primeiros a representação material do inquérito epistemológico, enquanto os objetos científicos se caracterizam enquanto “coisas epistêmicas”, o objeto de fato de investigação.

No caso de Penna Franca e do programa de áreas de elevada radioatividade natural, o sistema experimental já estava montado, com as regiões e as populações classificadas e caracterizadas, além de dados preliminares, tudo isso aguardando, como o próprio Penna Franca parece entender, o surgimento de avanços tecnológicos, científicos e novos métodos de investigação. Ou seja, nesse sistema experimental estabelecido através do intenso uso de radioisótopos na ciência do pós-guerra, dos debates internacionais sobre a precipitação

radioativa e a contaminação ambiental, e estruturado a partir de métodos biofísicos e químicos complexos, após o final da tese de Penna Franca, tanto o objeto científico quanto os objetos tecnológicos pareciam mudar de posição dentro do sistema que, ainda existindo, não revelava aos cientistas do projeto quais perguntas estariam para serem feitas. De acordo com Rheinberger (1992a), os objetos tecnológicos determinam a representação da chamada ‘coisa epistêmica’, e os objetos científicos estabilizados dentro do sistema podem transformar-se em “momentos constitutivos do arranjo experimental” (RHEINBERGER, 1992a, p. 311). Assim, dentro do sistema experimental do projeto de radioatividade natural, por exemplo, os objetos tecnológicos poderiam ser os radioisótopos e outros instrumentos para medição como os dosímetros, representando a coisa epistêmica, enquanto que o objeto científico seria os efeitos biológicos da contaminação por exposição à radiação crônica, que ainda que permanecesse como objeto científico no sistema experimental, constituía, a partir dos deslocamentos desses objetos nos experimentos e resultados, outros arranjos experimentais, como a incorporação de aberrações cromossômicas servindo de marcadores para os estudos.

Essa digressão teórica é importante, ainda que na introdução e em outros momentos desta tese os sistemas experimentais, enquanto categoria teórica, apareçam e já tenham ganhado definição. O fato é que os sistemas experimentais demarcam bem as experiências feitas por cientistas como Penna Franca e seu grupo, que, diante do domínio de certos métodos e conclusões parciais sobre os objetos científicos investigados, constituíram alguns dos primeiros estudos radioecológicos brasileiros. Ou seja, através da prática experimental com instrumentos, técnicas e coisas epistêmicas, estabeleceram sistemas experimentais que forjaram áreas novas do conhecimento, sem com isso instaurar previamente disciplinas científicas ou circunscrever os experimentos a áreas específicas. Os trabalhos foram guiados por incentivos “extramuros”, e apesar dos resultados parciais, engendraram novos sistemas experimentais, ou como chama Rheinberger (1992a), máquinas geradoras de futuro.

3.2.4 As últimas etapas do programa e o encerramento da cooperação com a New York University

Em 1975, Penna Franca organizou, juntamente com o padre Thomas Cullen o evento *International Symposium on Areas of High Natural Radioactivity*, ocorrido em Poço de Caldas, Minas Gerais. Nesse evento, foi publicado um artigo de revisão das investigações, com foco nos estudos sobre a exposição interna e suas dificuldades, e a pesquisa citogenética no projeto. Penna Franca fez uma apresentação panorâmica do programa de pesquisa, desde o

seu início até o estágio no qual ele se encerrou. O cientista descreveu as fases iniciais do programa como uma progressão por tentativa e erro, mas que, apesar de todas as dificuldades, acumulou dados significativos e a possibilidade de sugerir algumas conclusões (PENNA FRANCA, 1975). Algumas dessas dificuldades estavam relacionadas aos principais aspectos do trabalho, quais sejam, os métodos de medição de radiação. Como já dito em outro momento, os métodos de espectrometria gama de Ra^{226} e Ra^{228} não foram de fato considerados para a pesquisa, uma vez que o alto custo não compensava o investimento para o programa. Desse modo, para as análises da exposição à irradiação interna, uma série de outros métodos deveriam ser testados. Embora já existissem métodos para estimar as cargas corporais de rádio através da concentração de radônio e torônio, complicações para interpretar os dados obtidos atrapalhavam a confiança no método, como, por exemplo, incertezas quanto à distribuição de rádio no corpo ou a eficiência de exalação do radônio (PENNA FRANCA, 1975). Outros métodos de medição, como a análise de rádio em ossos humanos, relatada na época como um método eficaz, também não podiam ser utilizados, devido ao considerado “estado primitivo da prática médica local e aos preconceitos contra a autópsia” (PENNA FRANCA, 1975, p. 44), que impediam a obtenção de amostras. Devido a essas características dos materiais possíveis para se detectar adequadamente as cargas corporais de radiação, e baseados em estudos que indicavam outras alternativas, foram cogitados para a análise amostras de dentes, tecidos moles de fetos e adultos, placentas, além da excreta e dos alimentos. As considerações de Penna Franca acerca dessas análises não diferem das conclusões de sua tese, de 1968.

Em relação aos estudos citogenéticos, as aberrações cromossômicas somáticas em linfócitos periféricos foram selecionadas como um marcador biológico importante, em decorrência das baixas doses identificadas nas análises da exposição interna e externa à radiação. Um trabalho completo de levantamento epidemiológico, entretanto, não foi feito, “devido à falta de prática médica local confiável e registros vitais. Pesquisas prospectivas foram consideradas impraticáveis e além da nossa capacidade” (PENNA FRANCA, 1975, p. 53). A pesquisa citogenética foi feita sempre em paralelo aos trabalhos radiométricos e radioquímicos do programa. Desde o início, os resultados da investigação mostraram uma “tendência a maiores taxas de aberrações cromossômicas, principalmente do tipo duas quebras, na população de Guarapari, em comparação aos controles” (PENNA FRANCA, 1975, p. 53). O mesmo não foi observado em Araxá-Tapira. Devido a esses dados, estudos focando a região das areias monazíticas, em Guarapari, foram levados adiante pelo grupo e publicados nesse mesmo ano (BARCINSKI et al, 1975). Do mesmo modo, visando comparar

os resultados obtidos, estudos foram feitos com trabalhadores de indústrias de minérios da região (RIBEIRO et al, 1975). Esses trabalhos, estabeleceram a hipótese de que a população de Guarapari contaminava-se por radionuclídeos de meia-vida curta, dado que os testes com radionuclídeos de longa duração deram resultados negativos. Eles apontaram para os dados citogenéticos como um excelente indicador dos efeitos biológicos da exposição crônica nos níveis baixos de irradiação interna. Nesse caso, as observadas quebras cromossômicas¹⁸⁴ foram indicativas do efeito da radiação natural naquela população, e esses dados, por sua vez, foram comparados com os níveis de radiação aos quais estavam expostos os trabalhadores das indústrias de monazita e tório da região (PENNA FRANCA, 1975; BARCINSKI et al, 1975; RIBEIRO et al, 1975). O trabalho comandado por Marcello Barcinski, e publicado em 1975 na *American Journal of Human Genetics*, trouxe conclusões a respeito do nível de exposição da população de Guarapari à radiação, assim como as quebras cromossômicas e o método utilizado, que previa um tempo maior de cultivo das células para análise:

A população de Guarapari está exposta a um nível médio de radiação externa acumulada cerca de seis vezes o normal e a uma possível contaminação interna por radioatividade natural do ar através dos tratos respiratório e digestivo. O aumento do número total de quebras cromossômicas na população de Guarapari e a dependência dessa variável (individualmente) com o local de residência do grupo de estudo pode ser interpretado como efeito da radiação natural presente na área de areia monazítica. Essa interpretação é reforçada por nossa escolha de um sistema de cultura de 72 horas em vez de um sistema de 48 horas, o que deve significar que algumas das aberrações instáveis seriam perdidas na primeira divisão pós-irradiação (BARCINSKI et al, 1975, p. 804).

Diferentemente de investigações ocorridas na Áustria, Índia e China, onde foram feitos levantamentos epidemiológicos com o objetivo de identificar maior incidência de câncer em regiões de elevada radioatividade natural, no Brasil, apenas o uso das aberrações cromossômicas foi considerado, como o “indicador mais sensível de possíveis efeitos biológicos por exposição crônica às radiações” (PENNA FRANCA, 1992, p. 62). Em 1977, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), criada em 1928, estabeleceu em sua publicação ICRP 26 uma série de detalhamentos importantes relacionados à justificação, otimização e limitação das doses de radiação individuais. Também definiu que, quanto maior a dose, maior o risco de ocorrência de câncer, mesmo sem o conhecimento da dose mínima que poderia gerar tal doença (DOROW e MEDEIROS, 2019, p. 36). O documento apresenta uma série de evidências correlacionando o risco de câncer em tecidos como os das mamas,

¹⁸⁴ As quebras de cromossomos, causadas pela radiação, provocam mutações e aberrações nessas moléculas.

tireoide, do tecido linfóide pulmonar, pulmão, osso, medula óssea vermelha e gônadas, à exposição à radiação, estimando a frequência da doença induzida por doses consideradas moderadas de radiação. Além disso:

Existem outros tecidos (por exemplo, estômago, intestino grosso inferior, glândulas salivares e provavelmente fígado) para os quais há evidências de que a radiação também é cancerígena em doses moderadas. No entanto, para esses tecidos, nenhuma estimativa ainda pode ser feita do fator de risco, embora seja provável que seja baixo. Existem outros tecidos, como músculo e tecido adiposo, para os quais poucas evidências foram obtidas de qualquer indução tumoral em doses moderadas (ICRP PUBLICATION 26, 1977, p. 12).

Taxas de risco fatal de câncer por radiação também foram estabelecidas, e aceitas pela comunidade internacional, sendo adotadas também pela UNSCEAR. A pesquisa nas regiões brasileiras de elevada radioatividade natural não autorizava conclusões expressivas sobre a incidência de câncer, tanto pelo risco pequeno de câncer fatal, por exemplo, em Guarapari-Meiape, quanto sobre a falta das condições ideais para se obter dados relevantes sobre a doença naquela população:

Segundo a estimativa que me foi apresentada pelo Dr. Edward Pochin, na época representante do Reino Unido na UNSCEAR, seria necessário dispor de uma população no local de 200.000 pessoas, submetidas a rígido acompanhamento clínico, por vinte anos, para que se pudesse obter um resultado estatisticamente significativo, positivo ou negativo, sobre incremento de câncer na região. Tratava-se, portanto, de uma tarefa totalmente inviável, e por isso não realizada em nenhum país (PENNA FRANCA, 1992, p. 62-63).

Outra dimensão importante do programa de pesquisa, distante da discussão acerca das populações humanas de Guarapari-Meiape e Araxá-Tapira mas, ao mesmo tempo, correlacionada do ponto de vista ecológico, foram os estudos de flora e fauna. Esses estudos compreenderam sobretudo a região do Morro do Ferro, em Minas Gerais. Em relação à flora da região, os estudos tinham como metodologia a comparação da variabilidade das espécies com áreas próximas em que não ocorria radioatividade natural elevada. Um dos objetivos era verificar a possibilidade do declínio de espécies que fossem mais sensíveis às doses radioativas por períodos maiores. A flora do Morro do Ferro foi considerada “esparsa e raquítica” e essas características eram explicadas hipoteticamente pela quantidade de minério afetando o solo. Existiam dificuldades nos trabalhos comparativos, pois era praticamente impossível encontrar uma área para controle que tivesse as mesmas características de solo, mas sem a presença de radioatividade (PENNA FRANCA, 1992).

Uma das técnicas utilizadas no estudo das plantas da região, utilizada para verificar a

presença de íons radioativos, sobretudo de rádio, nas folhas e em caules, foi a de autorradiografia com filmes de raios-X. Artigo publicado ainda em 1965 mostra a radiografia de uma *Miconia theaezans* (figura 22) coletada na região e o nível de absorção de radionuclídeos pela planta (PENNA FRANCA et al, 1965). A técnica de autorradiografia indicou a ocorrência de uma distribuição uniforme do rádio em todos os tecidos das plantas. Entretanto, aquelas da família das melastomatáceas, como a *Miconia theaezans*, apresentavam as maiores concentrações de rádio. Em relação aos estudos de fauna, o trabalho de Robert Drew, da New York University utilizando microdosímetros termoluminescentes em roedores chegou à conclusão de que esses animais estavam expostos a doses extremamente elevadas de radiação (DREW e EISENBUD, 1970).¹⁸⁵ Outros animais também foram estudados, como espécies de escorpiões, animal de importância médica devido a seu veneno neurotóxico.

Estudo citogenético com escorpiões foi feito por Catarina Takahashi, do Departamento de Genética da Faculdade de Ciências e Letras de Ribeirão Preto (SP), que chegou à conclusão de que, se comparados a indivíduos de áreas controles, os animais da região do Morro do Ferro possuíam uma diferença significativa no número de células com quebras cromossômicas observadas em espermátócitos. No estudo em questão, Takahashi coletou escorpiões machos que habitavam uma área com níveis de radiação que chegavam a 1,5 mR/h. A cientista observou, entretanto, que embora ocorressem as quebras cromossômicas, esses animais não tinham perda de material genético (TAKAHASHI, 1976). Se os roedores foram escolhidos para o estudo pelo fato de habitarem túneis subterrâneos com a presença de gases radioativos, Takahashi justifica a escolha dos escorpiões para o seu estudo citogenético pelo fato de esses animais serem encontrados em grande quantidade, frequência e por se moverem lentamente. “Sua baixa mobilidade deve diminuir os efeitos de migração e, portanto, aumentar a correlação entre a radiação do local onde os escorpiões foram encontrados e a quebra cromossômica” (TAKAHASHI, 1976, p. 372). Diferentemente do caso das plantas, no qual era praticamente impossível encontrar condições de solo semelhantes para estabelecer o controle do estudo, as condições de áreas-controle para os escorpiões eram as mesmas, diferindo apenas na presença de radioatividade. Apesar de dificuldades no estudo de Takahashi, tais como a impossibilidade de determinação da dose total de radioatividade presente em escorpiões - que seria relacionada à frequência dos danos

¹⁸⁵ Alguns pulmões dos roedores estudados por Drew foram enviados para a New York University com o objetivo de se empreenderem investigações patológicas e observar possíveis tumores malignos causados pela exposição à radiação. Os resultados desses experimentos, entretanto, foram todos negativos (PENNA FRANCA, 1992).

cromossômicos -, devido a inexistência de técnicas para auferir a idade desses animais, algumas conclusões foram possíveis, inclusive pela comparação com os estudos dos roedores feitos por Robert Drew:

Comparando escorpiões e roedores, é possível que os primeiros recebam em média uma dose maior de radiação, pois vivem em contato próximo com a superfície e tendem a ficar mais tempo no mesmo local (embaixo de pedras), aumentando assim as exposições à radiação. Em conclusão, *T. bahiensis* exibe uma frequência elevada de dano cromossômico onde recebe uma exposição constante à radiação variando de 0,8 até 1,5 mR/h. O alto nível de radiação natural ou as baixas doses de irradiação crônica contribuem claramente para o aumento da frequência de aberrações cromossômicas (TAKAHASHI, 1976, p. 380).

Além de estudos visando a contaminação radioativa em animais e plantas da região, a infraestrutura criada pelo projeto foi utilizada por outros pesquisadores com trabalhos independentes em desenvolvimento. Esse desdobramento de um projeto que teve como foco o estudo das regiões de elevada radioatividade natural e a contaminação radioativa em populações humanas e não-humanas para algo que extrapola esses objetivos reflete a dimensão tomada pelo programa. Na história dos usos e efeitos dos radioisótopos na ciência, esse movimento de sair de um objetivo estritamente relacionado ao tema da radiação e da energia nuclear e atingir novos ramos da pesquisa científica ocorreu em vários momentos, como tento demonstrar nesta tese. Os radioisótopos impulsionaram uma série de agendas de pesquisa, que nem sempre permaneceram restritas ao universo de discussões sobre radiação. Em seu memorial, Penna Franca relata a presença de vários pesquisadores não vinculados ao projeto que se deslocaram para as regiões do estudo e, aproveitando levantamentos já realizados e a infraestrutura, conduziram suas próprias pesquisas individuais (PENNA FRANCA, 1992). Nomes conhecidos da biologia brasileira do século XX, como o entomologista Ângelo Machado e os geneticistas Antonio Rodrigues Cordeiro e Warwick Kerr passaram pela região desenvolvendo seus estudos.

Em 1975, o projeto em conjunto com a New York University foi finalmente encerrado, após mais de uma década. As pesquisas na região, entretanto, foram mantidas, com apoio financeiro sobretudo do CNPq e da CNEN. Muitas das atividades executadas ao longo do projeto foram reportadas e submetidas anualmente em extensos documentos intitulados *Radioactivity Studies* pelo Institute of Environmental Medicine à United States Atomic Energy Commission (USAEC), uma das agências financiadoras do programa. Nos anos de 1967 e 1968, por exemplo, os estudos com os roedores do Morro do Ferro foram reportados em detalhados relatórios assinados por Robert Drew e Merrill Eisenbud, com dados sobre os

estudos da inalação de torônio em tocas simuladas de roedores, doses de radiação ionizante recebida por roedores no Morro do Ferro, além de investigações de campo de radioatividade ambiental na região (ANNUAL REPORT..., 1967, 1968).

A parceria entre o Laboratório de Radioisótopos comandado por Eduardo Penna Franca e o grupo de Merrill Eisenbud rendeu frutos importantes. Ela promoveu o intercâmbio de pesquisadores de ambas as instituições, tendo cientistas do Instituto de Biofísica a oportunidade de estagiar na New York University, como foi o caso de Marlene Teitakowski, Nazyo Lobão, Carlos Costa Ribeiro e Wolfgang Pfeiffer, além do contato com pesquisadores de outras instituições estadunidenses que fomentaram trocas de técnicas, instrumentos, conhecimentos e “queima de etapas”¹⁸⁶, na visão de Penna Franca (PENNA FRANCA, 1992, p. 65). O saldo, não só científico, mas financeiro, dessa cooperação, foi fundamental para a continuidade e consistência do grupo de pesquisadores brasileiros que, a partir daquele momento, adquiriu *expertise* em assuntos de radioecologia:

Os recursos financeiros liberados regularmente, em dólares, permitiram a aquisição de novos equipamentos para o laboratório e a manutenção do projeto: trabalhos de campo, aluguel de casa em Poços de Caldas, aquisição de veículo, viagens ao exterior e material de consumo, sem solução de continuidade e sem nenhuma burocracia (PENNA FRANCA, 1992, p. 65).

A experiência resultante do programa de pesquisa culminou quase que imediatamente na participação dos membros do laboratório em demandas emergentes relacionadas a temas ambientais, monitoração radiológica e assuntos diversos de radioecologia. Esse foi o caso do próprio Penna Franca, que foi convidado a participar dos trabalhos de planejamento e monitoração ambiental em Angra dos Reis, no início da década de 1970, quando o governo brasileiro adquiriu da Alemanha um reator nuclear de água pressurizada da marca Westinghouse. Do mesmo modo, Penna Franca também foi consultado para o planejamento de uma mina de urânio no planalto de Poços de Caldas, local no qual as pesquisas radioecológicas retornariam na década de 1980, novamente em parceria com os estadunidenses.

3.3 “Só então passei a me considerar um especialista no setor”: Angra dos Reis, monitoração ambiental e os estudos radioecológicos

¹⁸⁶ Com essa expressão, Penna Franca se refere a uma noção de progresso científico linear, sendo as parcerias uma forma de avançar rapidamente alguns desafios científicos.

3.3.1 O Laboratório de Radioisótopos e o licenciamento ambiental de Angra 1

As etapas do licenciamento ambiental, necessário para a construção da usina nuclear de Angra dos Reis 1, foram de responsabilidade da empresa governamental Furnas Centrais Elétricas S. A. Com a coordenação de Eduardo Penna Franca, um grupo de pesquisadores do Laboratório de Radioisótopos e de outras instituições prestaria assessoria a Furnas entre os anos de 1974 e 1979, através da empresa subcontratada Biotec (PENNA FRANCA, 1992). Esse grupo ficou responsável por estudos e monitoramentos na área da proteção radiológica e ambiental. Nesse sentido, uma série de aspectos foram trabalhados pela equipe, incluindo os seguintes pontos: 1) taxas de exposição às radiações ambientais naturais e de *fallout* na área de influência da usina; 2) levantamento ambiental pré-operacional; 3) uso do solo e corpos d'água vizinhos à instalação; 4) programa de monitoramento radiológico ambiental da usina; 5) influência da carga térmica liberada no mar pelo efluente da usina; 6) identificação do grupo crítico da cadeia alimentar; 7) investigação sobre as condições socioeconômicas e demográficas da população da área de influência da usina (PENNA FRANCA, 1992, p. 67).

Os anos de experiência com o programa de pesquisas em Guarapari-Meaipe e Araxá-Tapira forneceram subsídios para que o grupo do Laboratório de Radioisótopos, incluindo Penna Franca, conseguisse realizar trabalhos de grande complexidade como a avaliação de risco ambiental de instalação de uma usina nuclear, constituído por processo rigoroso que segue estritamente regras e normas específicas. Foi apenas após esse trabalho exaustivo, complicado e de enorme responsabilidade que Penna Franca passou a se “considerar um especialista no setor” (PENNA FRANCA, 1992, p. 68). Como o processo histórico de construção das usinas nucleares brasileiras já foi devidamente abordado em outro momento desta tese, irei me deter exclusivamente ao papel que Penna Franca e seu grupo do Instituto de Biofísica tiveram nos trabalhos relacionados à Usina nas etapas pré-operacionais. Optei, entretanto, por diluir essa história entre o próximo tópico, a seguir, e o capítulo 4, no qual irei me debruçar em detalhes sobre os trabalhos e a atuação, a partir dos anos 1980, do grupo de radioecólogos do Instituto de Biofísica, que transformou os estudos e as aplicações de radioisótopos na pesquisa biológica num programa de investigação da operação de ecossistemas, atingindo outros objetos, problemáticas e agendas de pesquisa.

Após a decisão do governo brasileiro em construir na região sudeste do Brasil sua primeira usina nuclear no início da década de 1970, a empresa FURNAS submeteu à CNEN um relatório sobre a escolha do local no qual o empreendimento iria ocorrer. Os chamados ‘estudos ambientais’, compreendendo algumas áreas tais como geofísica, geologia,

oceanografia, micrometeorologia, sismologia, biologia marinha e, é claro, radioecologia, avaliaram a viabilidade dos locais elencados, sendo a praia de Itaorna, em Angra dos Reis-RJ, a escolhida, e submetida formalmente como a principal opção, em fevereiro de 1970 (KIRCHER e CRUZ, 1989). A autorização da CNEN para a construção de Angra-1 foi concedida em julho de 1970. Na época, o Brasil ainda não contava com nenhuma regulamentação para o licenciamento para a construção da usina nuclear. Em fevereiro de 1972, a CNEN emitiu uma resolução na qual determinava que os padrões para aspectos específicos da construção e operação da usina deveriam seguir os dos “países industrializados” (VOLPI, SILVA e CUNHA, 1980, p. 73). Os critérios adotados para o licenciamento seguiram os padrões estadunidenses. O Relatório Preliminar de Análise de Segurança (PSAR), elaborado pela Westinghouse, empresa vencedora da licitação internacional, que ficaria responsável, dentre outras coisas, pelo fornecimento dos equipamentos nucleares, foi questionado pela CNEN em pelo menos 1500 pontos, o que exigiu grande esforço de resposta por parte de FURNAS e da própria Westinghouse. Após autorizações parciais e algumas concessões, entretanto, feitas para adiantar o processo, a CNEN emitiu um relatório de avaliação de análise de segurança, o que constituiu a base da licença da construção da usina. A licença para a obra foi finalmente concedida pela CNEN em maio de 1974, e FURNAS passou a treinar operadores, com um programa de capacitação do pessoal para a operação segura da usina e para os exames de licenciamento. Iniciado em 1971, o programa recrutou trabalhadores qualificados que tiveram experiência anterior na Usina de Energia Fóssil de Santa Cruz. Esses trabalhadores orientariam os demais colaboradores sem experiência (VOLPI, SILVA e CUNHA, 1980).

Como consta no relatório anual de 1974 da CNEN, o levantamento radiométrico ambiental da região no qual a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAL), ou Angra 1, seria instalada, foi realizado pelo Instituto de Biofísica da UFRJ, em convênio com a CNEN, “visando futuramente ao controle ambiental da região onde se situa a Central” (RELATÓRIO ANUAL, 1974, p. 7). Esse ano foi o de concessão do licenciamento da usina e é quando Penna Franca relata em seu memorial ter começado a coordenação do grupo de pesquisadores que prestaria assessoria à FURNAS. Mas ele menciona no mesmo documento que acompanhou o processo desde o início: “Quando se definiu que o reator nuclear seria localizado na Praia de Itaorna, nas vizinhanças de Angra dos Reis, no fim de semana seguinte eu aluguei um barco de pescador e desembarquei naquela praia para uma primeira inspeção” (PENNA FRANCA, 1992, p. 66).

Por se tratar de algo inédito no Brasil, os estudos ambientais que baseariam parte do

licenciamento de Angra 1, ao mesmo tempo em que foram abrangentes e complexos, não seguiram o formalismo que, anos depois, se mostraria necessário para um empreendimento daquela envergadura (KIRCHER e CRUZ, 1989). Entretanto, os estudos realizados pelo grupo de Penna Franca iam além de uma descrição completa das condições do local, apontando problemas que deveriam ser investigados e resolvidos, tanto para conseguir o licenciamento do projeto, quanto para manter a continuidade da segurança ambiental necessária. Esses problemas foram investigados na fase pré e pós-operacional, como veremos pela análise de diversos trabalhos, incluindo teses e dissertações orientadas por Penna Franca, as quais mantiveram por anos estudos radioecológicos na região.

A aprovação preliminar e parcial da CNEN, emitida em 1970 para o início das obras continha uma série de recomendações a FURNAS baseadas nos estudos ambientais já em curso. Elas preconizavam um aprofundamento das investigações a respeito das características ambientais da região, em especial estudos de meteorologia e da fauna e flora marinha. As investigações executadas na fase pré-operacional consideraram diferentes dimensões do amplo espectro de etapas do projeto e do licenciamento. Embora já tenha mencionado aqui as áreas que compunham esse grande campo do que se entendia, dentro do processo, como ‘estudos ambientais’, detalharei a seguir alguns aspectos de cada área investigada, focando nas pesquisas levadas a cabo pelo grupo do Instituto de Biofísica.

3.3.2 Monitoração ambiental e estudos radioecológicos na usina nuclear de Angra dos Reis

Os estudos pré-operacionais foram realizados por diferentes instituições e grupos de pesquisa. O levantamento socioeconômico da região, concluído em 1971 pela Secretaria de Serviços Sociais do Estado do Rio de Janeiro, investigou a estrutura demográfica e social de três distritos de Angra dos Reis, as condições sanitárias e culturais, a utilização da terra e a água pela população e a estrutura econômica. Já a análise sísmológica e geológica foi concluída em 1972, com estudo desenvolvido pela Weston Geophysical Research (Inc.), dos Estados Unidos. Esses estudos objetivaram a compreensão da existência de correlação dos epicentros dos terremotos com a tectônica e geologia da região, considerando possíveis riscos para a usina. E em meio a estudos do programa de meteorologia, iniciado pela NUS Corporation, também dos Estados Unidos, e estudos sobre a biologia marinha da região, feitos pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR), o Instituto de Biofísica atuou em várias etapas e processos (KIRCHER e CRUZ, 1989).

No Levantamento Inicial das Medidas de Exposição por Radiação Natural, um dos projetos mais importantes para a condução dos trabalhos, os cientistas coordenados por Penna Franca inauguraram um amplo programa radioecológico em janeiro de 1974, em novo convênio com a New York University e a USAEC, no qual se buscou determinar a radiação natural e artificial direta na região da usina e vizinhanças. Essas pesquisas utilizaram em vários aspectos a *expertise* adquirida nos estudos iniciados na década de 1960 nas áreas de elevada radioatividade natural brasileiras. Além das parcerias com cientistas e agências estadunidenses que já existiram anteriormente, os próprios métodos de trabalho, como o uso de câmaras de ionização e espectrômetros de campo para estabelecer os radionuclídeos existentes na radiação direta, surgiram e foram aprimorados a partir dessa experiência anterior. Outros trabalhos, como a caracterização dos sedimentos marinhos na área de dispersão do efluente de Angra 1 e a simulação a partir de modelos matemáticos do comportamento da descarga d'água da usina, também foram desenvolvidos pelo Instituto de Biofísica.

Em setembro de 1976, o Instituto de Biofísica e a empresa Biotec identificaram nos levantamentos feitos até aquele momento radionuclídeos que eram lançados no ambiente durante a operação da usina e que poderiam provocar as maiores taxas de doses de radiação na população do entorno da usina. Além disso, os estudos determinaram as principais vias pelas quais esses radionuclídeos poderiam afetar os seres humanos e estimaram as quantidades máximas que o ambiente marinho poderia suportar. O subsequente programa de monitoração radiológica ambiental pré-operacional deu continuidade aos estudos radioecológicos preliminares. Nesse caso, atuaram mais ativamente técnicos do Laboratório de Radioecologia criado em FURNAS. A necessidade de FURNAS em criar um Laboratório de Radioecologia, especialmente para esses trabalhos, reflete, como afirma Kircher e Cruz (1989), a falta de instituições e grupos preparados para esse tipo de serviço, apesar dos esforços do Instituto de Biofísica. Assim, nenhuma instituição seria capaz de atender às necessidades do programa que, através de seus técnicos, analisou a radioatividade de amostras bióticas e abióticas da área de influência da usina:

Foram analisadas sistematicamente amostras de peixe, algas, leite, sedimentos marinhos, amostras de ar, etc., bem como medidas de radiação direta com câmaras de ionização de alta sensibilidade e com dosímetros termoluminescentes [...] Os resultados do programa foram submetidos à Comissão Nacional de Energia Nuclear [CNEN] que, através do seu Instituto de Radioproteção e Dosimetria [IRD], conduziu um programa paralelo que permitiu a fiscalização dos resultados (KIRCHER e CRUZ, 1989, p. 3).

A criação do ‘Laboratório de Radioecologia’ de FURNAS não foi uma exceção dentro desse processo. No caso dos estudos da biologia marinha da região, que foram atualizados após 1971, com estudos coordenados pelo Instituto de Biologia da UFRJ sobre a ictiofauna, plâncton, bentos e parâmetros abióticos, FURNAS também resolveu montar sua própria equipe de biólogos “que se encarregariam de participar deste projeto e numa fase posterior continuar conduzindo autonomamente o programa durante a fase de operação da usina” (KIRCHER e CRUZ, 1989, p. 3). FURNAS não tinha interesse em depender de modo permanente de grupos de pesquisa externos à empresa, embora isso tenha sido fundamental não só na fase pré-operacional. A empresa se valeu da experiência, ainda que por vezes reduzida, de grupos como o dos cientistas do Laboratório de Radioisótopos dirigido por Penna Franca, além de outros, para montar a estrutura necessária para o funcionamento da usina nuclear.

Após a entrega do Relatório Final de Análise de Segurança de FURNAS em setembro de 1981 para liberar a licença para a operação da usina pela CNEN, prosseguiram estudos para averiguar os efeitos de impacto ambiental na área, com mais uma série de avaliações de impactos meteorológicos, de biologia marinha, controle de efluentes sanitários, além do programa de monitoração ambiental radiológica, coordenado dessa vez pelos técnicos do Laboratório de Radioecologia de FURNAS (KIRCHER e CRUZ, 1989). Embora os trabalhos coordenados por Penna Franca em Angra dos Reis tenham durado apenas de 1974 a 1979, e dos estudos da fase operacional, após 1981, ficarem a cargo de outros grupos, pesquisadores ligados ao Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica continuaram trabalhando na região, como foi o caso de Jean Remy Davée Guimarães e Luiz Drude de Lacerda. Jovens pesquisadores à época, eles desenvolveram seus trabalhos acadêmicos a partir de estudos ambientais na usina, como a dissertação de mestrado de Guimarães, publicada em 1982, e intitulada ‘Acumulação por algas bentônicas de radionuclídeos críticos a serem lançados no efluente líquido da Central Nuclear de Angra dos Reis’. Esses trabalhos, bem como a configuração do grupo em questão e outros detalhes dessas agendas de pesquisa serão aprofundados no próximo capítulo.

Os principais trabalhos de monitoração assinados por pesquisadores do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) publicados como relatórios entre 1976 e 1977 envolveram levantamentos dos níveis de radiação ambiental externa por meio de detectores, como por exemplo os dosímetros termoluminescentes (TLD). No relatório de Armi W. da Nóbrega e José Luiz B. Leão, de agosto de 1976, os técnicos do IRD mencionam a instalação de dosímetros nos mesmos pontos descritos nos estudos dos cientistas do Instituto de Biofísica

da UFRJ, visando a comparação das medidas e alguns critérios já estabelecidos, tais como locais planos não rochosos, sem perturbação de movimentos de terra, fácil acesso e com baixa probabilidade de modificação de sua situação geográfica no futuro, com pontos de referências locais acessíveis para que as medidas pudessem ser refeitas posteriormente (NÓBREGA e LEÃO, 1977). Os relatórios de monitoração ambiental de Angra dos Reis do IRD descrevem detalhes de instrumentos e métodos utilizados na detecção de radiação, incluindo a calibração dos equipamentos. Eles se basearam em trabalhos e dados já coletados pelo Instituto de Biofísica. Isso evidencia a relação de cooperação que grupos de diferentes instituições possuíam no trabalho de monitoração ambiental da usina nuclear de Angra dos Reis a partir da década de 1970:

Conclui-se, em face do exposto, que as discrepâncias de aproximadamente 30% em relação aos resultados registrados pela câmara de ionização de alta pressão do Instituto de Biofísica podem ser explicadas em termos das variações das condições climáticas ao longo das várias estações do ano, do próprio intervalo de tempo decorrido entre os levantamentos realizados pelas diferentes equipes e dos procedimentos de calibração e medidas adotados pelos dois Institutos. Finalmente, as anomalias radioativas verificadas na praia e Mambucaba, devem-se à presença de depósitos de areia monazítica irregularmente distribuídos no local, fato este já divulgado no relatório da equipe do IB-UFRJ (NÓBREGA e LEÃO, 1977, p. 7).

As investigações paralelas conduzidas a mando da CNEN para fiscalização dos trabalhos de monitoração evidenciam o compartilhamento de técnicas, relatórios e dados coletados por diferentes grupos, como os especialistas do Laboratório de Radioecologia do IRD e o Instituto de Biofísica da UFRJ. Também mostram a circulação dos conhecimentos que se constituíam sobre a ecologia da região da usina, os parâmetros biológicos e outros marcadores, como também dos próprios cientistas, como o já citado Jean Remy Davée Guimarães, que além de fazer suas pesquisas acadêmicas no Instituto de Biofísica, foi funcionário do IRD a partir dos anos 1980.

Um dos aspectos mais interessantes do trabalho de monitoração ambiental na região da usina nuclear de Angra dos Reis, empreendido por cientistas do Instituto de Biofísica, do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e de outras instituições, foi o investimento massivo no estudo de organismos marinhos e suas interações com radionuclídeos. A região apresentava grande diversidade e abundância de macroalgas, que foram largamente pesquisadas. Também se tornaram objetos de pesquisa algumas espécies de peixes, anêmonas do mar, organismos incrustantes e moluscos. Organismos marinhos como esses possuem a capacidade de incorporar, de maneira seletiva, alguns radionuclídeos. Por conta disso, eles

foram utilizados como bioindicadores da poluição radioativa no ambiente próximo à usina. As algas bentônicas¹⁸⁷, por serem organismos de grande ocorrência na região, e terem a sua capacidade de bioacumulação de radionuclídeos já comprovada na época, foram escolhidas como objeto de estudo por vários pesquisadores.

Foram tema, por exemplo, da dissertação de mestrado defendida em 1982 por Jean Remy Davée Guimarães que, em sua extensa lista de agradecimentos, menciona as trocas com os pesquisadores do Laboratório de Radioecologia de FURNAS e do IRD, a importância das algas bentônicas da região de Angra dos Reis como possível via de entrada de radionuclídeos críticos do efluente líquido lançado por Angra 1 nas cadeias alimentares. Assim, entre os objetivos da pesquisa estava o de estimar a influência dessas algas na distribuição desses radionuclídeos e auferir a sua capacidade como bioindicadores, ou “monitores”, da contaminação radioativa daquele ambiente marinho específico (GUIMARÃES, 1982, p. xiii). Os experimentos em laboratório visaram acompanhar tanto a acumulação quanto a perda dos radionuclídeos céσιο-137 (¹³⁷Cs), cobalto-60 (⁶⁰Co) e iodo-125 (¹²⁵I) em três espécies de algas¹⁸⁸. Os fatores de bioacumulação a serem determinados nas algas seriam comparados com a retenção desses mesmos radionuclídeos em sedimentos arenosos do local. Na pesquisa de Guimarães (1982), os radioisótopos mencionados foram utilizados como traçadores nas algas. Verificou-se a acumulação mais rápida do cobalto e iodo, “atingindo o equilíbrio aparente em 3 a 7 dias, sendo lenta para Cs [césio], com equilíbrio atingido em duas a três semanas” (GUIMARÃES, 1982, p. xiv). Por outro lado, a perda ocorreu de modo inverso, sendo rápida para o céσιο e lenta para os outros dois radioisótopos.

O estudo de Guimarães também apontou diferenças no nível de bioacumulação dos radioisótopos entre as espécies de algas. Os resultados confirmavam as algas como potenciais vias de entrada importantes na cadeia alimentar para radionuclídeos de cobalto e iodo, sendo o céσιο em grau bem menor (GUIMARÃES, 1982). As algas escolhidas para o estudo, abundantes na região, retiveram quantidades significativas de radioisótopos de cobalto e iodo presentes em águas próximas aos costões, “competindo eficazmente com os sedimentos arenosos locais na sua retenção” (GUIMARÃES, 1982, p. xiv). O mestrado de Guimarães seguiu uma metodologia ‘exemplar’ de trabalho de ecologia de ecossistemas utilizando radioisótopos como traçadores para entender a ciclagem e o destino de radionuclídeos no ambiente e na biota. Esse sistema experimental que tomou os radioisótopos como objetos

¹⁸⁷ Os organismos bentônicos, ou bentos, são aqueles que vivem em associação com o fundo de ambientes aquáticos, seja de forma fixada (sédil) ou se deslocando (errante).

¹⁸⁸ *Sargassum filipendula*, *Padina vickersiae* e *Acanthophora spicifera*.

tecnológicos e a problemática da contaminação ambiental como objeto científico, representa bem a natureza das atividades empreendidas pelo grupo formado por Eduardo Penna Franca. Essa configuração de pesquisa, moldada pelos radioisótopos nos aspectos epistemológicos e de infraestrutura, não se limitou a pesquisas com radiação, mas se estendeu para estudos sobre metais pesados e outros contaminantes. Guimarães, por exemplo, foi um dos poucos a utilizar o radioisótopo céσιο-137 em suas pesquisas, seguindo com essa prática por várias décadas. Embora não tivessem como foco o estudo de radionuclídeos, cientistas como Luiz Drude de Lacerda e seu colaborador, Wolfgang Christian Pfeiffer, se encaixavam no mesmo sistema experimental, utilizando radioisótopos como traçadores.

O trabalho de Jean Remy Guimarães concluiu que resultados relativos aos fatores de bioacumulação, bem como a rápida acumulação dos radionuclídeos e as meias-vidas biológicas dos radioisótopos indicavam que as algas selecionadas para a pesquisa poderiam ser úteis como “monitores” da contaminação radioativa de cobalto e iodo na região da usina nuclear de Angra 1 devido à sua abundância, ampla distribuição e facilidade de coleta (GUIMARÃES, 1982, p. xv).

Outros trabalhos que como o de Guimarães focaram a biota marinha foram executados durante as atividades pré-operacionais da primeira unidade da usina nuclear de Angra dos Reis e a sua operação comercial. Angra 1 atingiu a sua criticalidade – o estado em que a cadeia de reações nucleares é autossustentável, com zero de reatividade - em março de 1982. Após isso, novos testes seriam feitos até o início efetivo das atividades de operação. No evento ‘Meeting on Radiological Protection and Dosimetry Proceedings’, promovido pelo IRD e ocorrido em Itaipava, no Rio de Janeiro, entre 21 e 26 de março de 1983, técnicos do IRD como Mendonça, Nóbrega, Vianna, Mulder e Almeida, juntamente com M. Winter, do centro de pesquisa nuclear de Karlsruhe (*Kernforschungszentrum Karlsruhe*), da Alemanha, apresentaram, na sessão de radioecologia, considerações sobre os trabalhos pré-operacionais de monitoração ambiental em Angra 1. De acordo com os autores do trabalho, a monitoração pré-operacional compreendeu medições dos níveis de radioatividade natural e artificial no ar, água, solo, relva, sedimentos, algas marinhas e alimentos típicos da região. Os dados de todas essas medições complementaram o programa de monitoração de FURNAS e deram base para que a CNEN pudesse avaliar no futuro os controles de emissão de efluentes do reator da usina. “Espera-se que qualquer impacto ambiental significativo decorrente da operação dos reatores nucleares no local seja revelado por meio do programa de monitoramento ambiental operacional do IRD em andamento” (MENDONÇA et al, 1983, p. 249). Nessa mesma sessão do evento, muitas pesquisas relacionavam-se ao mencionado monitoramento ambiental do

IRD, com foco nos estudos sobre a biota marinha, como irei explorar a seguir, mas também a trabalhos pré-operacionais na mina de urânio de Poço de Caldas-MG, inclusive com várias comunicações de pesquisa assinadas por Eduardo Penna Franca.

Assim como o trabalho de Jean Remy Guimarães (1982), também apresentado no evento já citado, De Azevedo et al (1983, p. 253) estudaram as algas bentônicas, em trabalho que buscou selecionar organismos bioindicadores para o estrôncio-90 na região do Saco do Piraquara de Fora. Como já mencionado, esses organismos eram selecionados pelas pesquisas sobre a biota local por possuírem capacidade comprovada de incorporar de maneira seletiva radionuclídeos. O que Guimarães (1982) chamou em sua dissertação de organismos “monitores”, o trabalho de De Azevedo et al (1983) tratou como ‘bioindicadores’ da poluição radioativa no meio ambiente. Mais importante do que o termo utilizado para se referir ao papel desses organismos na monitoração ambiental é a própria relevância dessas espécies nesse processo de investigação sobre a contaminação radioativa e de metais pesados. Junto de moluscos e peixes, esses organismos participaram das pesquisas sobre contaminação e ecossistemas empreendidas pelo grupo estudado nesta tese, não só durante o contexto de pesquisas em Angra dos Reis, mas posteriormente em outros sítios de investigação. Essa participação ativa pode ser interpretada através da ideia de agência dos não-humanos e agência animal na produção do conhecimento. Os critérios para escolhê-los como bioindicadores nos trabalhos de monitoração ambiental abrangeram a abundância dessas espécies no local, mas a própria natureza delas, como seres com capacidade de acumular os radionuclídeos, indicando de forma específica as taxas de concentração de determinados radioisótopos artificiais e metais pesados no ambiente. Nesse sentido, esses organismos não são meras ferramentas para a monitoração, pois a sua capacidade bioacumulativa não foi estabelecida nos sistemas experimentais exclusivamente pelos cientistas, mas desenvolvida pelos próprios organismos em sua história evolutiva.

Em seu artigo *From secret agents to interagency* (2013), a filósofa Vinciane Despret defende a ideia de que não há agência que não seja uma interagência, ou seja, sem uma relação de forças, sem dependências:

Ser um agente requer dependência de muitos outros seres; ser autônomo significa ser pluri-heterônomo. Somos todos agentes secretos, dependendo das circunstâncias, esperando por outro ser que nos dê novas agências, novas formas de nos tornarmos agentes, ativamente atuados, desfazendo e refazendo eus precários (através) uns dos outros (DESPRET, 2013, p. 44).

É nesse sentido que entendo a ideia de organismos como macroalgas, peixes e moluscos enquanto agentes na produção do conhecimento ecológico, ou na monitoração

ambiental de grandes empreendimentos nucleares, participando, assim como os radioisótopos, como ‘objetos tecnológicos’ nos sistemas experimentais elaborados pelos cientistas. Despret (2013) explora a ideia de “agentes-companheiros”, seres, ou coisas, que promovem interações por meio de seus encontros, conflitos, colaborações, atritos ou mesmo afinidades.

O estudo de De Azevedo et al (1983) selecionou as algas *Sargassum stenophyllum* e *Acanthophora spicifera* para a investigação sobre a acumulação do estrôncio-90. As *Sargassum* demonstraram de forma mais evidente a concentração do radioisótopo estudado, discriminando outros elementos como, por exemplo, o cálcio, o que as tornavam as melhores bioindicadoras para aquele radionuclídeo (DE AZEVEDO, 1983, p. 254).

A ideia de agência, não é entendida aqui como algo exatamente intencional, puramente racional ou premeditado, mas como algo resultante de associações entre diferentes elementos, nesse caso os cientistas, o estrôncio-90, o ácido gulurônico das algas, e a construção dos parâmetros biológicos que iriam orientar a própria operação de uma usina nuclear. Nessa perspectiva, abordarei mais alguns trabalhos ecológicos de monitoração ambiental que escolheram organismos marinhos como objetos de pesquisa, ou melhor, que incorporaram outros agentes nos seus sistemas experimentais, dando representação à “coisa epistêmica” (RHEINBERGER, 1992).

O trabalho apresentado por Guimarães na mesma sessão de radioecologia do evento do IRD de 1983, e que também foi assinado por Eduardo Penna Franca, seu orientador, foi um resumo da dissertação defendida no ano anterior, intitulado ‘Bioacumulação de radionuclídeos por algas marinhas da região de Angra dos Reis’. Já como funcionário do IRD, Guimarães reforçava em sua comunicação que os fatores de bioacumulação de céσιο (Cs) eram muito baixos para outros organismos marinhos, e que por isso as algas marinhas seriam úteis para a monitoração das liberações de radionuclídeos pela usina, por sua abundância, distribuição e facilidade de coleta (GUIMARÃES e PENNA FRANCA, 1983, p. 256).

De forma ainda bastante preliminar, Gouvea et al (1983), avaliaram os impactos térmicos e químicos em organismos incrustantes (organismos que formam crostas, como algas, fungos e líquens) na região do Saco do Piraquara de Fora, na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis-RJ, sendo 11 grupos de animais e 5 classes de algas. Os parâmetros utilizados na pesquisa, de ocorrência, biomassa e diversidade animal permitiam aos pesquisadores conhecer o estado dessas comunidades biológicas em relação a quaisquer possíveis alterações no ambiente. Na área exposta ao impacto da usina, placas foram colocadas e retiradas quinzenalmente, entre julho de 1980 e junho de 1981, e, através

de uma análise quantitativa, foi observada uma biomassa mais significativa entre os meses de setembro e dezembro na incrustação acumulada.

Diante do surgimento de estudos que passaram a utilizar largamente algas, plantas e microrganismos como bioindicadores, seja por serem termosensíveis, bioacumuladores de elementos estáveis ou de radionuclídeos, um investimento mais detalhado sobre a composição da macroflora marinha da região se fazia necessário. Ao menos era o que argumentavam Pedrini e Pereira (1983), ambos do IRD, em comunicação apresentada no supracitado evento: “[...] sem uma caracterização prévia dos organismos envolvidos e o pleno conhecimento do comportamento da composição local específica ao longo de um ano, nenhuma investigação ecológica ou radioecológica estará devidamente embasada” (PEDRINI e PEREIRA, 1983, p. 270). Para tanto, os cientistas fizeram um levantamento qualitativo das macroalgas e da flora bentônica da área de Saco do Piraquara de Fora, acompanhando a sazonalidade das espécies e indicando o grupo mais abundante. Amostragens foram realizadas todo mês, entre outubro de 1981 e setembro de 1982, em três diferentes pontos de coleta, com variações de características, como a proximidade à descarga líquida do reator. O estudo revelou 67 espécies de algas (PEDRINI e PEREIRA, 1983, p. 271).

Semelhante a esse trabalho de caracterização e composição da macroflora da região, a pesquisa de Maria Inês Vetere, também do IRD, estabeleceu um primeiro levantamento taxonômico da ictiofauna da região bentônica nas proximidades da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), visando conhecer previamente a composição taxonômica, abundância e distribuição espaço-temporal da comunidade de peixes em relação aos estudos radioecológicos da região. Ou seja, tal como argumentavam Pedrini e Pereira (1983) a respeito do conhecimento da macroflora, Vetere defendia a importância do conhecimento desses peixes para estabelecer cálculos realistas da dose radioativa, dado que o consumo do pescado local era a principal via possível de exposição interna aos radionuclídeos liberados pela usina nuclear. Além disso, de acordo com a cientista, os dados sobre os peixes poderiam ser “úteis no planejamento e execução de programas de monitoramento ambiental” (VETERE, 1983, p. 272).

O estudo de Vetere envolveu as enseadas de Piraquara de Fora e de Piraquara de Dentro, com coletas mensais de peixes entre o período de fevereiro a dezembro de 1982. Os peixes foram coletados com rede de arrasto em direções aleatórias e, aqueles capturados, foram identificados, sendo registrado o número de indivíduos por espécie. Foram registradas 89 espécies de peixes, sendo 57 em ambas as enseadas. A espécie mais abundante nas duas áreas de estudo e frequente durante o ano todo foi a carapeba (*Diapterus Rhombeus*), e as sete

espécies mais comuns, incluindo algumas de alto valor econômico, foram tabeladas por Vetere. Todas essas sete espécies estavam presentes na dieta da população local, e, sendo assim, foram “recomendadas para a realização de estudos radioecológicos e para amostragem como parte de programas de monitoração ambiental” (VETERE, 1983, p. 273).

Esses foram apenas alguns exemplos de pesquisas conduzidas nesse contexto, apresentadas numa sessão de radioecologia de um evento específico, envolvendo o tema da biota marinha e da monitoração ambiental. Muitas outras, além dessas, foram realizadas mais ou menos no mesmo período, a partir das mesmas metodologias e instrumentos. É o caso do trabalho de Maria Adelaide de Valle Matta, que em seu mestrado no curso de Biociências Nucleares da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), estudou a radioatividade natural em alguns espécimes da biota marinha, com foco no litoral do Rio de Janeiro (MATTA, 1980). Em vista da inexistência de publicações relacionadas à radioatividade da biota marinha, ao menos em relação “à contribuição da radioatividade natural no ecossistema marinho” (MATTA, 1980, p. 5), Matta procurou avaliar a contaminação do ambiente marinho por radionuclídeos naturais como o urânio e descendentes do U^{238} tanto na fauna quanto na flora marinhas, “reconhecidos como bioconcentradores de produtos de fissão e de ativação produzidos em instalações nucleares” (MATTA, 1980, s. p.). Considerada pela própria autora uma pesquisa “de caráter introdutório, observadas limitações de ordem técnica”, ainda assim teve o mérito de confirmar a eficácia de algumas técnicas de dosagem utilizadas, além de dar conta de uma grande quantidade de organismos em sua análise (MATTA, 1980).

Do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), o antigo IEA, em São Paulo, saiu a dissertação de mestrado de Eugenio da Mota Singer, que avaliou a ‘Distribuição de temperatura na Baía de Piraquara de Fora, resultante da liberação do calor residual da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto em Angra dos Reis e seus possíveis efeitos ecológicos’ (SINGER, 1979). Um interessante aspecto do trabalho de Singer foi a atenção dada aos néctons, conjunto de organismos aquáticos de movimento ativo, que nadam contra a correnteza. Com as previstas alterações no meio ambiente por conta da operação da usina nuclear, buscou-se obter uma estimativa da probabilidade de se ocorrerem temperaturas superiores e letais para essas espécies marinhas.

3.3.3 Do levantamento radioecológico pré-operacional à consolidação do Laboratório de Radioisótopos

De acordo com Eduardo Penna Franca (1992), o levantamento radioecológico pré-

operacional feito pelo Instituto de Biofísica estimou que as concentrações dos radionuclídeos mais abundantes no efluente líquido da usina de Angra 1, como o cézio-137, o cobalto-60, o iodo-135 e o estrôncio-90 “após dispersão no mar, seriam insignificantes e não detectáveis pelos instrumentos existentes” (PENNA FRANCA, 1992, p. 93). Os rejeitos produzidos pelo reator, considerados de baixa atividade, eram tratados na própria usina, e depois estocados e descarregados no mar, pelo canal de refrigeração. Embora o grupo do Instituto de Biofísica tenha considerado esses radionuclídeos insignificantes, em eventuais acidentes, concentrações maiores poderiam ser lançadas ao mar, e, nesse sentido, seria “desejável conhecer as vias de acesso ao homem desses radionuclídeos, através das cadeias alimentares do mar” (PENNA FRANCA, 1992, p. 93).

Nesse contexto em que pesquisas sobre bioacumulação em algas bentônicas foram feitas, como a de Jean Remy Guimarães, destacou-se também o trabalho de Letícia Maria Mayr (1984), que estudou a bioacumulação de cobalto-60 pelo molusco *Anomalocardia brasiliiana* (vôngole), abundante na região e presente na dieta da população local. Mayr pretendia compreender o papel desse animal no transporte do radionuclídeo do cobalto-60 pela cadeia alimentar. Concluiu-se, após experimentos conduzidos em laboratório, que o molusco acumula uma quantidade pequena de cobalto absorvido no lodo em que se alimenta e que, além disso, o cobalto fica retido principalmente na concha e não nas partes moles e comestíveis (MAYR, 1984).

Diferente dos estudos marinhos, outro estudo conduzido pelo grupo do Instituto de Biofísica na região procurou esclarecer uma possível anormalidade observada durante o programa pré-operacional: análises periódicas de solo, capim e leite feitas em três fazendas da região e uma controle com a finalidade de avaliar a cadeia solo-forragem-vaca-leite detectaram cézio-137 no solo, mas em apenas uma delas os níveis mensuráveis eram decorrentes de *fallout*. Esses resultados foram considerados atípicos ou anormais, mas casos de solos que não retêm cézio-137 de *fallout* foram relatados na época, em regiões onde vegetais incorporavam mais concentração desse radionuclídeo:

Foram realizadas análises frequentes de solo e leite em várias áreas da fazenda suspeita de anomalia e os resultados não a confirmaram. O que acontecia na mesma era uma topografia irregular e abrupta, que favorecia a erosão e o acúmulo de solo superficial – mais rico em ^{137}Cs – nas várzeas da fazenda. Quando o gado era transferido para as mesmas, aumentava a concentração de ^{137}Cs no leite (PENNA FRANCA, 1992, p. 95).

Penna Franca considerou o problema do cézio algo “trivial”, mas o seu esclarecimento pelo grupo do Instituto Biofísica foi importante por mostrar que a anomalia identificada tinha

outra causa, evitando que posteriormente fosse relacionada a alguma contaminação decorrente da operação da usina nuclear de Angra 1 (PENNA FRANCA, 1992). Um fator que talvez possa ajudar na compreensão da projeção tomada pelas pesquisas comandadas por Eduardo Penna Franca no Laboratório de Radioisótopos e nas demais feitas depois por outros cientistas do grupo é a prática comum no Instituto de Biofísica de criação de laboratórios chefiados por jovens pesquisadores que se destacassem e demonstrassem certa capacidade de “liderança e ímpeto científico” (CHAGAS FILHO *apud* PENNA FRANCA, 1992, p. 77). Um instituto que se pretendia livre de burocracia e apostava na criação de laboratórios como suas unidades operacionais, com chefes jovens levados a uma posição de maior responsabilidade, como ocorreu com Eduardo Penna Franca, Wolfgang Christian Pfeiffer e Olaf Malm, incentivava a autonomia de seus pesquisadores, ao mesmo tempo em que o porquê se configurava como modelo experimental símbolo e unificador dos diferentes grupos de pesquisa.

Essa característica do instituto está no cerne da trajetória científica de Penna Franca como chefe de laboratório, inserindo-se num grande programa de pesquisa internacional sobre as áreas de elevada radioatividade natural, passando para estudos pré-operacionais na região de Angra dos Reis. Essas agendas abriram um leque de pesquisas com a biota marinha e organismos bioacumuladores, ainda com grande foco em radioisótopos e contaminação radioativa. Progressivamente, os temas de pesquisa estenderam-se para ecossistemas aquáticos diversos e a contaminação por outros poluentes além da radiação, já com o protagonismo de outros nomes do grupo formados por Penna Franca, como Pfeiffer, Luiz Drude de Lacerda, Olaf Malm, Jean Remy Guimarães, João Paulo Machado Torres e vários outros.

Com a reforma universitária da década de 1960, que substituía as cátedras por uma organização departamental, o Instituto de Biofísica passou a ter, além de um diretor, três subdiretores que comandariam os setores de coordenação científica, administração e finanças e ensino e divulgação. Em 1966, quando Chagas Filho assumiu o cargo de embaixador do Brasil na UNESCO, o novo diretor do Instituto passou a ser Aristides Pacheco Leão, que convidou Penna Franca a assumir a área de administração e finanças. De acordo com o relato do cientista, ambos os novos diretores possuíam um perfil pouco afeito a cargos administrativos, embora Penna Franca já acumulasse grande experiência chefiando seu laboratório, tendo que lidar com auxílios recebidos da CNEN, do CNPq e USAEC (PENNA FRANCA, 1992, p. 79). Independente da condução desses dois cientistas no mesmo período em que Chagas Filho esteve fora (até 1970), uma das consequências da reforma universitária foi a incompatibilidade do regimento do Instituto de Biofísica, que já havia sido aprovado em

1966, com a nova forma de organização. Nesse contexto, o Instituto de Biofísica contava com 56 pesquisadores, 25 auxiliares de laboratório e 17 auxiliares administrativos. Quando Chagas Filho tornou-se decano do Centro de Ciências Médicas (atualmente Ciências da Saúde – CCS), Penna Franca assumiu a diretoria do Instituto de Biofísica, em 5 de junho de 1973. Nesse contexto, muitas mudanças aconteceram: a nova chefia do Laboratório de Radioisótopos passou às mãos de Wolfgang Christian Pfeiffer, orientado por Penna Franca no doutorado, e a transferência do Instituto de Biofísica da Praia Vermelha para as novas instalações do CCS, no Fundão, o que ocorreu em novembro de 1973.

Figura 39: Eduardo Penna Franca no Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica, ainda situado no campus da Praia Vermelha. Sem data. In: MALM, Olaf; PFEIFFER, Wolfgang Christian; BOTARO, Daniele. Eduardo Penna Franca.



In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2013, p. 169-190.

Pensadas à luz do *modus operandi* do Instituto de Biofísica mencionado acima, essas

mudanças foram determinantes para algumas importantes transformações que ocorreriam na agenda de pesquisas do grupo do Laboratório de Radioisótopos. No final da década de 1970, Penna Franca passou a maior parte de seu tempo articulando demandas administrativas do Instituto, chegando inclusive a contratar um psicólogo especialista em desenvolvimento organizacional para lhe ajudar na complexa estruturação da instituição que, nas palavras de Penna Franca, precisava ser aperfeiçoada pois havia chegado num patamar do qual não evoluía mais (PENNA FRANCA, 1992, p. 91). Enquanto isso, pesquisadores mais jovens como Pfeiffer levavam a cabo agendas de pesquisa com características um pouco diferentes, que explorarei mais adiante.

3.4 Conexões e agenciamentos: Eduardo Penna Franca e os radioisótopos como articuladores de redes científicas

3.4.1 Poços de Caldas e Morro do Ferro

No início da década de 1980, Penna Franca conseguiu retornar a suas pesquisas, a partir de convite de seu parceiro científico de longa data, o pesquisador da New York University Merrill Eisenbud, para integrar projeto de pesquisa sobre rejeitos radioativos no Morro do Ferro. Naquele momento, Eisenbud fazia parte do Conselho de Gestão de Resíduos Radioativos da Academia Nacional de Ciências dos EUA, que tinha como uma de suas preocupações compreender a migração de resíduos radioativos de longa vida através de rochas e solos e avaliar o risco desse movimento para seres humanos (EISENBUD, 1990). O reitor da UFRJ à época, o radiobiologista também pesquisador do Instituto de Biofísica Luiz Renato Caldas, dispensou-o do cargo de diretor no dia 29 de julho de 1980. Com isso, Penna Franca considera a década de 1980 um momento de atividades “intensas e proveitosas” para o grupo do Laboratório de Radioisótopos. O laboratório dividiu-se, naquela época, em três frentes. Foram empreendidos estudos nas áreas de influência da CNAAA em Angra dos Reis, bem como na usina de urânio de Poço de Caldas. Da mesma forma, as pesquisas do novo projeto com Eisenbud foram desenvolvidas no Morro do Ferro e em Poços de Caldas, com foco no estudo dos rejeitos radioativos. Em paralelo aos projetos mais diretamente ligados às atividades de pesquisa de Penna Franca, Wolfgang Pfeiffer e seu grupo passaram a conduzir estudos sobre a contaminação de metais pesados no meio ambiente, com foco em ecossistemas aquáticos.

De acordo com o relato de Eisenbud (1990), as demandas do Conselho de Resíduos

Radioativos fizeram-no pensar na possibilidade de voltar ao Morro do Ferro para aprender sobre o comportamento a longo prazo de certos elementos no meio ambiente. Desse modo, a justificativa do projeto era “de que a química das terras raras e do tório é semelhante à do plutônio e de outros elementos transurânicos” (EISENBUD, 1990, p. 158):

O Departamento de Energia dos EUA nos forneceu os fundos iniciais para pesquisa e o governo brasileiro cooperou de forma importante, entre outras coisas, estabelecendo um laboratório de campo em Poços de Caldas. Eduardo Penna-Franca e eu atuamos como co-investigadores principais até minha aposentadoria, quando Paul Linsalata me sucedeu no estudo (EISENBUD, 1990, p 158).

Na mina e usina de urânio de Poços de Caldas (MG), um complexo mineiro-industrial com uma mina a céu aberto começou a operar em 1982. Os rejeitos radioativos se apresentavam ali como um “problema ecológico sério”, pois o minério de baixo teor de urânio era disposto em áreas circunvizinhas chamadas de ‘bota fora’, permanecendo ao relento. Embora existisse um programa de monitoração ambiental, devido às características da radioatividade natural do Planalto de Poços de Caldas, detectar irregularidades era uma operação mais difícil. Com a experiência dos estudos radioecológicos anteriores na região, o Laboratório de Radioisótopos realizou uma nova série de investigações utilizando uma câmara de ionização pressurizada e um sistema de espectrometria gama fabricados no Health and Safety Laboratory dos EUA. Esses instrumentos possibilitavam determinar de maneira rápida e precisa a dose de exposição total e a contribuição de cada fonte radioativa de radiação gama no solo (PENNA FRANCA, 1992, p. 98). Com a constatação de que os radionuclídeos críticos da região eram o ^{226}Ra (rádio) e o ^{210}Pb (chumbo), três linhas de pesquisas foram desenvolvidas pelo Laboratório de Radioisótopos.

Uma das linhas de investigação fez experimentos com a adsorção e dessorção de ^{226}Ra e ^{210}Pb na interação com água, sedimentos de fundo e outras partículas de suspensão dos rios da região do Planalto de Poços de Caldas. Concluiu-se que o ^{210}Pb permanecia absorvido em maior parte nos sedimentos de fundo, com seu transporte sendo feito por partículas em suspensão nos ambientes aquáticos. Já a mobilidade do ^{226}Ra se dava apenas em solução. Outra linha de pesquisa avaliou a absorção dos mesmos radionuclídeos por vegetais comestíveis da região, sendo as concentrações de rádio um pouco superiores que de chumbo, mas os teores de radionuclídeos das plantas não foram correlacionados com o solo. Por fim, uma última linha, baseada na hipótese de que a exposição ao radionuclídeo ^{226}Ra em seres humanos requeria uma cadeia composta pelos elementos ‘rio-irrigação-solo-vegetais’, buscou-se “esclarecer os mecanismos de transporte do ^{226}Ra na etapa solo-vegetais

comestíveis” (PENNA FRANCA, 1992, p. 99). Um dos trabalhos orientados por Penna Franca que marcou essas novas pesquisas foi o de Eliana Amaral, do IRD, que em sua tese de doutorado comparou o impacto radiológico sobre os habitantes do Planalto de Poços de Caldas, a operação da mina e usina de urânio e as atividades agrícolas.

A tese de Amaral visava estimar o risco individual para diferentes grupos da população rural e o impacto em uma população remota que comercializasse com a produção agrícola do local. Também tencionou estimar as implicações radiológicas do complexo mineiro-industrial e fornecer bases para elaboração de regulamentações que fossem adotadas em situações similares. Uma das conclusões da tese de Amaral foi de que a inalação de radônio, torônio e descendentes representava o maior risco radiológico para a população do Planalto de Poços de Caldas, entre 70 e 90%. A irradiação gama externa proveniente do solo apresentava um risco de 10 a 25%, e a ingestão de radionuclídeos através de alimentos locais foi considerada apenas “uma consequência radiológica menor” (AMARAL, 1992, p. 98). O trabalho de Amaral também recomendava a avaliação da contribuição a longo prazo da emissão de radônio do chamado “bota fora”, e que fossem “conduzidos estudos sobre os processos envolvidos na lixiviação e transporte aquático dos radionuclídeos naturais na região do Planalto, de forma a elaborar modelos de previsão do impacto ambiental a longo prazo” (AMARAL, 1992, p. 99-100).

No Projeto Morro do Ferro, o grupo de cientistas compostos por pesquisadores do Instituto de Biofísica e da New York University operou um estudo retrospectivo das anomalias radioativas, um dos métodos existentes para se estudar depósitos e rejeitos radioativos na época. O projeto investigou a mobilização do tório e outras terras raras do corpo do minério, tanto por erosão quanto por solubilização. Por suas características específicas, como a proximidade da jazida da superfície, o corpo de minério do Morro do Ferro foi considerado pelo grupo “a antítese de um repositório de rejeitos radioativos, e apresenta-se como um análogo de um depósito que tivesse sido elevado à superfície por um processo vulcânico e invadido por água” (PENNA FRANCA, 1992, p. 107). O projeto, que se iniciou em 1981, teve um novo laboratório montado em Poços de Caldas, e contou com a presença de orientandos de Merrill Eisenbud, como Wayne Lei. Uma série de elementos foram analisados, como o solo, água, partículas em suspensão e sedimentos de rio, além de um levantamento dos níveis de tório e terras raras em vegetais comestíveis e carnes de animais domésticos de fazendas da região (LEI et al, 1986; LINSALATA et al, 1989; LINSALATA et al, 1991). Uma das conclusões do projeto foi que:

Se o radionuclídeo crítico num repositório hipotético de rejeitos fosse o

plutônio, e esse se comportasse como o tório o faz no Morro do Ferro, a maior parte da radioatividade do plutônio decairia in situ, e a fração que migrasse até a biosfera o faria numa velocidade tão lenta que não ofereceria risco significativo aos seres vivos (PENNA FRANCA, 1992, p. 109).

Além disso, os fatores de concentração observados nas análises foram considerados muito baixos. Apesar disso, os resultados obtidos com o Projeto Morro do Ferro geraram interesse de uma série de grupos internacionais. Nas palavras de Eisenbud:

A pesquisa evoluiu para um programa de notável sucesso, no qual pudemos demonstrar que os elementos análogos estavam tão bem estabilizados que, mesmo nas condições adversas que existiam no Morro do Ferro, permaneceriam no local, imobilizados por milhões de anos, devido a sua ligação aos minerais argilosos do solo. O projeto atraiu a atenção internacional e foi recentemente apoiado por vários países europeus (EISENBUD, 1990, p. 158).

Iniciado em 1986, o Projeto Poços de Caldas envolveu a Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SBK), o Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle (Nagra), da Suíça, o British Geological Survey do Reino Unido e o Department of Energy dos Estados Unidos, além das instituições brasileiras CNEN, Nuclebrás, Instituto de Biofísica (IBCCF) da UFRJ, Departamento de Química da PUC-Rio e o Instituto de Geociências da USP. O interesse do projeto, que envolveu grande aporte financeiro, era nos repositórios de rejeitos radioativos, em particular considerando as especificidades da jazida do Morro do Ferro e a cratera da mina de urânio a céu aberto (SMELLIE et al, 1989). Esses elementos chamaram a atenção de pesquisadores da Suécia, Suíça e Inglaterra a partir de publicações provenientes do Projeto Morro do Ferro. Devido ao foco do Projeto Poços de Caldas em estudos na área das geociências, Penna Franca não trabalhou tão ativamente nesse projeto, a não ser como gerenciador ou administrador das atividades ocorridas no Brasil e no novo laboratório montado.

3.4.2 Eduardo Penna Franca: publicações, orientações e articulações

Como fica evidente no Projeto Poços de Caldas, Eduardo Penna Franca teve uma trajetória científica marcada pela articulação com diferentes disciplinas científicas, grupos e agendas de pesquisa, seja no início de seu trabalho no Laboratório de Radioisótopos, coordenando as medições radioativas para diversos outros trabalhos do Instituto de Biofísica, ou no final de sua carreira, acompanhando de perto projetos internacionais de grande envergadura. Sem dúvida a capacidade articuladora de Penna Franca foi importante para estabelecer linhas diversas de investigação utilizando os radioisótopos. Na coordenação do

Laboratório de Radioisótopos desde o início, esses elementos não foram tratados de maneira unidimensional, mas explorados a partir de suas várias possibilidades, como potentes objetos tecnológicos integrando distintos sistemas experimentais.

Evidentemente, esse processo não foi resultado apenas da capacidade de articular projetos, interesses de pesquisa e a formação de técnicos e cientistas de Penna Franca, mas está relacionado a uma série de oportunidades que surgiram naquele contexto, como o incentivo de agências internacionais, o interesse diplomático de países como os Estados Unidos, o projeto de instituição e de ciência de Carlos Chagas Filho, bem como a atuação de agências nacionais como a CNEN e o CNPq. Essa rede complexa de atores ilustra o perfil da pesquisa científica que se desenvolveu no período do pós-Segunda Guerra Mundial, e se estendeu ao longo da segunda metade do século XX demarcando rigorosamente os caminhos seguidos pelas pesquisas com radiação e radioisótopos. No caso do Brasil, teve um papel o interesse e a interferência de grupos como os militares durante a ditadura militar. Como outros cientistas de sua geração, Eduardo Penna Franca foi profundamente marcado por esses elementos, desde seu estágio nos Estados Unidos para estudar as aplicações de radioisótopos na pesquisa biológica, à formação sólida de trabalhos de análise de estrutura e funcionamento de ecossistemas em seu laboratório.

Alguns dos mestrados e doutorados orientados por Penna Franca abordaram problemas técnicos, como o aperfeiçoamento de métodos para medição radioativa, procedimentos de radiometria e análises de espectrometria para separar radioisótopos. Penna Franca também orientou estudos em citogenética, como a tese de doutorado de Marcello Barcinski, sobre a citogenética de habitantes das regiões de elevada radioatividade natural (BARCINSKI, 1974), e vários estudos sobre radionuclídeos no ambiente marinho, como o mestrado de Miriam Brugnara, que estudou os radionuclídeos em sedimentos marinhos na região da CNAAA, em Angra dos Reis (BRUGNARA, 1976). Trabalhos sobre problemas ambientais envolvendo a mina de urânio de Poços de Caldas e a região de elevada radioatividade natural, como os mestrados de Maria Stoffel (1979) e Eliana Amaral (1979), além da própria tese de doutorado de Penna Franca (1968), também foram uma das linhas de orientação do cientista. Para além dos exemplos de orientação de trabalhos acadêmicos, as próprias publicações de Penna Franca refletem a diversidade de temas pesquisados tendo os radioisótopos, os métodos de detecção de radiação e as análises radioquímicas como alguns dos elementos.

Para citar apenas alguns poucos exemplos, seus trabalhos abrangeram desde a investigação da presença de rádio em alimentos e ossos humanos na cidade do Rio de Janeiro,

juntamente com Nazyo Lobão, ou a determinação de estrôncio-90 em ossos humanos e de recém-nascidos (PENNA FRANCA e PINTO COELHO, 1959), até a determinação de iodo-131 em tireoides e leite bovino oriundo das explosões nucleares francesas no Pacífico sul e a captação de rádio iodo por culturas de tireoides de embriões de galinha (PENNA FRANCA e MUSACCHIO, 1961, p. 46). No início do programa de pesquisas sobre as regiões de elevada radioatividade natural, em 1963, Penna Franca publicou na *Nature* uma primeira comunicação sobre as concentrações de rádio em ossos de animais, crustáceos, algas e outros materiais biológicos presentes na região de Guarapari e do Morro do Ferro (PENNA FRANCA e FREITAS, 1963, p. 1063). No mesmo contexto, Penna Franca conduziu investigações sobre a absorção e a distribuição de rádio e tório em ratos, que tiveram seus resultados transplantados para a população humana de Guarapari-Meaipe, entendendo que a ingestão de areia monazítica não seria um fator tão importante para a contaminação interna por esses elementos, devido à insolubilidade da monazita (PENNA FRANCA, GOMES, SANTOS, 1964).

Análises para determinar a concentração de radiação também foram feitas em objetos bem diferentes daqueles encontrados nas zonas de elevada radioatividade natural ou usualmente vistos em laboratórios. Foi o caso do estudo feito com a castanha-do-Pará, iniciado em colaboração com Merrill Eisenbud, quando de uma viagem para o Amazonas, feita em meados da década de 1960, para coletas de amostras de partes de castanheiras. A análise resultou em publicação do grupo de Penna Franca no periódico *Health Physics* (PENNA FRANCA et al, 1968):

Eduardo Penna-Franca conseguiu o empréstimo de um barco fluvial do Conselho Nacional de Pesquisas para que pudéssemos viajar pelo Amazonas e seus afluentes em busca de amostras para estudo. Cullen se juntou a nós e, com uma tripulação de duas pessoas e a esposa de Eduardo, Loi, atuando como cozinheira, voamos para Manaus, cerca de mil milhas interior, onde embarcamos em nosso barco para a viagem de quatro dias. Para nossa surpresa, a área onde encontramos as nogueiras apresentava níveis normais de radioatividade. Quando Penna-Franca retornou ao seu laboratório descobriu que as altas concentrações de rádio poderiam ser explicadas pelo fato de as nozes terem afinidade com o bário, que está na mesma família química do rádio. As raízes das árvores absorveram o rádio devido às propriedades químicas semelhantes dos dois elementos (EISENBUD, 1990, p. 157).

Desde 1933 já se sabia que a castanha-do-Pará possuía um teor elevado de bário, e que seu nível de radioatividade era maior que o de outros alimentos em áreas normais, por também apresentar uma alta concentração de rádio. O estudo de Penna Franca mostrou que a radioatividade elevada da castanheira se dava pela absorção em grande quantidade de bário do

solo, sendo este um carreador natural de rádio, e que essa planta só cresce em áreas com alta concentração de bário no solo (PENNA FRANCA et al, 1968). Essa hipótese formulada por Penna Franca e seu grupo, como o próprio cientista considerou em seu memorial, não pode ser confirmada, pois nunca conseguiu “interessar um fisiologista vegetal” (PENNA FRANCA, 1992, p. 72).

Nessa mesma linha de pesquisa, uma comunicação intitulada “Rádio no cacto *Cereus triangularis*” foi publicada na revista *Ciência e Cultura* por Penna Franca e outros pesquisadores bolsistas da FAPESP em 1969. Com foco no oxalato de cálcio, presente em vários cactos, o estudo verificou que o oxalato de cálcio do cacto é composto por uma mistura contendo também bário e estrôncio. “Isso levou-nos ao exame radioquímico para procurar estrôncio-90, satélite do estrôncio e rádio, satélite do bário, em cactos de área de radioatividade normal” (TABAK et al, 1969, p. 203).

Outra publicação de Penna Franca que vale ser citada é o artigo “Measurement of Fluoride Uptake and Release in Teeth by Activation Analysis”, publicado em 1974 no periódico *Journal of Dental Research* em parceria com Wolfgang Christian Pfeiffer. Resultante da tese de doutorado de Pfeiffer, o artigo analisa a ativação de fótons de alta energia como um método para avaliar a absorção e remoção de flúor em dentes humanos. O tema, aparentemente bem distinto de outros pesquisados por Penna Franca, tinha em comum a testagem e aperfeiçoamento de um método físico-químico de análise, que se mostrou também útil para medir estrôncio em materiais biológicos. A pesquisa possuía grande ressonância na sociedade, assim como muitos temas estudados anteriormente por Penna Franca, que eventualmente eram destaques em jornais, como o caso da contaminação por estrôncio nos anos 1950. No caso do artigo em questão, os resultados dos experimentos mostraram que a aplicação tópica do fluoreto não seria efetiva para manter o flúor necessário no esmalte dos dentes, pois com a lavagem a água removia o flúor absorvido. Entretanto, aplicações de fluoreto na água ou em pastas dentífricas seriam adequadas para manter o flúor, prevenindo cáries (PFEIFFER e PENNA FRANCA, 1974).

Entre 1982 e 1984, Penna Franca assinou, juntamente com o pesquisador Miguel Archanjo Muniz Leal três artigos publicados no *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* com resultados de estudos envolvendo radioisótopos e caramujos *Biomphalaria glabrata*, animais hospedeiros do agente da esquistossomose (LEAL e PENNA FRANCA, 1982a, 1982b, 1984). Leal também foi orientando de mestrado de Penna Franca, defendendo a dissertação intitulada “Marcação radioisotópica do caramujo vetor da esquistossomose para estudos da dinâmica de população” (1976), mas os trabalhos que resultaram nas publicações mencionadas ocorreram

no período em que Leal trabalhava como pesquisador do Departamento de Biofísica e Radiobiologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em convênio com o Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, sucursal da Fiocruz em Pernambuco. Os trabalhos, com amostras coletadas no rio Beberibe, em Recife-PE, foram realizados no Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica da UFRJ, e tiveram o auxílio da CNEN, CAPES, Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico (BNDE) e do próprio Departamento de Biofísica e Radiobiologia da UFPE e Faculdade de Ciências Médicas da Universidade de Pernambuco.

Nesse projeto de pesquisa, foram empregados diferentes radioisótopos para marcar caramujos da espécie *Biomphalaria glabrata*. Análise de curvas de captação, decaimento e distribuição desses radioisótopos nas conchas e partes moles dos caramujos mostraram que o radioestrôncio poderia ser utilizado, dentre os radioisótopos testados, para experiências de campo que objetivassem medir a dispersão e dinâmica de populações desses caramujos (LEAL e PENNA FRANCA, 1982a). O segundo artigo, publicado em 1982, propôs uma forma de padronização da técnica de marcação isotópica dos caramujos com radioestrôncio (LEAL e PENNA FRANCA, 1982b). Por último, a publicação de 1984 apresentou as distâncias de detecção dos caramujos marcados com estrôncio-85, utilizando o ar, a água e a areia como ‘absorvedores’. Esse radioisótopo foi o mais indicado para pesquisas que tivessem como objetivo traçar a localização dos caramujos. Já para a identificação e diferenciação da espécie em relação a outras, se indicava a utilização do estrôncio-89 ou do estrôncio-90 associados a contadores Geiger-Müller (LEAL e PENNA FRANCA, 1984). Essas publicações propunham um método que conectava radioisótopos e caramujos e que poderia ser utilizado, após todos os problemas resolvidos, em estudos de dinâmica de população “ou qualquer tipo de evento em que seja necessário diferenciar dados caramujos em uma população” (LEAL e PENNA FRANCA, 1984, p. 227). Apesar da especificidade do estudo, essas publicações demonstram como, ainda na década de 1980, pesquisas com radioisótopos poderiam possuir um caráter bastante exploratório.

As publicações com autoria ou colaboração de Penna Franca aqui arroladas representam uma parcela pequena da atuação do cientista em estudos de caráter diverso ao longo de sua carreira, sobretudo como orientador ou coordenador de projetos. Não abordei, por exemplo, seus primeiros estudos com microscopia eletrônica ou com o peixe poraquê, além de vários outros, pois esses já foram tratados ao longo deste capítulo. Essa exposição final serviu, assim, para reforçar a ideia de uma atuação articulada de Penna Franca no que tange à utilização de radioisótopos e a criação ou aperfeiçoamento de métodos relacionados.

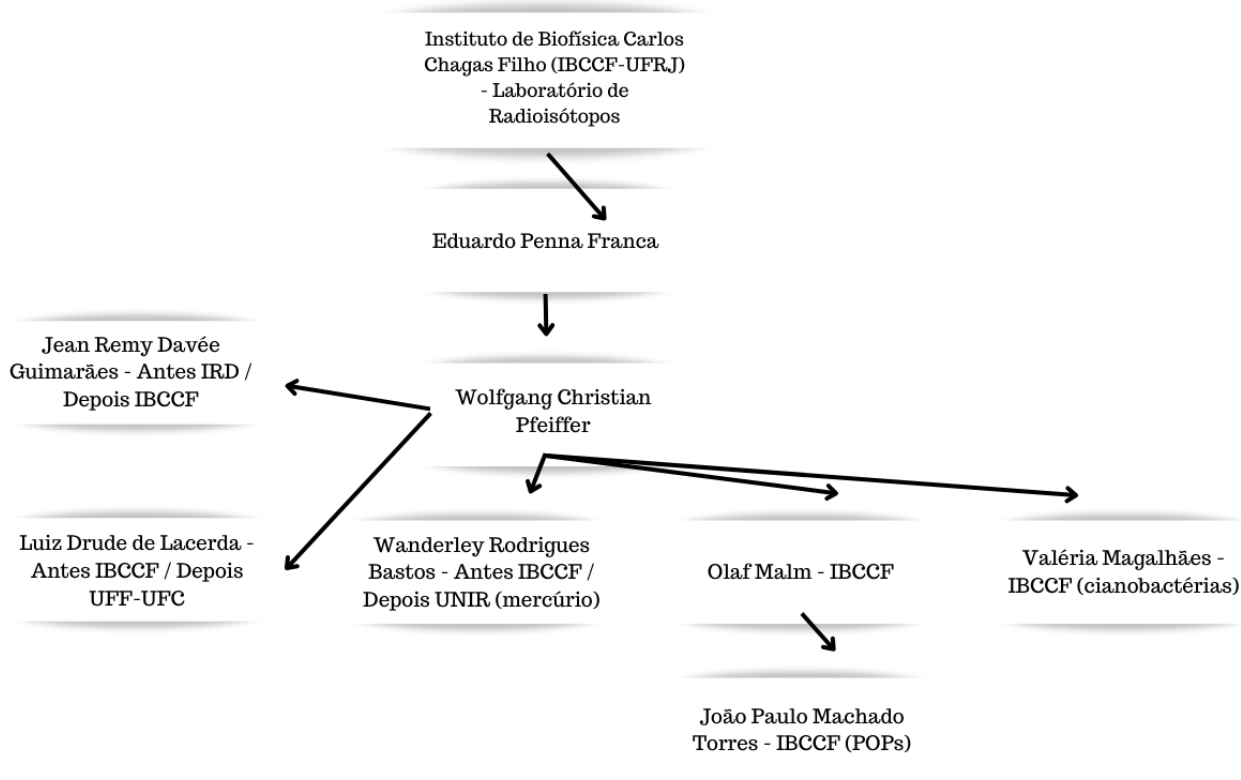
Na esfera administrativa, Penna Franca foi, ainda, de 1988 a 1991, diretor científico da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), agência estadual de fomento científico criada em 1980, e assumiu a Superintendência Técnico-Científica da Fundação Bio-Rio, em 1991.

Este capítulo teve como principal objetivo seguir a trajetória profissional de Eduardo Penna Franca, evidenciando, por meio dela, o desenvolvimento de novas agendas de pesquisa no Instituto de Biofísica (IBCCF), em especial no Laboratório de Radioisótopos, criado em 1956. A partir de Penna Franca, estabeleceu-se uma grande ramificação dos estudos radioecológicos, que será explorado em detalhes no próximo capítulo. Apesar disso, o destaque à sua figura tem a ver com uma opção metodológica desta tese, que, através da contextualização de certas trajetórias científicas, tenciona evidenciar um amplo quadro de interações entre cientistas, seus objetos de estudo e a infraestrutura institucional correlacionada. O mesmo deve ser entendido para a figura de Wolfgang Christian Pfeiffer, sucessor direto de Penna Franca, e para os outros cientistas entrevistados e analisados adiante neste trabalho. Desse modo, esta pesquisa pressupõe a possibilidade de perceber a existência, o funcionamento e o desenvolvimento de redes científicas globais que se formaram a partir dos radioisótopos, tendo como base concreta a atuação de grupos e cientistas específicos. Daí a importância de identificar Eduardo Penna Franca e outros, como elementos-chave dessa história.

Com o texto que foi apresentado procurou-se demonstrar os primeiros ensaios de uma ecologia de ecossistemas no Brasil. O foco na trajetória de Penna Franca, decorre do papel que ele teve na estruturação de um coletivo de pesquisas que consolidou o uso de radioisótopos nas pesquisas em ecologia. Penna Franca, nesse sentido, é como um “ponto de passagem” que abre caminhos para diversas abordagens empregando os radioisótopos em investigações de natureza ecológica. A continuidade desses trabalhos, como já mencionei diversas vezes, será apresentada a partir do próximo capítulo. Essa continuidade tem como característica básica os radioisótopos como elementos centrais na identidade formativa do grupo do laboratório de mesmo nome, e, por outro lado, a transformação das práticas científicas, expandindo seu escopo para outras problemáticas de cunho ecológico e ambiental.

4 - Dos radioisótopos aos metais pesados: estudos de ecossistemas no Brasil

Figura 40: Diagrama dos principais personagens ligados à história do Laboratório de Radioisótopos e da ecologia de ecossistemas de acordo com esta análise.



A partir dos trabalhos coordenados por Eduardo Penna Franca, desenvolveu-se, no Instituto de Biofísica (IBCCF), estudos de ‘biofísica ambiental’ com radioisótopos, medições de doses de radiação natural, possíveis riscos de contaminação e a influência da radioatividade natural na biota e na saúde humana. A partir da década de 1970, o Laboratório de Radioisótopos adentrou uma nova fase marcada, inicialmente pelo ingresso do cientista Wolfgang Christian Pfeiffer no grupo de Penna Franca. Ela caracterizou-se, também, pela ‘conversão’ do aparato de técnicas nucleares para o estudo de objetos “estáveis”, em especial os metais pesados e sua contaminação em diferentes ecossistemas brasileiros, e, por fim, pela consolidação de uma nova geração de pesquisadores que levou à constituição, no Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica e em outros laboratórios associados, de estudos de ecossistemas no Brasil.

Como o próprio relato desses pesquisadores evidencia, esses estudos não podem ser definidos apenas como biofísica ambiental, radioecologia, ecotoxicologia, ecossistemologia, ecologia de ecossistemas ou ecologia aplicada. Trata-se, na verdade, de estudos ecossistêmicos que, congregando elementos de todas essas disciplinas, acompanharam o

histórico de aplicação de radioisótopos nas ciências da vida, o encontro de jovens biólogos com aparatos e técnicas da física e da química, e a busca por mapear a trajetória ambiental de diferentes poluentes. Assim, a partir dos trabalhos iniciados por Penna Franca, cientista que teve a sua trajetória atravessada pelos radioisótopos, o objetivo deste último capítulo é apresentar algumas das transformações ocorridas nos estudos que envolveram a relação entre radiação e meio ambiente no Brasil.

Mais do que mostrar a formação de um programa de pesquisas em ecologia aplicada que emergiu dentro do Laboratório de Radioisótopos do IBCCF, este texto buscará apontar as conexões existentes entre a história da energia nuclear, a institucionalização das ciências biológicas e a história da ecologia no Brasil. Ou seja, como agendas de pesquisa criadas a partir da ideologia de ‘átomos pacíficos’ que partiram da utilização de métodos radioisotópicos e da aplicação desses elementos no mundo vivo, transformaram-se em pesquisas sobre metais pesados, ecossistemas aquáticos diversos, da Baía de Sepetiba aos rios amazonenses, e a contaminação de ecossistemas pelo mercúrio? Esse histórico envolve ainda uma reflexão sobre a identidade profissional de um grupo formado por elementos heterogêneos, tais como a tradição de pesquisa do próprio IBCCF, o domínio dos radioisótopos na pesquisa biológica e a exploração de um campo de estudos que não estava formado no Brasil. Por fim, os radioisótopos ligaram-se à história dos estudos ambientais da mesma forma como impactaram a biologia molecular no Brasil, como vimos no segundo capítulo.

Um dos argumentos principais desta tese é que a história dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira culminou na constituição de alguns dos primeiros estudos de ecologia de ecossistemas feitos no Brasil. Esses estudos levaram a teoria dos ecossistemas a uma agenda efetiva de práticas científicas. Já conhecida há décadas e desenvolvida plenamente, por exemplo nos Estados Unidos dos anos 1950, a partir do apoio e da influência direta de agências de energia atômica como a AEC, a ecossistemologia, no Brasil, ganhou contornos de linha de investigação dentro das atividades do Laboratório de Radioisótopos do IBCCF. Essa agenda de ecologia aplicada, por sua vez, conduziu pesquisadores brasileiros, como Luiz Drude de Lacerda, às primeiras associações entre seus objetos de estudos e as dinâmicas científicas ligadas à emergência do conceito do Antropoceno. Em 2007, apenas sete anos após a publicação do pequeno texto *The “Anthropocene”* na *Global Change Newsletter* (2000), no qual os cientistas Paul Crutzen e Eugene Stoermer propuseram o uso do termo Antropoceno para designar a época geológica caracterizada pelo impacto planetário das ações humanas, Drude de Lacerda publicou o artigo “Biogeoquímica de contaminantes no

Antropoceno” (LACERDA, 2007). O artigo, que fazia parte do dossiê “Ecologia de micropoluentes orgânicos e metais pesados” do periódico *Oecologia Brasiliensis* (hoje *Oecologia Australis*), foi um dos primeiros textos brasileiros a mencionar o termo. Ao mesmo tempo, em seu texto de apresentação, o dossiê em questão resumia de forma bastante precisa e coesa, o histórico do Laboratório de Radioisótopos do IBCCF e a sua relação com a história dos estudos de ecossistemas no Brasil:

Segundo o Prof. Luiz Drude de Lacerda (formado a nível de mestrado e de doutorado no IBCCF), destacado cientista brasileiro que contribui para o presente número, o LREPF [Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca] pode ser considerado como o centro iniciador e irradiador da pesquisa em Ecologia de Ecossistemas no Brasil. Os trabalhos orientados por Penna Franca e Wolfgang Pfeiffer adaptaram a Metodologia dos Parâmetros Críticos, inicialmente delineada para as Instalações de Energia Nuclear, para a poluição por indústrias metalúrgicas convencionais que contaminam o meio ambiente com metais pesados. No final da década de 80, o estudo do metal pesado mercúrio, especialmente a sua presença no ambiente amazônico teve um grande destaque entre as ações de pesquisa deste grupo. Esse tema gerou uma parceria entre a UFRJ e a UNIR [Universidade Federal de Rondônia] que em 2007 vem completar 20 anos. Mais recentemente, o estudo sobre a dinâmica dos micropoluentes orgânicos tomou impulso através de projetos conjuntos de investigação entre grupos internacionais e o nosso país (TORRES et al, 2007, p. 165).

Apesar da história entre o Laboratório de Radioisótopos e a ecologia de ecossistemas no Brasil, dos radioisótopos aos metais pesados, ser tema corrente dos discursos memorialísticos dos cientistas do próprio grupo, essas relações não foram ainda examinadas pela historiografia das ciências no Brasil. Conexões entre esses estudos ecossistêmicos e uma “história do Antropoceno no Brasil”, como conceito científico e agenda de pesquisa, não parecem ter sido vislumbradas no contexto de publicação do dossiê, tampouco por historiadores atualmente preocupados com as discussões emergentes sobre o Antropoceno e seu conteúdo. Ou seja, se a história que tratarei a seguir está bem “documentada” na memória de cientistas que fazem parte dela, ainda não foi analisada em uma perspectiva histórica crítica, como também carece de uma análise mais aprofundada, demarcando conexões mais amplas entre os diversos elementos presentes.

Assim, esta tese terá como recorte temporal final o próprio ano de 2007, no qual o dossiê da *Oecologia Brasiliensis*, apresentando esse histórico foi publicado. Tendo completado 20 anos de parcerias entre o IBCCF e instituições como a UNIR, em Rondônia, novos temas no grupo surgiriam, como os estudos de João Paulo Machado Torres com os POPs (*Persistent Organic Pollutants*), e a sinalização de Luiz Drude de Lacerda a respeito da relação entre o estudo de poluentes e contaminantes e o Antropoceno. Se o termo

Antropoceno e seus significados gera acaloradas discussões, não só entre geólogos e químicos atmosféricos, mas também entre historiadores, filósofos e antropólogos, no contexto em que Lacerda publicou seu texto, a escolha por associar seus estudos com o novo conceito emergente não foi óbvio, mas, de fato, uma escolha epistemológica:

Uma vez que a relação carga/efeito não depende mais da dimensão das emissões pontuais e sim de emissões de fontes difusas e dos processos de remobilização dos metais acumulados no meio, torna-se muito mais importante conhecer os processos biogeoquímicos controladores da dinâmica de metais no ambiente que propriamente os processos antrópicos que os geraram. Desta forma, permitir a construção de cenários que permitam entender e prever os efeitos da contaminação por metais no Antropoceno (LACERDA, 2007, p. 301).

Concluindo o artigo com uma epígrafe do texto de Crutzen e Stoermer (2000)¹⁸⁹, o trabalho de Drude de Lacerda pode ser considerado um importante ponto de inflexão entre a história dos radioisótopos na biologia e a ecologia de ecossistemas no Brasil, por um lado, e os estudos biogeoquímicos que corroboraram o novo enquadramento trazido pela noção de Antropoceno. Nesse sentido, este capítulo tratará não só do que podemos considerar os primeiros estudos em ecologia de ecossistemas no Brasil, mas também dos primeiros programas de pesquisa inspirados pela proposta do Antropoceno. É, portanto, um desdobramento da análise maior feita ao longo da tese sobre o papel dos radioisótopos na constituição e nas transformações da pesquisa biológica brasileira do pós-guerra.

A emergência da energia nuclear e dos radioisótopos é um dos demarcadores da história ambiental no Antropoceno, sobretudo na proposta do que J. R. McNeil e Peter Engelke chamam de “A Grande Aceleração” (2014). Da mesma forma esses elementos estão diretamente relacionados a uma história do Antropoceno a partir da história das ciências, como veremos ao longo deste capítulo. As conexões entre radioisótopos, ecologia de ecossistemas e Antropoceno no Brasil serão aprofundadas no subtópico em que trato da trajetória científica de Luiz Drude de Lacerda. Antes disso, abordarei o histórico do Laboratório de Radioisótopos do IBCCF depois de Eduardo Penna Franca, ou seja, dos radioisótopos aos estudos com metais pesados e outros contaminantes desenvolvidos pelos novos pesquisadores do grupo.

¹⁸⁹ A epígrafe do artigo de Luiz Drude de Lacerda é o seguinte trecho do artigo de Crutzen e Stoermer, porém em inglês: “Considerando estes e muitos outros impactos ainda em desenvolvimento, das atividades humanas no solo, na atmosfera em todas as escalas, incluindo globais, parece-nos mais do que apropriado enfatizar o papel central da humanidade na geologia e ecologia ao propor o uso do termo “antropoceno” para a época geológica corrente (MENDES, 2020, p. 114).

4.1 *Heavy metal turn*: a virada para os estudos com metais pesados

4.1.1 Wolfgang Christian Pfeiffer e as novas feições do Laboratório de Radioisótopos

Wolfgang Christian Pfeiffer (1942-2017) nasceu em Wuppertal, na Alemanha, no dia 21 de agosto de 1942, um dia antes do Brasil anunciar ‘estado de beligerância’ com os países do Eixo. Em 1948, migrou com a mãe e os irmãos para São Paulo. Sua mãe, Inga Maria Hackradt Pfeiffer (1919-1999) era alemã, mas também possuía nacionalidade brasileira, tendo vivido parte de sua vida entre a Alemanha e o Brasil, sobretudo por contingências do contexto do entre guerras e pelos negócios de seu pai, uma firma de importação e exportação e uma fábrica de adubos e produtos químicos, inicialmente com sedes em Hamburgo e São Bernardo do Campo-SP. Já seu pai, Wolfgang Adolf Arthur Pfeiffer (1912-2003), também era alemão, mas não possuía relações com o Brasil até conhecer Inga Maria. Os pais de Wolfgang Christian Pfeiffer eram estudiosos de história da arte, e se conheceram durante o doutorado de ambos no Instituto de História da Arte de Munique. Com o início da guerra, decidiram permanecer na Alemanha. Ainda antes de se casar, Inga Maria foi uma jovem intelectual bastante seduzida pelo nacional-socialismo, desiludindo-se posteriormente devido às propostas radicais da Juventude Hitlerista (PFEIFFER, 2016). Quando a guerra eclodiu, o pai de Pfeiffer foi convocado para o *front*, enquanto a mãe ficou sozinha com os três filhos. De acordo com depoimento do próprio Wolfgang Pfeiffer de 2009 concedido a Valéria Magalhães e Olaf Malm, seu pai foi dado como morto durante a guerra, e sua mãe retornou ao Brasil:

Quando chegamos ao Brasil, fomos morar em São Paulo na casa da minha avó, e, depois de dois anos, apareceu a notícia de que meu pai estava vivo na Alemanha, procurando a família e os parentes que moravam lá. Avisaram a ele que estávamos no Brasil. Foi uma época muito difícil, no pós-guerra, em um país desconhecido, sem meu pai e sem saber a língua. Mas as coisas se resolveram da melhor forma possível. Lembro que em 1950 eu vim de avião para o Rio de Janeiro buscar meu pai, que desembarcou com um roupão com um “P” gravado nas costas (que era o símbolo americano de prisioneiro de guerra). Ele fora prisioneiro dos americanos, levado aos Estados Unidos para um campo de prisioneiros. Quando acabou a guerra, ele foi solto e voltou para a Alemanha (PFEIFFER, 2017, p. 294)¹⁹⁰.

Ainda antes de 1950, é possível ver menções ao pai do cientista em jornais brasileiros.

¹⁹⁰ Além das informações colhidas por Magalhães e Malm em 2009, publicadas no segundo volume do livro Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (BOTARO e SOUZA, 2017), estou me baseando no livro ‘Uma Vida Dia a Dia’, publicado em 2016 pela irmã de Pfeiffer, Ulrike Julie Maria Pfeiffer (PFEIFFER, 2016). Além dessas referências, alguns detalhes sobre a trajetória de Pfeiffer foram retirados da entrevista realizada para esta tese com a cientista Valéria Freitas de Magalhães, que foi sua orientanda. A referência do depoimento de Magalhães é: MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAAE:47237621.3.0000.5241.

Em 1948, por exemplo, na seção de Necrologia do *Correio Paulistano*, foi noticiada a morte do avô de Wolfgang Christian Pfeiffer, Fernando Hackradt, pai de “Inga maria Pfeiffer, casada com o sr. Wolfgang Adolf Arthur Pfeiffer” (NECROLOGIA..., 1948, p. 1). Em 1949, notícia do *Correio Paulistano* da seção de associações culturais e científicas divulgava atividades da Sociedade Goetheana de São Paulo, dedicada em expandir o interesse nos estudos da obra de Goethe, as quais incluíam três cursos, sendo um deles intitulado “A Arte do retrato ao tempo e Goethe e suas transformações até a nossa época”, ministrado por Adolf Arthur Pfeiffer (ASSOCIAÇÕES..., 1949, p. 7). No início dos anos 1950, outras notícias de jornais paulistanos e cariocas também mencionavam o pai de Pfeiffer, sempre como artista ou professor de arte e história da arte (MUSEU..., 1952, p. 9). É bastante provável, nesse sentido, que exista alguma imprecisão no relato de Wolfgang Pfeiffer sobre a chegada do seu pai ao Brasil.

Nos anos imediatos ao fim da guerra, os países aliados como Inglaterra, Estados Unidos, União Soviética e França constituíram um tribunal com o objetivo de julgar os crimes de guerra cometidos sobretudo pelos nazistas, que ficou conhecido como Tribunal de Nuremberg. Muitos ex-soldados e outros técnicos militares passaram a ser julgados e muitos desses grupos fugiram da Alemanha nesse contexto, assim como alemães que também não faziam parte desses grupos. A Argentina recebeu a maior quantidade de imigrantes alemães, que depois se espalharam para países como Brasil, Paraguai, Bolívia e Uruguai (MEINERZ, 2014, p. 42). De acordo com Frotscher (2015), milhões de refugiados e os chamados “deslocados de guerra” que estavam na Alemanha, foram enviados para seus países de origem, estando dentre eles cidadãos brasileiros, muitos acompanhados de familiares de cidadania alemã.

Apesar de depoimentos bastante detalhados dos pais de Pfeiffer, publicados num livro familiar, lançado por sua irmã Ulrike Julie Maria Pfeiffer (PFEIFFER, 2016), é difícil saber realmente o que aconteceu com o pai de Pfeiffer no pós-guerra. Embora tenha servido na guerra ao lado dos nazistas e sido preso pelos aliados, o historiador da arte teve uma inserção rápida e bem-sucedida na sociedade brasileira, trabalhando em museus de arte e sociedades paulistanas ligadas à cultura germânica. Apesar das conexões com o nazismo, os pais de Wolfgang Christian Pfeiffer, segundo esses relatos, tiveram suas vidas completamente afetadas pelos desdobramentos da política de Hitler, tendo que migrar para diferentes cidades para conseguir manter seus estudos e sua vida pessoal e material com os seis filhos (Wolfgang Christian Pfeiffer era o primogênito). A trajetória profissional de Wolfgang Adolf Arthur Pfeiffer no Brasil, foi, na verdade, bastante profícua, tendo se tornado reconhecido

nacionalmente pelo seu trabalho como historiador da arte, crítico e museólogo, ocupando várias posições de destaque, foi adido cultural do consulado geral da Alemanha, em São Paulo, de 1960 a 1977 e diretor do Museu de Arte Contemporânea (MAC) da USP, universidade na qual também foi professor.

Apesar da proeminente atuação de seu pai, os eventos traumáticos pelos quais passou Wolfgang Christian Pfeiffer ao longo dos seus primeiros anos de vida, influenciaram sua personalidade, relata Valéria Magalhães, marcada por uma generosidade e pela consciência da importância do auxílio mútuo.¹⁹¹ Embora Wolfgang Pfeiffer tenha sido um ator importante nas transformações ocorridas no Laboratório de Radioisótopos a partir da década de 1970, sua biografia é praticamente desconhecida, inclusive em trabalhos de história das ciências do Brasil, em contraste com os detalhes sobre a vida de seus pais e mesmo de ancestrais mais antigos (PFEIFFER, 2016).

Wolfgang Christian Pfeiffer relata não ter sido muito bom aluno, reprovando duas vezes, sendo uma delas no “terceiro científico”, apesar de já ter passado no vestibular da faculdade Mackenzie. Interessado por geologia, Pfeiffer foi para Ouro Preto, em Minas Gerais para estudar na renomada escola de geologia da cidade, mas desistiu logo no início do curso (PFEIFFER, 2017, p. 293). Ele migrou, então, para o curso de Farmácia e Bioquímica no ano de 1963, na Escola Federal de Farmácia e Bioquímica de Ouro Preto-MG.

Em 1966, quando estava no quarto ano concluindo seus estudos em bioquímica, o MEC modificou o currículo das escolas de farmácia, introduzindo a disciplina de radioquímica (PFEIFFER, 1994, 2017). Entretanto, como não havia professores suficientes capacitados para ministrar radioquímica, Pfeiffer, que já atuava como professor na Escola de Farmácia ensinando matemática e estatística, foi enviado ao Rio de Janeiro para participar do “Curso de Formação de Professores de Radioquímica para Faculdades de Farmácia”, ministrado por Eduardo Penna Franca no Instituto de Biofísica. “Então eu vim para o Rio de Janeiro, com a “cara e a coragem”, aluguei um *kitnet* em Copacabana e fui para o Instituto de Biofísica, que ficava na Praia Vermelha, em um prédio lindo, que eu tenho saudades até hoje, e foi demolido por razões políticas” (PFEIFFER, 2017, p. 293).

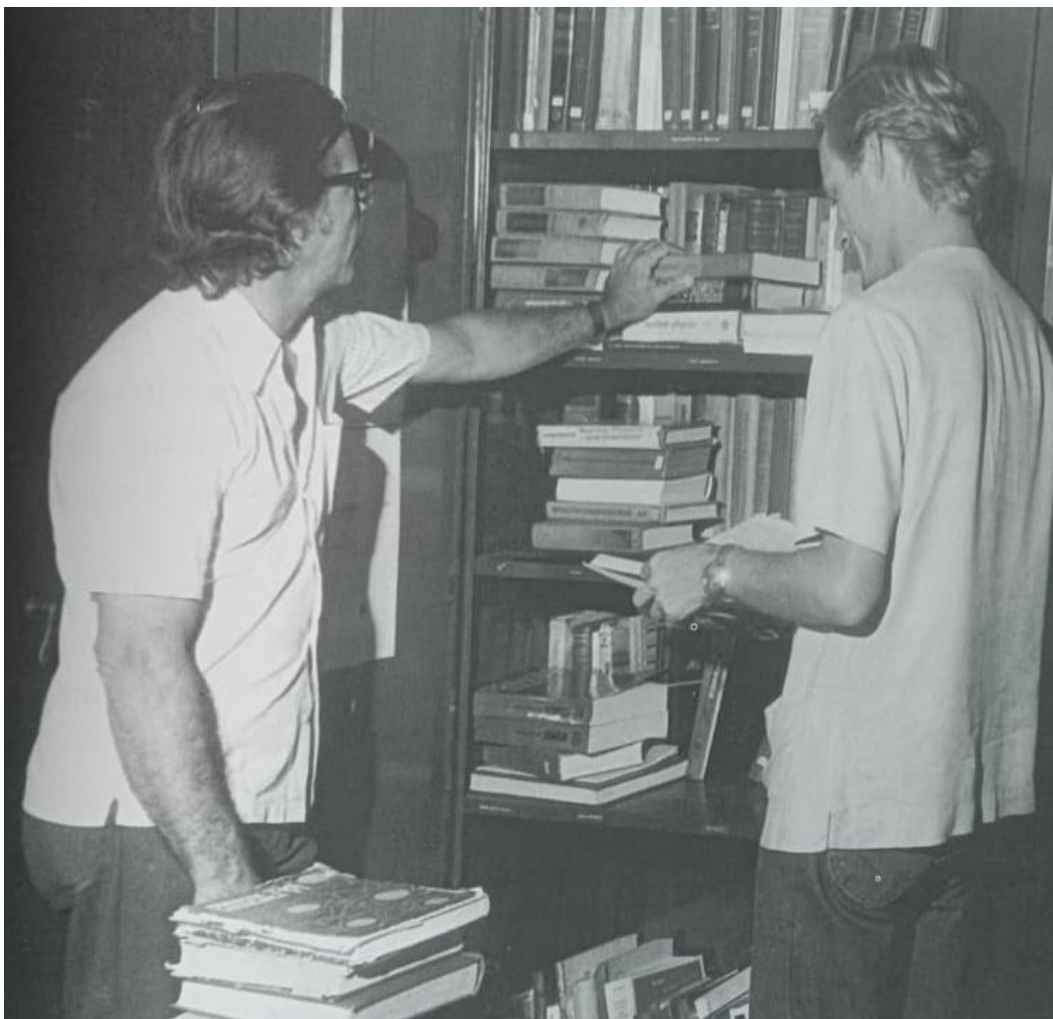
Antes do contato com estudos de radiação, o cientista se interessava por análises instrumentais, tendo estagiado durante sua graduação, em 1964, no Laboratório de Química Analítica da Fábrica de Alumínio em Saranha, Ouro Preto, e, em 1965, nos laboratórios de Bioquímica e de Fisiologia do Instituto Butantan, em São Paulo (PFEIFFER, 1994). No curso

¹⁹¹ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAEE: 47237621.3.0000.5241.

feito no Instituto de Biofísica em 1966, Pfeiffer teve contato próximo com as atividades do Laboratório de Radioisótopos e aprendeu, com Pedro Lopes dos Santos, a manipular e consertar “todos os equipamentos nucleares que havia no laboratório” (PFEIFFER, 2017, p. 294). O trabalho direto com equipamentos e aparelhos de laboratório acompanhou o cientista ao longo de sua trajetória, como veremos posteriormente. O curso no Instituto de Biofísica durou um mês, com aulas todos os dias, e, ao final, Pfeiffer relata ter “tirado o primeiro lugar”. Após retornar para Ouro Preto e concluir sua graduação, no final de 1966, o cientista conseguiu uma bolsa de estudos do Serviço de Intercâmbio Acadêmico do Governo Alemão (DAAD), e, entre 1967 e 1968, realizou estágio de aperfeiçoamento em análises químicas instrumentais na Universidade de Heidelberg. No Instituto de Química Orgânica da universidade, Pfeiffer aprendeu técnicas de espectroscopia infravermelha e ultravioleta, cromatografia à gás e espectroscopia de massa (PFEIFFER, 1994).

De acordo com Wolfgang Pfeiffer, sua estadia na Alemanha durou um ano com bolsa do governo Alemão, da CAPES e do Itamaraty, conseguida por Penna Franca (PFEIFFER, 2017, p. 295). Como já abordado anteriormente, a proximidade de pesquisadores do Instituto de Biofísica com instituições de fomento, graças à figura e às articulações de Carlos Chagas Filho, gerou certos privilégios para estudantes de áreas de interesse dos laboratórios do Instituto. Assim como Eduardo Penna Franca, Wolfgang Pfeiffer também parece ter obtido vantagens, antes mesmo de ingressar como estudante ou pesquisador no Instituto de Biofísica. No período em que estava na Alemanha, Pfeiffer casou com Meibel. Quando a bolsa que Pfeiffer recebia na Alemanha aproximava-se do fim, o jovem cientista começou a mandar várias correspondências para instituições brasileiras “pedindo emprego”. De acordo com seu depoimento, o único que o respondeu foi Penna Franca, em fevereiro de 1968, convidando-o a ingressar na pós-graduação do Instituto de Biofísica da UFRJ e vincular-se ao Laboratório de Radioisótopos (PFEIFFER, 1994, 2017).

Figura 41: Eduardo Penna Franca e Wolfgang Christian Pfeiffer, da esquerda para a direita. Sem data.



In: MALM, Olaf; PFEIFFER, Wolfgang Christian; BOTARO, Daniele. Eduardo Penna Franca. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de. Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2013, p. 169-190.

Aprovado na Pós-Graduação e com uma bolsa da CAPES (PFEIFFER, 2017, p. 295), Pfeiffer ingressou de fato como estudante no Biofísica, e alugou, com Meibel, um pequeno apartamento no bairro da Urca. Wolfgang relata a coesão e parceria do grupo do Instituto de Biofísica. “Em alguns fins de semana, Dr. Chagas nos chamava para almoçar na casa dele em Copacabana e íamos numa boa. Dr. Chagas foi uma figura marcante [...] Não só nos ensinava Ciência, mas cultura em geral (história na Grécia, egípcios, pensamentos filosóficos etc.)” (PFEIFFER, 2017, p. 297). Assim, Pfeiffer passou a conhecer toda a equipe, e recebeu uma mesa de trabalho no segundo andar do prédio da Praia Vermelha. Alguns dos estudantes, técnicos e pesquisadores com quem o cientista estudou e que contribuíram no início de seu trabalho foram Pedro Lopes dos Santos, Carlos Costa Ribeiro, Helena Arruda Trindade, Marlene Fizman, Nazyo Lobão e Helena Mossé. Com as disciplinas obrigatórias cursadas durante a pós-graduação, Pfeiffer ficou conhecendo todos os pesquisadores do Instituto, e, nos

intervalos, passou a “estudar profundamente o projeto de pesquisa em andamento no Laboratório: Estudo das Áreas Brasileiras de Elevada Radioatividade Natural” (PFEIFFER, 1994, p. 4).

Como mencionado no capítulo anterior, o programa de estudos de radioatividade natural compreendeu as regiões de Guarapari, Meaipe, Poços de Caldas e Morro do Ferro, numa extensão que ia da costa dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Sul da Bahia, abarcando também a região dos intrusivos vulcânicos, em Minas Gerais. Um dos principais objetivos do projeto era a determinação dos efeitos biológicos e ecológicos da exposição crônica às radiações ionizantes. Para tanto, foi estabelecida uma parceria entre o Instituto de Física da PUC-Rio, o Laboratório de Radioisótopos do IBCCF e o Environmental Medicine Center da Universidade de Nova York. No âmbito do projeto, Pfeiffer relata ter se familiarizado “com todos os passos da radioquímica, além de concentrar minhas atenções na radiometria” (PFEIFFER, 1994, p. 4).

No final do ano de 1968, prestes a dar início ao seu trabalho de tese, Pfeiffer foi contratado pela UFRJ como pesquisador colaborador (PFEIFFER, 1994). De acordo com seu relato de 2009, “surgiu uma vaga e o Professor Penna Franca me encaixou, de maneira que passei a ser funcionário da Universidade com um salário bem melhor” (PFEIFFER, 2017, p. 296). O interesse de Penna Franca em trazer Pfeiffer para o seu laboratório, parece estar relacionado, dentre outras coisas, com a necessidade de pessoal especializado para trabalhar nas análises radioquímicas e radiométricas do grande programa de pesquisa das áreas brasileiras de elevada radioatividade natural, que seguia em desenvolvimento naquele contexto. Wolfgang Pfeiffer inicialmente se vinculou ao grande projeto coordenado por Penna Franca, além de participar do levantamento pré-operacional para a instalação da usina nuclear de Angra 1. Segundo Pfeiffer, o convite para o Laboratório de Radioisótopos fazer o levantamento veio diretamente da CNEN, e o trabalho envolveu pesquisadores e técnicos da PUC e do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM). Apesar de já ter explorado alguns trabalhos de monitoração ambiental no período pré-operacional de Angra 1, é interessante explicitar como, a partir do trabalho de Pfeiffer, essas relações se transformaram em outras oportunidades dentro do laboratório.

No contexto dos trabalhos em Angra 1, por exemplo, o Laboratório de Radioisótopos ganhou do IPqM um aparelho de absorção atômica capaz de medir traços de metais. Isso coincidiu com o retorno de Chagas Filho da Europa, em 1970, e com a tentativa de Pfeiffer de introduzir no Laboratório de Radioisótopos novas técnicas analíticas baseadas em processos nucleares. De acordo com Pfeiffer, “como o projeto “Morro do Ferro” já estava caminhando

com grande sucesso”, o cientista se sentiu livre para propor trabalhos um pouco diferentes daquela agenda comandada por Penna Franca:

Optei pela “Análise por Ativação”, com fótons de alta energia, uma vez que o CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) possuía um acelerador linear adequado para tal propósito, produzindo reações (γ , n). Após o estudo das características das radiações produzidas pela máquina, assim como os microelementos passíveis a serem analisados em material biológico, concluímos que o Flúor e o Estrôncio eram os que apresentavam a maior probabilidade de sucesso (PFEIFFER, 1994, p. 4).

A máquina do CBPF era capaz de gerar fotos de 12 milhões de volts e ativar os elementos flúor e estrôncio. Entretanto, Pfeiffer precisava de algum método para comprovar seus resultados de ativação. Para o estrôncio, era possível utilizar o aparelho de absorção atômica doado pelo IPqM, mas ainda não se tinha um método eficaz para o flúor. Após um tempo, o cientista conseguiu resolver esse problema seguindo palpite de Chagas Filho, sobre a possibilidade de utilizar métodos colorimétricos (PFEIFFER, 2017, p. 297). Em 1972, Pfeiffer defendeu a tese intitulada ‘Análise por ativação de flúor e estrôncio em material biológico com fótons de alta energia’, que contou com o apoio da CAPES, CNEN e do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico (BNDE/FUNTEC). Os resultados da tese de Pfeiffer foram publicados em coautoria com seu orientador, Eduardo Penna Franca, primeiramente em 1973 na revista *Ciência e Cultura*, e, em 1974, no periódico internacional *Journal of Dental Research*. A tese recebeu o prêmio Almirante Álvaro Alberto na categoria louvor da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado da Guanabara.

O trabalho de Pfeiffer não apenas estabeleceu a análise por ativação de flúor e estrôncio, mas aplicou seus resultados básicos a um problema odontológico. A determinação do flúor em dentes era de interesse público devido à relação com as cáries e sua frequência. Já o estrôncio estável nos ossos e dentes se relacionava a estudos de incorporação de estrôncio-90, tais como já empreendidos anteriormente por Penna Franca. O resumo comentava que a pesquisa havia analisado flúor em dentes provenientes de diferentes regiões do Brasil, com variados índices de cáries, e de cidades onde era feita fluoretação da água. O processo de fluoretação, assim, para prevenção de cáries, foi avaliado através da determinação do flúor no esmalte dos dentes (PFEIFFER e PENNA FRANCA, 1971, p. 63). O artigo de 1973 na *Ciência e Cultura* abordou aspectos visando o aperfeiçoamento da análise por ativação, focado em seu emprego por um processo não destrutivo e levando em conta suas vantagens frente aos métodos convencionais, como análises repetitivas de uma mesma amostra, preservação de amostras valiosas e alta sensibilidade” (PFEIFFER e PENNA FRANCA,

1973, p. 141).

No ano seguinte, o artigo publicado na *Journal of Dental Research* já mencionava o método desenvolvido e aperfeiçoado por Pfeiffer como “confiável para acompanhar as variações no conteúdo de flúor de todo o dente ou estruturas dentárias por longos períodos de tempo, após diferentes tratamentos” (PFEIFFER e PENNA FRANCA, 1974, p. 646). O artigo em questão era direcionado aos dentistas, visando a aplicação prática dos achados da tese de Pfeiffer em clínicas odontológicas e na determinação dos meios mais eficientes de fluoretação (PFEIFFER e PENNA FRANCA, 1974, p. 646).

A publicação desse artigo em um periódico especializado em odontologia e o direcionamento prático das conclusões de Pfeiffer, são interessantes por partirem de um trabalho mais fundamental de radioquímica. As conexões entre pesquisas básicas experimentais, a estruturação de metodologias físico-químicas e instrumentos científicos, e aplicações sanitárias ou terapêuticas marcaram a prática científica desse grupo. Esses elementos estão presentes desde o início da trajetória de Eduardo Penna Franca, passando por Pfeiffer e culminando nos dias de hoje, com o Laboratório de Radioisótopos do IBCCF inserido no campo da chamada saúde ambiental.

De acordo com Pfeiffer, “os resultados obtidos, geraram, na época, grande polêmica na prática odontológica no tocante aos procedimentos de fulanização [sic] dentária tópica em população” (PFEIFFER, 1994, p. 5)¹⁹². Os jornais da época noticiavam com bastante frequência a cárie como problema social e a necessidade de fluoretação. Na edição do *O Globo* do dia 28 de abril de 1970, a “lei para fluoretação obrigatória das águas de abastecimento do país” (LEI..., 1970, p. 8) foi noticiada a partir da entrega do anteprojeto de lei para o representante do Ministro da Saúde por crianças, durante uma solenidade realizada no próprio auditório do jornal. Na edição de 17 de março de 1973, *O Globo* publicava sobre a aprovação do projeto pelo senado para fluoretação da água nos reservatórios (SENADO..., 1973, p. 11). Apesar da ampla campanha contra a cárie, havia muitas controvérsias sobre o tema. Na edição de 22 de março do mesmo ano, o jornal publicou a opinião do farmacêutico-químico Jullo Ximenes, que considerava que o projeto de fluoretação das águas deveria ser completamente abandonado, tanto pela suposta corrosão das tubulações, quanto pelos danos causados à saúde, “porque se acumula no fígado, podendo tornar-se tóxico para os que sofrem dos rins e provocar a fluorose nos dentes” (QUÍMICO..., 1973, p. 6). Apesar das críticas, as

¹⁹² Parece que aqui há um erro de digitação, pois, pelo contexto, Pfeiffer estaria se referindo à fluoretação dentária tópica, o que, de acordo com sua tese, seria pouco eficaz na prevenção das cáries em comparação com a fluoretação a partir das águas de abastecimento.

leis para fluoretação das águas foram aprovadas. Na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, uma notícia do *Jornal do Brasil* anunciava uma previsão de que em janeiro de 1977 a água já estaria com flúor (ÁGUA..., 1976, p. 13).

Em paralelo a sua tese de doutorado, os primeiros anos de Pfeiffer no Laboratório de Radioisótopos, como já mencionado, coincidiram com a predominância de trabalhos relacionados ao projeto de pesquisa sobre radioatividade natural e aos procedimentos pré-operacionais de Angra 1, ambos programas sob o comando de Penna Franca, que, aos poucos, dariam lugar a novas linhas de trabalho. Em 1972, no mesmo ano em que Pfeiffer terminou sua tese, Carlos Costa Ribeiro, outro pesquisador ligado ao Laboratório de Radioisótopos, também retornou de seu doutorado na *School of Engineering and Sciences*, da Nova York University, trazendo alguns modelos de uma câmara de ionização pressurizada e um analisador multicanal, contendo um detector de iodeto de sódio, aparelhos desenvolvidos pela Health and Safety Laboratory (HASL) da AEC. Essas máquinas serviam para medir doses de exposição às radiações naturais, e impulsionaram o grupo de Penna Franca a refazer as medições inicialmente feitas pelos padres físicos da PUC-Rio, Roser e Cullen, no início do projeto. As novas medições reforçaram a precisão das anteriores. As pesquisas de Pfeiffer e Costa Ribeiro também confirmaram as suspeitas já existentes de que uma das principais fontes de exposição radioativa da população se dava por inalação de radônio. Eles comprovaram que funcionários da Indústria M. Agostini no Rio de Janeiro, que produzia mantas de iluminação para lâmpões de querosene, estavam contaminados por radônio por inalação (PFEIFFER, 1994, p. 6).

De acordo com Pfeiffer (1994), esses trabalhos foram continuados e ampliados para as regiões de Itaorna, em Angra dos Reis-RJ, para a instalação do 1º reator de potência, de Poços de Caldas-MG, na 1ª Mina de Urânio do Brasil, e na região de Resende-RJ, devido a instalação de uma fábrica de combustíveis (PFEIFFER et al, 1981). Além de expandir as metodologias de medição das taxas radioativas em diferentes locais, a relação de trabalho com indústrias e contaminação estabeleceu-se como algo constante no escopo do Laboratório de Radioisótopos a partir desses projetos. A fim de avaliar o comportamento dos prováveis elementos radioativos que seriam liberados nos efluentes do reator de Angra 1, uma das principais atividades pré-operacionais consistia em conhecer o comportamento dos elementos homólogos estáveis. Esse trabalho só foi possível devido à utilização do espectrômetro doado pelo IPqM. Assim, a relação entre a metodologia com elementos radioativos e elementos não radioativos (como os homólogos), chamados de elementos-traço (os metais pesados), começou a ser estabelecida a partir desses trabalhos. Nesse sentido, existe uma conexão direta

que pode ser visualizada na trajetória profissional de Pfeiffer entre os trabalhos com radioatividade natural iniciados por Penna Franca na década de 1960, os trabalhos de medição das taxas de radiação ambiental nas atividades pré-operacionais de Angra 1, e o início dos estudos com contaminação e metais pesados.

Além da sua primeira experiência no Instituto de Química da Universidade de Heidelberg, na Alemanha, seu memorial e as poucas informações existentes sobre a sua biografia mencionam suas passagens por outras instituições nacionais e internacionais, como outros estágios na Alemanha em 1973, no Health and Safety Laboratory de Nova York e no Institute for Environmental Medicine da New York University, em 1974, além de cursos em Porto Rico e no CENA, em Piracicaba-SP:

Quando terminei minha tese, fui para os Estados Unidos, para a New York University, e fiquei lá um bom período com o Dr. Heisenberg, que era nosso guia americano [...] Depois, fui mandado para Porto Rico, onde fiz um curso de três meses numa república dos latino-americanos e aprendi muito sobre os principais aspectos dos métodos em radioterapia com manipulação de radioisótopos, tendo um forte componente de proteção. Quando voltei, o reator de Angra 1 já estava acabando e eu tinha que fazer alguma coisa. Lembrei-me do aparelho de absorção e passei a estudar o ecossistema do estado do Rio de Janeiro, começando pela Guanabara, que tinha uma brutal contaminação de cromo, que até hoje é a maior causa de contaminação relatada. Depois, passamos para a Baía de Sepetiba, que tinha grandes indústrias e os restos de uma metalúrgica que abandonou sua bacia de rejeitos contendo cádmio e zinco (ambos tóxicos), que ainda vazam para a Baía (PFEIFFER, 2017, p. 297-298).

O contato com o grupo de ‘medicina ambiental’ da New York University, mas também com Carlos Costa Ribeiro, no contexto de todas essas dinâmicas sobrepostas de pesquisa na mesma primeira metade da década de 1970, culminaram em novas linhas de pesquisa relacionadas com metais pesados, que passariam, nas próximas décadas, a demarcar cada vez mais a natureza das atividades do Laboratório de Radioisótopos.

4.1.2 Carlos Costa Ribeiro e os projetos de poluição atmosférica e poluição dos sistemas hídricos

Os projetos de pesquisa com metais pesados no IBCCF começaram com um pequeno grupo de pesquisadores formado por Wolfgang Christian Pfeiffer, Carlos Costa Ribeiro, Helena Arruda Trindade e Marlene Fizman. Enquanto Carlos Costa Ribeiro coordenava um projeto sobre a poluição atmosférica na cidade do Rio de Janeiro, utilizando metais pesados como traçadores de possíveis fontes antropogênicas, Wolfgang Pfeiffer iniciou seu próprio

projeto sobre a poluição dos sistemas hídricos da mesma região por metais pesados (PFEIFFER, 1994).

Apesar de ter feito sua formação quase que inteiramente no exterior, Carlos Costa Ribeiro trabalhou durante algumas décadas no IBCCF, iniciando sua carreira neste instituto ainda aos 17 anos, a convite do próprio Carlos Chagas Filho, que era seu tio de consideração devido a amizade que mantinha com seu pai, o cientista Joaquim da Costa Ribeiro (1906-1960).¹⁹³ A proximidade entre eles era tamanha que seu nome, Carlos, havia sido dado em homenagem à Chagas Filho. Com o convite do diretor do Instituto, Costa Ribeiro foi apresentado a Eduardo Penna Franca, que passaria a orientá-lo no recém-criado Laboratório de Radioisótopos. Apesar do contato precoce com o IBCCF, Carlos Costa Ribeiro não fez sua formação acadêmica na UFRJ, e, mesmo quando trabalhou na instituição, ficou até seus 43 anos de idade, partindo, depois, para a iniciativa privada. Embora tenha escolhido não se dedicar inteiramente ao IBCCF, sua contribuição foi fundamental para os trabalhos no Instituto, em especial para a formação de novas linhas de estudo com ecossistemas e metais pesados.

Carlos Costa Ribeiro iniciou sua formação acadêmica em química na Escola Superior Técnica de Viena (Technische Hochschule Wien), na Áustria. Embora já tivesse muito contato com cientistas e laboratórios, como relata em um texto de memórias publicado em 2010 (RIBEIRO, 2010), a formação no exterior ocorreu por ter tido de acompanhar seu pai e os seis irmãos para Viena em 1958, devido ao convite que Joaquim da Costa Ribeiro recebeu para exercer o cargo de diretor da divisão de intercâmbio e treinamento da AIEA, com sede em Viena. Diferentemente de Pfeiffer, Costa Ribeiro precisou fazer um curso intensivo de alemão para ingressar na Universidade de Viena. Entretanto, o adoecimento de seu pai ocasionou o retorno da família ao Brasil no final de 1959. Assim, Costa Ribeiro ingressou no curso de química da Faculdade Nacional de Filosofia (FNFfi), da Universidade do Brasil, se formando em 1963.

Com o falecimento de seu pai, em julho de 1960, Costa Ribeiro conseguiu, com a ajuda de Chagas Filho, um estágio remunerado no Laboratório Nacional de Análise de Urânio e Tório, da CNEN, que ficava próximo do IBCCF, na Praia Vermelha. Em 1962, ele ingressou no Instituto de Biofísica, pois seu trabalho era de interesse para o Laboratório de

¹⁹³ Joaquim da Costa Ribeiro nasceu no Rio de Janeiro, no dia 08 de julho de 1906 e faleceu em 29 de julho de 1960. Formou-se em engenharia civil e mecânica-eletricista em 1928 na Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil e foi professor do Departamento de Física da Faculdade Nacional de Filosofia. Foi presidente da Comissão de Energia Atômica do CNPq, em 1956, e membro da CNEN. Seu nome também está associado à descoberta do chamado ‘efeito termodielétrico’.

Radioisótopos, sobretudo naquele contexto, no qual se iniciava o programa de pesquisas nas regiões de elevada radioatividade natural. Antes do ingresso na equipe, entretanto, Costa Ribeiro foi treinado por Carlos Pires Ferreira, no laboratório da CNEN no trabalho com amostras radioativas, medindo teor de urânio por fluorescência e buscando estabelecer métodos de determinação quantitativa de baixas concentrações de tório em materiais biológicos, por um processo chamado ‘turbidimétrico’. Nesse contexto, Costa Ribeiro já estava em íntimo diálogo com Penna Franca, cumprindo orientação de Chagas Filho sobre reportar seus achados ao Laboratório de Radioisótopos (RIBEIRO, 2010, p. 69).

Carlos Costa Ribeiro foi também um dos pesquisadores mais ativos nos anos iniciais de elaboração do que ele chama de ‘Projeto Guarapari’, o programa de estudos radioecológicos e radioepidemiológicos nas regiões brasileiras de alta radioatividade natural.

Minha participação no projeto foi rapidamente definida. Eu ficaria responsável pelos trabalhos de campo relacionados à coleta de amostras de alimentos produzidos nas áreas de estudo habitadas, isto é, Guarapari e Meaiepe (ES) e Araxá e Tapira (MG). O objetivo era determinar a concentração de radioatividade nesses alimentos e quantificar sua ingestão pelos moradores. Além disso, também fiquei responsável pela coleta e análise de amostras de excreta humana (urina e fezes) e de outros materiais biológicos, como dentes e placentas humanas. A coleta desses últimos era feita com o apoio de dentistas dos serviços de saúde locais e de parteiras indicadas pelos médicos das regiões em estudo. O objetivo da coleta e da análise dessas amostras biológicas de origem humana era a obtenção de indicações indiretas dos níveis de acúmulo da radioatividade no corpo dos habitantes das áreas em estudo. [...] De volta ao laboratório, era de minha responsabilidade terminar o preparo das amostras e, em seguida, distribuí-las aos demais pesquisadores da equipe: Helena Londres, Helena Trindade, Marlene Fiszman e Nazyo Lobão, responsáveis pelas análises radioquímicas, e Wolfgang C. Pfeiffer, responsável pelos ensaios por espectrometria gama. A meu cargo ficavam ainda as determinações radiométricas por cintilometria alfa-total (RIBEIRO, 2010, p. 74).

Em paralelo aos trabalhos com o Projeto Guarapari, Costa Ribeiro relata que “naqueles anos turbulentos do início da década de 1960”, o IBCCF recebia muitos cientistas estrangeiros que, geralmente, ministravam conferências para alunos do instituto e de outras universidades. O químico e prêmio Nobel Linus Pauling visitou duas vezes a instituição, sendo uma delas em 1964, e, nesse mesmo ano, o bioquímico belga Marcel Florkin deu uma palestra intitulada “Ecologia e Evolução Biológica”. Esse tema “não podia ser mais oportuno, tendo em vista meu envolvimento com o Projeto Guarapari”. De acordo com o relato do próprio cientista, a conexão entre o trabalho de campo e de laboratório com as medições de radiação, e as palestras com cientistas renomados abordando temas de química, ecologia e radiação a partir de novas perspectivas, “foram importantes para minha formação

profissional” (RIBEIRO, 2010, p. 75).

Ainda como parte do Projeto Guarapari, Costa Ribeiro viajou para os EUA, em janeiro de 1967, para cursar seu mestrado em *Environmental Health Sciences*, no Institute of Environmental Medicine da New York University, sob orientação de Merrill Eisenbud, que era parceiro de Penna Franca no programa de pesquisas de Guarapari, Meaipe, Araxá e Tapira desde a formação inicial do projeto. Ainda com Eisenbud, Costa Ribeiro cursou o doutorado. Em ambos os trabalhos, seu foco estava na determinação quantitativa da concentração do gás radônio-222 no ar, através de um processo ionográfico. O desdobramento desses trabalhos já foi comentado acima, a partir da visão de outro componente do projeto, Wolfgang Pfeiffer.

Costa Ribeiro retornou para o IBCCF em janeiro de 1970, num contexto onde a pós-graduação já estava credenciada pela CAPES, e o programa do Instituto de Biofísica consolidado. No final de 1971, a Faculdade de Medicina da UFRJ organizou um simpósio para definir qual seria a posição brasileira a ser publicizada na 1ª Conferência da ONU sobre o Homem e o Meio Ambiente, a Conferência de Estocolmo, ocorrida na Suécia em 1972. O evento foi um marco por ter sido a primeira grande reunião da ONU sobre o tema do meio ambiente, e esteve relacionado, de acordo com Lago (2006), a um descontentamento crescente de vários setores da sociedade sobre o tema da poluição e da ‘preservação da natureza’. “A atenção da opinião pública e as pressões políticas verificaram-se principalmente nos países industrializados, onde as comunidades científicas e um número crescente de organizações não-governamentais conquistavam amplo espaço para a divulgação de suas denúncias e alertas” (LAGO, 2006, p. 18). ONGs como o *World Wildlife Fund* (WWF), fundado em 1961, e o *Green Peace*, criado em 1971, ganhavam espaço em âmbito internacional. Além disso, eventos trágicos como a intoxicação de mercúrio por pescadores japoneses da região de Minamata, em 1956¹⁹⁴, e o naufrágio do navio petroleiro Torrey Canyon, em 1967 no Reino Unido, atraíram a atenção para o tema da poluição ambiental.

Em 1968, a UNESCO havia organizado a Conferência sobre a Biosfera, ocorrido em Paris, evento que se tornou um símbolo da tomada de consciência sobre a degradação da qualidade ambiental do planeta. Nesse mesmo período, um grupo de cientistas que ficou conhecido como Clube de Roma começou a sensibilizar a opinião pública a partir da produção e divulgação de dados alarmantes com projeções matemáticas de cunho malthusiano que apontavam para a incapacidade de a Terra manter-se sustentável com o crescimento

¹⁹⁴ A História da ‘doença de Minamata’ e a contaminação dos pescadores por mercúrio ainda serão exploradas neste capítulo.

populacional e catástrofes ecológicas. Em 1972, no ano da conferência de Estocolmo, o grupo lançou o livro “Os Limites do Crescimento”, no qual expunha as suas principais conclusões de estudos feitos no chamado Projeto sobre o Dilema da Humanidade. O livro concluía que a continuidade das curvas de crescimento populacional, industrialização, poluição, produção de alimentos e redução de recursos naturais apontava para um esgotamento dos limites do planeta em cem anos. Propunha, assim, uma modificação dessas tendências por meio de um planejamento capaz de assegurar a manutenção da estabilidade ecológica e econômica, além de convocar a sociedade a se engajar o mais cedo possível nessa reforma (MEADOWS et al, 1972, p. 20).

A proposta do Clube de Roma foi concebida num contexto marcado “pelo forte questionamento tanto do modelo ocidental de desenvolvimento quanto do modelo socialista” (LAGO, 2006, p. 26). Essas proposições de ordem ecológica que apontavam para a possibilidade de resolver, de modo prático, o “dilema da humanidade”, circulavam sobretudo em países ricos do ocidente, que vinham discutindo o tema desde a publicação de obras de grande circulação como o livro “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson, publicado originalmente em 1962¹⁹⁵. No hoje clássico livro de Carson, a bióloga não tinha como maior preocupação o problema da população, mas sim da utilização exacerbada de poluentes como os agrotóxicos e pesticidas (como o DDT) durante as décadas de 1940 e 1950.

Apesar do livro de Carson focar sua crítica no uso intensivo do controle químico de pragas, sua narrativa já apelava, a partir de uma visão planetária, para a possível irreversibilidade dos processos de degradação ambiental. Ainda assim, de acordo com Lago (2006), o livro de Carson, assim como outros publicado entre as décadas de 1960 e 1970, não teve o impacto político internacional de *Limites do Crescimento* (1972). Outro livro que teve forte impacto ainda antes da conferência de Estocolmo foi *Blueprint for Survival*, de janeiro de 1972, escrito por Edward Goldsmith e lançado pela revista *The Ecologist*, e que defendia propostas como a de limitar a população mundial a 3,5 bilhões, proibir processos de imigração e o controle da demografia.

De acordo com Le Prestre (2005), vários motivos podem ser elencados como antecedentes para a realização da conferência de 1972, como o aumento da cooperação científica internacional durante a década de 1960, assim como o aumento da publicidade de

¹⁹⁵ No trabalho de Lago (2006), o autor cita também os livros *This Endangered Planet* (1971), de Richard Falk, *The Tragedy of Commons* (1968) e *Exploring New Ethics for Survival* (1972), ambos de Garrett Hardin. Essas obras trouxeram para a opinião pública o debate sobre o impacto da vida humana na Terra, demarcando o início de debates propostos pelos emergentes movimentos ambientalistas.

problemas ambientais e catástrofes, o crescimento econômico acelerado e transformações de ordem urbana. Questões como o fenômeno das chuvas ácidas, a poluição de mares como o Mar Báltico, além da acumulação de metais pesados e de pesticidas em aves, peixes e plantas foram alguns dos aspectos envolvidos nesses processos. No tocante ao setor produtivo, Lago (2006) menciona que a indústria em geral se opunha fortemente à elaboração e aperfeiçoamento de legislações ambientais, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento (LAGO, 2006, p. 32).

Para Carlos Costa Ribeiro (2010), as teses do Clube de Roma eram particularmente polêmicas e sensíveis a países em desenvolvimento, como o Brasil. O cientista foi convidado por Chagas Filho a participar do evento em Estocolmo, sendo apresentado, nesse contexto, ao cientista Miguel Osório de Almeida, que representou o Itamaraty e foi peça chave na elaboração do chamado Relatório Founex:

Esse documento preparatório para a conferência de Estocolmo acabou subscrito pelo Brasil e por um grupo expressivo de nações em desenvolvimento que defendiam a tese de que a ‘poluição da pobreza’ – isto é, aquela provocada pelas consequências do subdesenvolvimento, que não deixa espaço nem recursos para os esforços em defesa da conservação ambiental – talvez fosse mais devastadora do que a chamada ‘poluição do desenvolvimento’, causada pela industrialização (RIBEIRO, 2010, p. 78).

Com a articulação de cientistas brasileiros nessa discussão, incluindo o próprio Costa Ribeiro, o Brasil foi responsável por levantar o debate, em âmbito internacional, sobre a relação entre pobreza e meio ambiente (RIBEIRO, 2010). O relatório da Delegação Brasileira à Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (1972) foi bastante crítico em relação às propostas de controle demográfico, como por exemplo, as defendidas em ‘Limites do Crescimento’. O documento afirma que os ditos “problemas ambientais” deveriam ser melhor situados geograficamente, pois dessa forma seria perceptível que estes são encontrados quase que exclusivamente nos países desenvolvidos, associando-se a condições do desenvolvimento industrial (RELATÓRIO..., 1972, p. 4). Nesse sentido, “quer por convicção quer por conveniência”, alguns grupos estariam associando as causas dos “distúrbios ambientais com o “excesso” de população, isto com o objetivo de procurar um equilíbrio demográfico satisfatório nos países desenvolvidos, mas de promover indiscriminadamente o controle populacional do Terceiro Mundo” (RELATÓRIO..., 1972, p. 5).

O documento também apontava as metodologias discutíveis do tal Clube de Roma, “na medida em que as previsões são feitas segundos modelos matemáticos que não refletem

integralmente a realidade” (RELATÓRIO..., 1972, p. 6). A posição definida do Brasil na esfera diplomática sobre quais seriam as melhores atitudes frente aos “distúrbios ambientais” na oposição das propostas de países desenvolvidos com estudos apoiados por grandes empresas, demarcava sua posição como país subdesenvolvido, na linguagem da época. Para além disso, relacionava-se, na dimensão do laboratório, com agendas de pesquisa que se iniciavam naquele momento, concentradas no estudo da contaminação ambiental oriunda de diversas fontes antropogênicas. A rarefação dessas fontes, bem como sua diversidade, sendo ela vindo de atividades industriais, de extrativismo ou da ‘pobreza’, será também um aspecto importante na trajetória desses estudos. Ou seja, o problema, que começava a ser amplamente debatido em fóruns como Estocolmo no início da década de 1970, se mostraria, com o desenrolar das pesquisas do Laboratório de Radioisótopos em ecologia de ecossistemas, muito mais complexo do que as resoluções propostas para o “dilema da humanidade”.

O foco do projeto coordenado por Carlos Costa Ribeiro era estudar tanto a radioatividade quanto outros tipos de contaminantes a partir do monitoramento, em especial dos metais pesados, em partículas microscópicas de poeiras oriundas de atividades humanas e persistentes em suspensão na região baixa da atmosfera (troposfera), na qual fica o oxigênio que respiramos. “Essas partículas contendo metais pesados são emitidas, por exemplo, por incineradores de lixo domiciliar, por veículos automotores e por todas as atividades industriais” (RIBEIRO, 2010, p. 79). O projeto desenvolvido em parceria com, seu colega do Instituto de Medicina Ambiental da New York University Michael Kleiman, tinha como objetivo principal “a identificação e quantificação das fontes de emissão desses poluentes atmosféricos, usando metais pesados específicos como traçadores na região metropolitana do Rio de Janeiro” (RIBEIRO, 2010, p. 79). De acordo com Costa Ribeiro, era a primeira vez que se realizava um estudo como aquele, voltado para atividades industriais localizadas nas latitudes tropicais, com condições climatológicas diferentes das encontradas, por exemplo, em estudos desenvolvidos para as regiões do hemisfério norte (RIBEIRO, 2010).

A falta de estudos específicos para a região tropical, e, por conseguinte, o desconhecimento de possíveis efeitos prejudiciais de atividades como a incineração do lixo urbano e a prática de adição de chumbo à gasolina foi uma justificativa importante do projeto de Ribeiro. Parte do lixo urbano no Rio de Janeiro era queimada em incineradores prediais de baixa eficiência, o que contribuía para a contaminação atmosférica de toda a região. No caso da adição de chumbo, que tinha o objetivo de melhorar a combustão dos motores dos automóveis, tratava-se de uma importante fonte de poluição atmosférica. Ambas as situações traziam um enorme risco para a saúde humana, devido à inalação de partículas poluentes da

atmosfera, e que possuíam um diâmetro pequeno:

Tendo em vista que nosso projeto foi conduzido justamente no momento em que se discutia tanto a poluição da incineração predial de lixo urbano quanto a eliminação da prática de adição de chumbo à gasolina, pudemos coletar dados antes e depois da desativação dos incineradores e do fim da adição de chumbo à gasolina, pela Petrobrás. Com isso, tivemos a oportunidade de avaliar de forma elegante o impacto positivo dessas duas ações na melhoria da qualidade do ar que as pessoas respiram no Rio de Janeiro (RIBEIRO, 2010, p. 79).

De acordo com Pfeiffer (1994), em 1974 Carlos Costa Ribeiro passou a dividir suas atividades no Laboratório de Radioisótopos com trabalhos fora da universidade. Helena Arruda Trindade assumiu grande parte das suas funções. Apesar disso, o projeto de poluição atmosférica desenvolveu-se de forma sistemática até pelo menos 1982, “quando Carlos deixou a Universidade para se dedicar integralmente à iniciativa privada e Helena, solicitando licença sem vencimentos, se transferiu para os USA a fim de acompanhar o marido que fora convidado a trabalhar na ONU” (PFEIFFER, 1994, p. 8). Outro aspecto importante relatado por Pfeiffer é como, apesar do início dos trabalhos com metais pesados, o Laboratório de Radioisótopos, na sua “situação privilegiada [...] nunca deixou de lado sua tradição na utilização de traçadores radioativos” (PFEIFFER, 1994, p. 8). Os radioisótopos continuaram sendo utilizados em conjunto com outras técnicas, para a determinação de rendimentos químicos e para o controle de qualidade das medidas realizadas pelos grupos do laboratório. Eles apresentavam a vantagem de ser uma técnica não-destrutiva, pouco complexa em termos experimentais e que fornecia dados rápidos (PFEIFFER, 1994, p. 8).

É interessante perceber que havia uma espécie de defesa do uso dos radioisótopos, mesmo diante da disseminação e desdobramento de outras linhas de pesquisa dentro do Laboratório, que até os dias atuais leva os radioisótopos no nome (Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-LREPF). Além disso, parece existir também uma relação de dependência dos métodos radioisotópicos, não apenas como tradição de pesquisa, mas, como o próprio cientista aponta, como a “única ferramenta de trabalho disponível” (PFEIFFER, 1994, p. 8). Com o apagar das luzes do século XX, os radioisótopos teriam cada vez mais suas potencialidades substituídas por outros métodos, mas os cientistas do Laboratório de Radioisótopos conseguiram, em suas atividades, manter uma conexão entre as novas agendas de pesquisa e o trabalho “tradicional” com eles. Essa transformação foi gradativa e começou a se desenvolver, sobretudo, a partir da década de 1970, com os projetos de Pfeiffer e Costa Ribeiro. Esses mesmos cientistas mantiveram, de diferentes formas, a radiação como um dos seus principais objetos de pesquisa.

Costa Ribeiro relata, por exemplo, a participação de seu grupo em projetos que uniam o tema da radiação com a linha de pesquisa de poluição na cidade do Rio de Janeiro. Em colaboração com o Health and Safety Laboratory (HASL), foi desenvolvido um projeto para medir as concentrações de plutônio-238 no solo da cidade. Semelhante ao estrôncio-90 decorrente da precipitação nuclear (*fallout*), que fora estudado por Penna Franca e pelo Laboratório de Radioisótopos na década de 1950, o plutônio-238 possuía características parecidas com o cálcio, representando um risco radiológico por não ser diferenciado do cálcio pelo metabolismo humano, além de ser um elemento radioativo artificial, não encontrado na natureza. O plutônio que iriam medir provinha de um satélite norte-americano que se desintegrou sobre o Oceano Índico em 1964, espalhando o isótopo por toda a superfície terrestre no atrito do satélite com a atmosfera (RIBEIRO, 2010, p. 79-80).

Assim como os acidentes nucleares de Windscale, no Reino Unido, em 1957; em Chelyabinsk, na Rússia, também em 1957; em Three Mile Island, nos EUA, em 1979 e em Chernobyl, na Rússia, em 1986, acidentes que espalharam radioisótopos nos oceanos também contribuíram para a contaminação radioativa no meio ambiente (FIGUEIRA e CUNHA, 1998). Entre esses acidentes estão o do satélite SNAP 9A, em 1964, e o do avião norte-americano B-52, em 1968. O estudo de baixas concentrações do plutônio-238 dependeu do desenvolvimento de uma nova tecnologia no HASL¹⁹⁶, em Nova York, para onde Costa Ribeiro retornou para fazer seu treinamento no uso dos novos equipamentos, e, retornando ao Brasil, continuou o projeto juntamente com Pfeiffer. Os trabalhos com o plutônio-238 e as baixas concentrações de radionuclídeos geraram expertise para a realização dos levantamentos radiométricos no contexto do licenciamento de Angra-1. De acordo com Costa Ribeiro, a única instituição que detinha a tecnologia e a experiência para cumprir as exigências da AIEA era o Laboratório de Radioisótopos (RIBEIRO, 2010, p. 80).

Em 1973, Costa Ribeiro retornou mais uma vez à New York University, para defender sua tese. Nesse mesmo ano, Eduardo Penna Franca foi designado para a direção do Instituto de Biofísica, que saía da Praia Vermelha rumo à cidade universitária da UFRJ. Acumulando dois cargos, em 1974 Penna Franca designou Costa Ribeiro para a chefia do Laboratório de Radioisótopos, mas, como vimos, ele passou a dividir seu tempo no Instituto de Biofísica com o trabalho em uma empresa brasileira de engenharia e consultoria, a Promon Engenharia S.

¹⁹⁶ Tratava-se de um cintilômetro associado a uma câmara de ionização pressurizada a 25 atmosferas. Costa Ribeiro e Pfeiffer tiveram de selecionar áreas planas para as medições, que não tivessem sido modificadas até a data do acidente do satélite. Assim, foram selecionados um gramado do Jardim Botânico e um gramado próximo a residência do embaixador dos EUA, na rua São Clemente (RIBEIRO, 2010, p. 80).

A., à qual passou a se dedicar integralmente a partir de 1982.

O projeto de estudos da poluição atmosférica no Rio de Janeiro englobou duas áreas distintas da cidade, sendo São Cristóvão na zona norte e Copacabana, na zona sul. No desenvolvimento do projeto coordenado por Costa Ribeiro e com participação de Wolfgang Pfeiffer, houve um saldo de aprendizado de novas metodologias de medição e de expertise em novos aparelhos. Vários dos achados do projeto dialogavam com levantamentos que estavam sendo feitos pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), criada em 1975. Em 1981, o artigo intitulado *Atmospheric Concentration of Metals and Total Suspended Particulates in Rio de Janeiro* foi publicado no periódico *Environmental Science & Technology*, da American Chemical Society, assinado por Helena Trindade, Wolfgang Pfeiffer, Helena Londres e Carlos Costa Ribeiro, sendo um dos documentos mais bem acabados dos trabalhos sobre poluição atmosférica pelo grupo.

Os dados da publicação referiam-se aos estudos feitos entre agosto de 1975 e abril de 1978, nos bairros cariocas já mencionados acima. O que se buscou medir foi o chamado TPS, o Total de Partículas em Suspensão, que em São Cristóvão e Copacabana apresentavam médias maiores ($100\mu\text{g}/\text{mg}^3$)¹⁹⁷ que o máximo permitido pela legislação brasileira da época ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$). Em São Cristóvão foram encontrados os maiores níveis de metais de origem antropogênica, devido às atividades industriais da região, e, em Copacabana, o “spray marinho” representava 21% do material particulado (PFEIFFER, 1994, p. 10). Aspectos importantes do ponto de vista social e sanitário, como a falta de visibilidade de aeroportos ou a grande incidência de doenças respiratórias, foram correlacionados às consequências das altas concentrações de poluentes entre maio e agosto. A variação sazonal registrada foi explicada por fatores meteorológicos e ambientais, como a velocidade de ventos e chuva, e a umidade relativa (TRINDADE et al, 1981).

A publicação concluiu que em relação à incineração do lixo urbano, prática proibida por lei desde abril de 1977, não houvera nenhum decréscimo nas concentrações dos níveis de material particulado, apesar de ter ocorrido uma queda das concentrações de alguns elementos, mas provavelmente por suas fontes poluidoras já terem sido proibidas. O nível de chumbo registrado na atmosfera, mostrou, por sua vez, relação direta com a prática corrente de adição de chumbo à gasolina, que se comprovou como “a principal fonte deste elemento na atmosfera do Rio de Janeiro” (PFEIFFER, 1994, p. 10). O artigo de 1981 alertou para a necessidade de controlar as emissões de veículos automotores, apesar de indicar que, em

¹⁹⁷ $\mu\text{g}/\text{mg}^3$ refere-se a medida de microgramas por metros cúbicos.

pouco tempo, esse quadro se modificaria devido à crise energética. “Os preços da gasolina estão aumentando muito rapidamente¹⁹⁸, e o álcool etílico está sendo usado regularmente como combustível, tanto puro quanto misturado à gasolina no Rio de Janeiro” (TRINDADE et al, 1981, p. 88). Além do projeto liderado por Costa Ribeiro, a FEEMA também desenvolvia trabalhos de medição da poluição atmosférica e promovia o tema em palestras. Em janeiro de 1979, por exemplo, a engenheira química Vitória Braile, chefe do órgão, afirmou no 1º Ciclo de Estudos Sobre Poluição no Estado, realizado na Universidade Santa Úrsula, que os bairros do Méier, Bonsucesso e Penha eram os locais da zona norte do Rio de Janeiro mais atingidos pela poluição atmosférica, sendo a Ilha do Governador um dos menos poluídos (POLUIÇÃO..., 1979, p. 24).

Na década de 1970, a poluição atmosférica tornou-se preocupação crescente em todo o mundo. Novas agendas de pesquisa, como no caso de nossos personagens, passaram a destacar a ligação direta entre as emissões industriais e os problemas de qualidade do ar. Durante esse período, o smog fotoquímico, resultante das reações entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, atingiu níveis alarmantes em cidades como Los Angeles. A crise do petróleo em 1973 também destacou a dependência dos combustíveis fósseis e incentivou esforços para buscar fontes de energia mais limpas. Em 1974, a descoberta do buraco na camada de ozônio sobre a Antártica por cientistas do British Antarctic Survey trouxe à tona as preocupações com os produtos químicos prejudiciais, como os CFCs, presentes em aerossóis e refrigerantes.

De acordo com Mosley (2014), após a Segunda Guerra Mundial, os problemas de poluição atmosférica relacionados à indústria automobilística aumentaram gradativamente, dos países desenvolvidos para aqueles em desenvolvimento. Além disso, “a rápida ascensão de sistemas de transporte centrados no automóvel – com elevados níveis de utilização individual do automóvel – levou a um problema de poluição atmosférica que era difícil de controlar” (MOSLEY, 2014, p. 160). Esses aspectos, assim como o lixo urbano e as atividades industriais da cidade, foram alguns dos principais elementos relacionados a esses primeiros estudos brasileiros de poluição atmosférica. Já no caso dos estudos de poluição dos sistemas hídricos, além das atividades industriais, outros elementos se aglutinavam.

4.1.3 O início dos estudos em ecologia de ecossistemas em ambientes aquáticos do Rio de

¹⁹⁸ O tema da crise energética, não apenas a do petróleo, em 1973, mas as modificações sobre os combustíveis utilizados em automóveis, já foram brevemente tratados nesta tese.

Janeiro

De acordo com o memorial de Wolfgang Pfeiffer (1994), o tema dos metais pesados nos ecossistemas aquáticos era muito pouco conhecido quando os trabalhos do grupo se iniciaram. Situado no Rio de Janeiro, o grupo de Pfeiffer escolheu inicialmente a Baía de Guanabara como espaço e objeto de suas investigações. Essa escolha era, para Pfeiffer, algo feito “por razões óbvias: a localização, o contato humano e seu uso” (PFEIFFER, 1994, p. 9). Ou seja, assim como no projeto de estudos da poluição atmosférica, coordenado por Costa Ribeiro e depois por Helena Trindade, buscava-se aproximar do laboratório com problemas de ordem cotidiana, inicialmente bastante ligados à vida urbana na cidade do Rio de Janeiro. A escolha assim, da Baía de Guanabara, tal como no caso das medições de TPS em São Cristóvão e em Copacabana, tinha essa preocupação integrada na nova linha de investigação científica.

Importante símbolo da cidade do Rio de Janeiro, a gradativa poluição da Baía de Guanabara refletiu o rápido crescimento populacional, a urbanização desordenada e a falta de infraestrutura para o tratamento de esgoto e resíduos industriais da região. O lançamento de esgoto não-tratado e de produtos químicos resultou em uma degradação acentuada da qualidade da água e dos ecossistemas marinhos (SEDREZ, 2004). Esse processo passou a ser publicizado de forma mais intensa a partir da década de 1970, o que não significa que antes disso a baía não sofresse com os diversos poluentes e com o impacto de seu uso humano. No verão de 1970, por exemplo, a pauta ‘Baía de Guanabara’ transformou-se de forma substancial nos jornais, com foco para a preocupação com a saúde humana. Extensa matéria do jornal *O Globo*, de 7 de janeiro, correlacionava poluição e doença mostrando detalhadamente dados de substâncias encontradas nas águas da baía, analisadas a mando do próprio jornal por um laboratório particular. “É a primeira matéria do tipo, com uma tabela detalhada informando o conteúdo encontrado e o grau de poluição de todas as praias do Rio com o título: “Metade das praias poluídas” (MISSE FILHO e PAIVA, 2020, p. 300). De acordo com análise de Misse Filho e Paiva (2020), o tom de denúncia do *O Globo* era inédito, e a partir desse ponto, a Baía de Guanabara se tornaria, do ponto de vista jornalístico, “a primeira grande pauta ambiental do estado e das mais importantes em âmbito nacional”¹⁹⁹

¹⁹⁹ De acordo com o artigo, outros momentos nos quais a Baía de Guanabara virou grande pauta jornalística foi em janeiro de 2000, devido ao derramamento de óleo da Reduc, e no período que antecedeu as Olimpíadas de 2016, com o descumprimento de promessas relativas a resolução do problema da poluição da baía (MISSE FILHO e PAIVA, 2020).

(MISSE FILHO e PAIVA, 2020, p. 302).

No projeto coordenado por Pfeiffer, escolheu-se inicialmente trabalhar com a dinâmica do elemento cromo (Cr), “liberado por uma indústria de eletrodeposição, num tributário da Baía de Guanabara, o Rio Irajá” (PFEIFFER, 1994, p. 10). Na bacia hidrográfica que circunda a baía, localizava-se um dos maiores polos industriais do país. Dados da FEEMA para as décadas de 1980 e 1990 indicam a existência de 7.000 indústrias, responsáveis por 25% da poluição orgânica e por quase toda poluição por substâncias tóxicas, além dos metais pesados. “Em termos de substâncias tóxicas provenientes de efluentes industriais são lançados, diariamente, 22kg de cianetos, 4.200kg de fenóis, 1.800kg de sulfetos e 4.800kg de metais pesados” (BARROCAS e WASSERMAN, 1995, p. 119). Além disso, a região era preenchida por dois portos (Rio de Janeiro e Niterói), dois aeroportos, 15 terminais de petróleo, um intenso tráfego marítimo e uma população “de aproximadamente 7.000.000 de habitantes”, o que contribuía “direta ou indiretamente com esgotos sanitários para a Baía” (PFEIFFER, 1994, p. 13).

Pfeiffer integrou à sua equipe de pesquisa sobre o cromo o jovem pesquisador Luiz Drude de Lacerda, “como estagiário e depois como aluno de mestrado, biólogo, especialidade esta carente em nosso grupo pois éramos, em grande maioria, químicos, farmacêuticos ou físicos” (PFEIFFER, 1994, p. 10). Em depoimento para esta tese²⁰⁰, Drude de Lacerda confirma a pouca presença de biólogos, “muito menos ecólogo, trabalhando lá” no IBCCF. Nascido no Rio de Janeiro em 1956, Lacerda graduou-se em biologia pela UFRJ em 1977, tendo cursado, segundo seu depoimento, o bacharelado em Biologia Marinha, Ecologia e Zoologia, existentes na época. Ainda durante a graduação, o laboratório em que fazia estágio recebeu uma visita do professor John Du Vall Hay, atualmente do Departamento de Ecologia da UNB, ecólogo que trabalhava com ciclagem de nutrientes e que chegou a atuar como professor da UFRJ entre 1977 e 1980. A agenda de estudos com ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas ganhou força nos EUA entre as décadas de 1950 e 1960, e, no Brasil, estava apenas se iniciando no quadro da pesquisa ecológica. A partir do contato com John Hay, Lacerda iniciou seu trabalho estudando a restinga de Maricá, “a ciclagem de nutrientes em comunidade gramínea, bromélia, essas coisas”. John Hay tinha expertise em ciclagem, tendo realizado a sua tese de doutorado em biologia na Emory University, nos EUA, comparando a ciclagem do céσιο-137 em duas florestas ao longo de um riacho de uma planície costeira. O contato com John Hay influenciou Drude de Lacerda a seguir carreira

²⁰⁰ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

nesses estudos, devido ao seu interesse em pesquisas de ecossistemas. É importante destacar aqui como o projeto de pesquisa sobre a poluição dos sistemas hídricos do Rio de Janeiro uniu as trajetórias científicas de Wolfgang Pfeiffer e Luiz Drude de Lacerda, demarcando um ponto de inflexão na história da própria ecologia de ecossistemas no Brasil.

O percurso formativo de Lacerda também expressa um recorte importante da história da ecologia no país²⁰¹. “[...] eu fiquei numa sinuca de bico quando eu terminei a graduação, porque na ecologia no Brasil ninguém fazia estudo de ecossistema”. De acordo com o depoimento de Drude de Lacerda, a maioria de seus colegas, após se formar, ingressou na pós-graduação na Unicamp, em Campinas-SP, ou então na Universidade Federal de São Carlos-SP (UFSCar). Campinas possuía “a melhor escola de ecologia, ainda é a melhor escola de ecologia do país. Só que é uma ecologia eminentemente biológica”²⁰². Na UFSCar, o grupo fundado pelo professor Jose Galizia Tundisi, trabalhando com limnologia, iniciava, no início da década de 1980, estudos sobre nutrientes e ecossistemas. “Só que eu não queria limnologia, eu não trabalhava com limnologia”. Durante a graduação, Lacerda teve contato direto com o ecólogo Fernando Segadas Vianna, considerado “um dos primeiros ecologistas brasileiros, tendo se destacado na institucionalização da ciência ecológica ao criar o Departamento de Ecologia, primeiramente no Museu Nacional e posteriormente na UFRJ” (FERNANDES, 2015, p. 8). Com Vianna, solidificou sua formação teórica em ecologia, com uma forte abordagem do conceito de ecossistema. “Ele vinha de uma escola de ecossistemas, porque ele tinha estudado no Canadá no Doutorado dele. Naquela escola de Plant Sociology [...]”²⁰³.

Com uma formação bastante marcada, nesse sentido, pela teoria, com Vianna, e pela prática, com John Hay, no estudo de ecossistemas, Luiz Drude de Lacerda optou pelo Instituto de Biofísica da UFRJ, ao invés de ingressar numa pós-graduação nos EUA ou no Canadá. De acordo com o seu depoimento, já havia algum diálogo entre John Hay e Wolfgang Pfeiffer. Entretanto, o grupo ainda praticamente não possuía pesquisadores com formação em biologia, apesar dos projetos de pesquisa já realizados no Laboratório de Radioisótopos:

E aí eu fui para lá para trabalhar com ciclagem de nutrientes. Eu falei “Pô, Wolf, tô trabalhando com John”. Ele falou “Não, tudo bem, mas nós estamos interessados em cromo”. Pô, cromo? Eu nem sabia direito o que que era

²⁰¹ Uma história mais sistematizada da institucionalização da ecologia no Brasil pode ser vista na tese de Bruno Fraga Fernandes (2016).

²⁰² LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁰³ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

cromo. Eu trabalhava com nutrientes de plantas, mas tudo bem, era absorção atômica. Era... Dava para trabalhar. Aí eu propus... Eu falei “Pô, Wolf, tudo bem. Eu faço o cromo, mas eu faço também os nutrientes. Tudo bem?”. Mas o importante foi isso, que... Aí sim a gente usava cromo cinquenta e um para fazer especiação de cromo em águas naturais. Na realidade, é um trabalho de oitenta e dois que até hoje é muito citado. Foi uma das primeiras... Marlene Fiszman, era química, foi quem desenvolveu isso aí²⁰⁴.

Assim, Lacerda não apenas passou a integrar o grupo de Pfeiffer, como foi peça importante para várias transformações que ocorreriam nos próximos anos na prática científica do Laboratório. Em paralelo aos trabalhos específicos do projeto de poluição dos sistemas aquáticos, ele desenvolveu, entre 1978 e 1980, pesquisa de mestrado intitulada ‘Ciclagem mineral em uma comunidade de halófitas na Baía de Guanabara, RJ’, orientada por Wolfgang Pfeiffer. Em seu memorial, Pfeiffer relata ter sido a primeira “tese de mestrado” que orientou. O cientista definiu o trabalho de Lacerda como uma investigação sobre o “ciclo do cromo nas comunidades de halófitas emergentes ao longo do Rio Irajá, vegetação típica de ambientes estuarinos degradados, substituindo antigos manguezais abordando desta forma um metal pouco descrito na literatura mundial no tocante ao seu comportamento ambiental” (PFEIFFER, 1994, p. 10). Luiz Drude de Lacerda representou, assim, um desdobramento das transformações no Laboratório de Radioisótopos ocasionadas por Wolfgang Pfeiffer. A necessidade de integrar biólogos ao grupo para o desenvolvimento dos novos projetos sobre contaminação ambiental propulsionou novas facetas para o trabalho ali realizado. “Quando eu entrei lá eu fui o primeiro aluno que trabalhou com coisas que não emitiam radiação, porque antes de mim todo mundo trabalhava”²⁰⁵. Os estudos com o cromo no Rio Irajá demonstram bem esse diálogo entre química, física, biologia e ecologia. Já em 1979, por exemplo, o grupo publicou na *Revista Brasileira de Biologia* o artigo ‘O papel de *Paspalum vaginatum* na disponibilidade de cromo para as cadeias alimentares estuarinas’ (LACERDA, PFEIFFER e FISZMAN, 1979), um estudo que envolvia a ciclagem do cromo, mas também o entendimento da cadeia trófica da região a partir da planta *Paspalum vaginatum*, uma espécie de capim.

O projeto do cromo analisou concentrações desse metal em águas, partículas em suspensão, sedimentos, em peixes, plantas, além de solos e crustáceos (*Balanus* sp.). As análises ocorreram de agosto de 1976 a setembro de 1980 em amostras coletadas no Rio Irajá e em seu estuário na Baía de Guanabara (PFEIFFER et al, 1982). O projeto concluiu que, em

²⁰⁴ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁰⁵ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

média, eram lançados mais de 500kg de cromo por mês no Rio Irajá, sendo este metal encontrado principalmente nos sedimentos de fundo e nas partículas em suspensão. Os valores encontrados eram, naquele contexto, os mais altos registrados na literatura sobre o tema. “As concentrações máximas medidas ultrapassam em 10^3 vezes os dados publicados até então” (PFEIFFER, 1994, p. 11). Os pesquisadores concluíram que existia um processo de autodepuração naquele ecossistema, ou seja, uma capacidade de restauração de algumas características ambientais através da decomposição dos poluentes. No caso do rio Irajá, foi observado que a capacidade de absorver e metabolizar o poluente tinha a ver com processos que ocorriam no leito do rio decorrentes do alto teor de esgoto (PFEIFFER, 1994, p. 11).

Outros dados relevantes obtidos com as pesquisas sobre cromo foram: 1) as partículas em suspensão foram identificadas como o principal transporte do cromo pela Baía de Guanabara; 2) os peixes e plantas apresentaram grande capacidade de bioacumulação do metal, retornando este ao meio sob forma de detrito; 3) no estuário, as concentrações de cromo nos solos e plantas apresentaram-se 30 e 10 vezes, respectivamente, superiores às da área controle, na Baía de Sepetiba; 4) na vegetação, o cromo era em grande parte retido pelo material vegetal morto que poderia ser reciclado (PFEIFFER, FISZMAN e CARBONELL, 1980; PFEIFFER et al, 1982; VAN WEERELT, PFEIFFER E FISZMAN, 1984). Semelhante aos trabalhos com as macroalgas em Angra dos Reis, apresentado no capítulo anterior, nos estudos com cromo, os crustáceos *Balanus sp.*, com seus tecidos moles, apresentavam uma alta concentração do metal, podendo servir, nesse sentido, “como excelentes monitores biológicos, além de transferir o metal para as cadeias alimentares superiores” (PFEIFFER, 1994, p. 11; PFEIFFER et al, 1982).

Nesses trabalhos, a Baía de Sepetiba emergiu inicialmente como área-controle. De acordo com o memorial de Pfeiffer, em pouco tempo, as análises dessa região constataram “que esta recebia efluentes de indústrias metalúrgicas e que a entrada dos efluentes industriais era praticamente pontual, assim como a água doce particularmente do Sistema Rio Guandu” (PFEIFFER, 1994, p. 11-12). Desse modo, diferentemente da Baía de Guanabara, a Baía de Sepetiba possuía, então, a maioria de seus ecossistemas naturais preservados, sendo muito utilizada como fonte de pesca. Sendo considerada praticamente “puntiforme” a forma como os efluentes contaminados por metais pesados atingiam as águas da Baía de Sepetiba, Lacerda desenvolveu uma metodologia para estudar os níveis de concentrações e a ciclagem desses elementos, denominada Análise de Parâmetros Críticos, uma espécie de adaptação das metodologias de monitoramento ambiental de radioatividade para a análise de metais pesados.

4.2 Entre Sepetiba e a Amazônia: agendas de pesquisas na ecologia de ecossistemas

4.2.1 Análise de Parâmetros Críticos: Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba, Rio Paraíba do Sul

Falando em sentido metafórico, pode-se dizer que a ecologia produzida pelo Laboratório de Radioisótopos após os novos projetos encabeçados por Wolfgang Pfeiffer foi formada pelos grandes afluentes da Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e do Rio Paraíba do Sul. Ou seja, a natureza do que passaria a ser constituído ali envolveu essencialmente a aplicação de uma nova metodologia de pesquisa, qual seja, a análise por parâmetros críticos, e o estudo de diferentes corpos d'água situados na região do estado do Rio de Janeiro. Apesar das contribuições do projeto de poluição atmosférica, o estudo de sistemas aquáticos foi definitivo na formulação das novas práticas científicas daquele grupo, em grande parte pela demanda de trabalho nas instalações nucleares de Angra dos Reis, que desde o início da década de 1970 ocupava algumas das atividades do laboratório. O estudo dos possíveis riscos de efluentes radiativos da usina nuclear para aquele ecossistema marinho gerou uma expertise para aqueles cientistas.

O trecho abaixo, extraído do memorial de Wolfgang Pfeiffer, narra a gênese dos trabalhos com a análise pelos parâmetros críticos:

Tendo participado intensamente nos trabalhos relacionados com o levantamento pré-operacional do Reator Nuclear de Angra dos Reis, chamou-me a atenção a rigidez das normas que tratam, através de etapas sucessivas, de aspectos relacionados com a localização, caracterização dos efluentes, a segurança relacionada com as instalações e as populações locais, além do meio ambiente propriamente dito. Tais normas segue: “O critério de Abordagem pelos Parâmetros Críticos”. Num reator nuclear a fonte poluidora é puntiforme com localização conhecida e efluentes bem definidos, permitindo assim que o modelo da abordagem pelos parâmetros críticos possa ser aplicado passo a passo (PFEIFFER, 1994, p. 12).

Assim, devido ao desconhecimento da situação referente aos lançamentos de metais pesados originários de atividades antropogênicas (como as fontes industriais), o contato com a metodologia de trabalho nas usinas nucleares e, ao mesmo tempo, com as novas agendas de pesquisa, fez com que o grupo buscasse “adaptar este modelo para os corpos hídricos do Estado do Rio de Janeiro” (PFEIFFER, 1994, p. 12). A proposta de trabalho foi verificar “na prática quais as adaptações necessárias para que tal metodologia se tornasse factível”, visando sua aplicabilidade na Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e no Rio Paraíba do Sul. Nesse processo, de “migração” dos objetos nucleares para os metais pesados, a atuação de Luiz Drude de Lacerda foi fundamental para os trabalhos do grupo:

Então a perspectiva que eu tinha, e do Wolf, de trabalhar com isótopos estáveis como um traçador do que que aconteceria com isótopo radioativo era muito interessante. E aí o Eduardo [Penna Franca] me falou: “Poxa, por que que você não vem fazer o doutorado?”. Agora não mais só com o Wolf, mas com o Wolf e com o Eduardo, propriamente dito. Usando a metodologia que você usa para... Usando a metodologia que eu usava na energia nuclear, parâmetros críticos, para o estudo de isótopos estáveis. Porque aí a gente pode ter uma ideia, e a ideia era exatamente essa: estudar através dos isótopos estáveis o que que eventualmente aconteceria com os isótopos radioativos eventualmente liberados por Angra dos Reis. Então embora eu não tenha trabalhado especificamente com isótopos. Acho que o único paper que eu tenho que têm isótopos radioativos é esse do cromo, que eu sou coautor. Depois não. Depois eu vim usar isótopos para outros fins né²⁰⁶.

De acordo com o depoimento de Lacerda, a ideia de adaptar a metodologia empregada nos estudos em Angra para a análise de parâmetros críticos dedicada a avaliar contaminação por metais na Baía de Sepetiba, “que era o análogo do que aconteceria em Angra”, havia surgido com o Eduardo Penna Franca e o Wolfgang Pfeiffer. A construção dessa nova metodologia apresentava, entretanto, alguns desafios, dado o grau de detalhamento do trabalho. O desenvolvimento dessa proposta foi formalmente constituído por um processo rígido e minucioso, sobre o qual Lacerda se debruçou em sua tese de doutorado, realizada entre 1980 e 1983, e intitulada ‘Aplicação da metodologia dos parâmetros críticos no estudo da poluição por metais pesados na Baía de Sepetiba, RJ’ (LACERDA, 1983). O impacto da tese de Lacerda pode ser percebido, por exemplo, no depoimento da também pesquisadora do Laboratório de Radioisótopos Valéria Magalhães: “... a tese do Drude, eu vou te dizer que foi a única tese que eu vi na vida que foi lida por duzentos e cinquenta milhões de pessoas... foi a única. [...] era super manuseada, porque ele pegou uma metodologia que era usada com os radionuclídeos e colocou dentro de uma metodologia de metal pesado²⁰⁷”.

Durante o doutorado, Lacerda publicou, além dos trabalhos já citados sobre o cromo no rio Irajá e outros com temáticas alheias ao assunto dos metais pesados²⁰⁸, uma série de artigos sobre contaminação por metais. Os artigos iam desde textos mais gerais sobre a poluição no solo e em plantas da Baía de Guanabara (LACERDA, 1982), passando por trabalhos assinados em conjunto com Pfeiffer e Fiszman sobre níveis naturais de metais

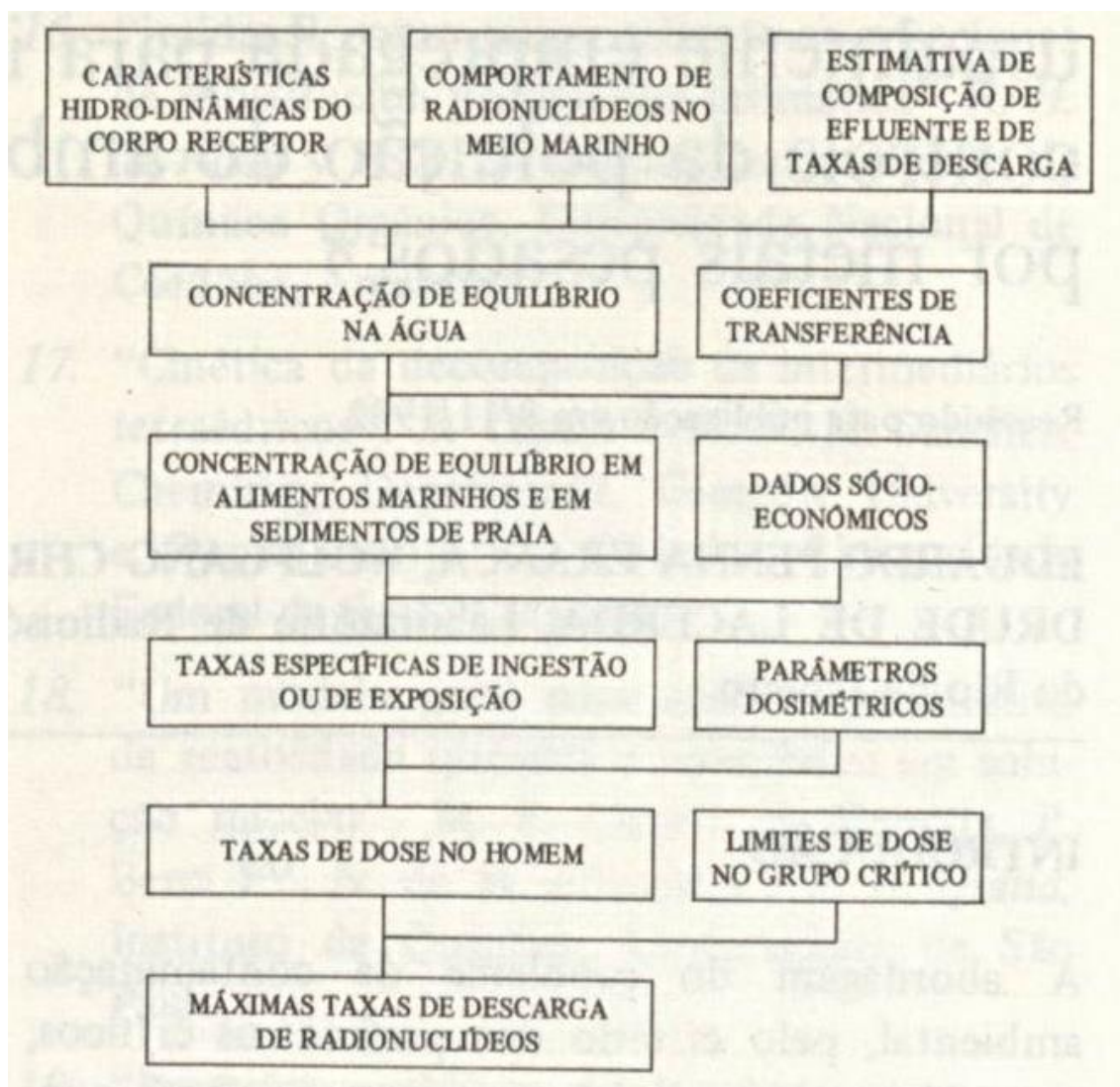
²⁰⁶ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁰⁷ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAAE:47237621.3.0000.5241.

²⁰⁸ Luiz Drude de Lacerda possui uma produção bastante extensa, contabilizando pelo menos 308 artigos científicos. Na década de 1980, o cientista publicou, para além de trabalhos sobre metais pesados, alguns estudos mais ‘tradicionais’ de ecologia e biologia, como no caso de um trabalho sobre a polpa de madeira de manguê como uma fonte alternativa de alimento para um caranguejo arborícola (*Aratus pisonii*), publicado na revista *Biotropica* (LACERDA, 1981).

pesados em sedimentos marinhos da Baía da Ribeira, em Angra dos Reis (LACERDA, PFEIFFER e FISZMAN, 1982), até trabalhos sobre metais pesados em algas e sua “sugestão” como “espécies monitoras” (GUIMARÃES, LACERDA e TEIXEIRA, 1982) e sobre o tamanho e as concentrações dos metais presentes no mexilhão de mangue *Mytella guyanensis* (LACERDA et al, 1983). Dentre esses trabalhos está o artigo ‘Aplicabilidade da análise pelos parâmetros críticos, usualmente empregada para instalações nucleares, no controle da poluição do ambiente marinho por metais pesados’ (PENNA FRANCA et al, 1984). Submetido ainda em 1982 ao periódico *Ciência e Cultura*, mas publicado apenas em 1984, o artigo foi assinado por Lacerda em conjunto com Penna Franca, Pfeiffer e Fiszman. O texto apresentava e descrevia a metodologia e sua adaptação para os estudos com os metais pesados, algo que já estava sendo executado pelo grupo, dado que Lacerda, por exemplo, havia iniciado sua tese sobre o tema ainda em 1980.

Figura 42: Esquema da análise pelo critério dos parâmetros críticos utilizado em trabalhos pré-operacionais de instalações nucleares inserido no artigo.



In: PENNA FRANCA, Eduardo, *et al.* Aplicabilidade da análise pelos parâmetros críticos, usualmente empregada para instalações nucleares, no controle da poluição do ambiente marinho por metais pesados. **Ciência e Cultura**, v. 36, n. 2, 1984, p. 216.

Uma das bases do método era a ideia de ‘desmembrar’ a análise dos poluentes em diferentes objetos, vivos e inanimados, distinguindo os níveis de concentração desses materiais e organismos dos já existentes naturalmente naquele determinado ambiente aquático (*background*). “Na prática, os corpos hídricos a estudar geralmente já se encontram contaminados por vários poluentes provenientes de múltiplas fontes e a aplicação do modelo poderia ser consideravelmente simplificada, quando a concentração dos poluentes potencialmente críticos for mensurável” (PENNA FRANCA et al, 1984, p. 217) nesses elementos distintos do *background*. Daí a importância de se identificar, por exemplo, organismos chamados de ‘biomonitores’ ou ‘bioindicadores’, como os trabalhos na região de Angra dos Reis, analisados no capítulo anterior, procuravam fazer. Nesse sentido, tanto macroalgas, quanto peixes, crustáceos, mexilhões e anêmonas do mar, foram importantes

agentes nesse sistema experimental em formação.

Outros aspectos, entretanto, formavam o detalhado esquema do método dos parâmetros críticos. Pela descrição de Luiz Drude de Lacerda, é possível ter uma noção prática de como a proposta do grupo envolvia um trabalho bastante minucioso, que no Brasil não era exigido para instalações não-nucleares, como as várias indústrias poluidoras dos corpos d'água estudados:

Quer dizer, quais eram os principais metais baseados nas fontes e avaliações de fontes, carga? Quais os principais mecanismos que ele poderia percorrer? Fluxo fluvial, a maré, correntes. Aonde ele ia parar? Se ele vinha de fundo, suspensão, praia? Na biota, quem seria mais contaminado? Bom, aí você fazia um arcabouço teórico e ia para o campo testar. Dizer “Pô, se o Cádmiio a gente fez uma avaliação de fluxo, de fontes, e é o principal junto com o Zinco na Baía de Sepetiba, na hora que eu fizer uma análise nos compartimentos que eu acho que ele vai acumular, ele tem que realmente estar maior”. Então você fazia todo o desenho teórico dos metais que você considerava críticos... [...] Então, na realidade, foi uma tese que envolvia desde caracterização e quantificação das fontes, até distribuição e acumulação na biota, e exposição humana também²⁰⁹.

Esse trabalho já era realizado nas atividades pré-operacionais de Angra 1, nas quais organismos, radioisótopos e elementos estáveis se uniam aos cientistas do Laboratório de Radioisótopos. De acordo com Lacerda, um modelo teórico era criado, seguindo a metodologia da análise dos parâmetros críticos, e, a partir disso, iniciavam-se os testes de campo. “Então, por exemplo, a gente trabalhava com a alga bentônica, porque o modelo dizia que as algas, até pela biomassa que tem até hoje na região, seriam fundamentais para a incorporação de radionuclídeos, rádio, por aí a fora²¹⁰”. Utilizando elementos estáveis, como o cálcio, que poderiam ter comportamento semelhante aos radioisótopos, buscava-se entender, por exemplo, se havia variações sazonais nas concentrações dos elementos nos organismos. “Então a gente mostrava claramente que tinha um aumento enorme da concentração de metais nas algas na estação chuvosa, porque corria muito material”. Os materiais que se concentravam nas algas vinham de outras regiões, e reagiam de uma forma complexa: “Não tem indústria ali. Corria muito material da Serra do Mar, chegava na água do mar, entrava num equilíbrio químico diferente, liberava metais, as algas absorviam²¹¹”. Essa descrição do trabalho mostra a teia difícil de seguir que estava sendo decodificada por esses cientistas. Entretanto, como veremos ao longo deste capítulo, uma vez estruturada a metodologia, isso se

²⁰⁹ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²¹⁰ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²¹¹ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

tornaria uma grande marca do grupo, que perduraria pelas próximas décadas, tal como os radioisótopos:

Eu trabalhava na parte marinha com o Jean [Remy Davée Guimarães]. Basicamente, eu e Jean trabalhávamos mais na parte marinha. Então a gente...Aí molusco, peixe, a cadeia alimentar inteira, a biota de um modo geral, para selecionar quais organismos seriam os organismos críticos, aqueles que acumulariam mais. A gente usou, no fundo, no fundo, a mesma metodologia depois na Amazônia para o mercúrio²¹².

Antes da Amazônia, entretanto, o grupo do Laboratório de Radioisótopos ainda iria se concentrar, de forma mais detida, nas águas do Rio de Janeiro. No memorial de Wolfgang Pfeiffer de 1994, o cientista dá um panorama bastante detalhado das condições em que se encontravam as baías e rios estudados pelo grupo. Irei seguir o relato de Pfeiffer para em seguida apresentar algumas publicações que envolveram esses locais e objetos. Pfeiffer sintetiza as principais informações sobre os corpos hídricos, sua situação em relação à poluição e os dados que os pesquisadores do Laboratório de Radioisótopos extraíram de suas pesquisas na região, sobretudo durante a primeira metade da década de 1980. Tanto a Baía de Guanabara, quanto a de Sepetiba ou o Rio Paraíba do Sul foram objetos de investigações do grupo ao longo das últimas décadas do século XX, adentrando os anos 2000. O que ocorrerá, entretanto, é que certos pesquisadores que entrarão posteriormente no Laboratório, como Valéria Magalhães, se dedicarão exclusivamente aos corpos d'água do Rio de Janeiro, enquanto os principais pesquisadores do grupo desenvolverão, a partir de meados da década de 1980, um amplo programa de pesquisas na Amazônia.

Dividida em 24 sub-bacias distribuídas ao longo de seu perímetro, a Baía de Guanabara recebia diariamente grandes descargas de petroleiros, que, juntamente com a limpeza de navios, terminais e outras atividades portuárias, contribuía para a poluição de várias partes da região. De acordo com Pfeiffer (1994), os esgotos orgânicos eram os principais responsáveis pela degradação da área da baía. Esse dado contrastava com as expressivas cargas registradas de cromo, por exemplo, pois, para Pfeiffer, o principal problema da poluição na Baía de Guanabara era orgânico. No caso da Baía de Sepetiba, com sua bacia dividida em 22 sub-bacias, a região de água doce, localizada quase que inteiramente no seu litoral leste, coexistia com mais ou menos 400 indústrias, em especial metalúrgicas, situadas entre Santa Cruz e Itaguaí. Dentre essas indústrias estavam companhias consideradas de grande porte, como a Companhia Siderúrgica Guanabara (COSIGRA), que produzia

²¹² LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

550.000 toneladas de aço por ano, e a Companhia Mercantil Industrial Ingá, que produzia cádmio (Cd) e zinco (Zn) (PFEIFFER, 1994, p. 13). Dois grandes portos também operavam na região, que continha uma população de pelo menos 660.000 habitantes ao longo do litoral da baía. Diferentemente da baía de Guanabara, em Sepetiba não havia problemas de poluição por esgotos sanitários ou óleos, ao menos até aquele momento.

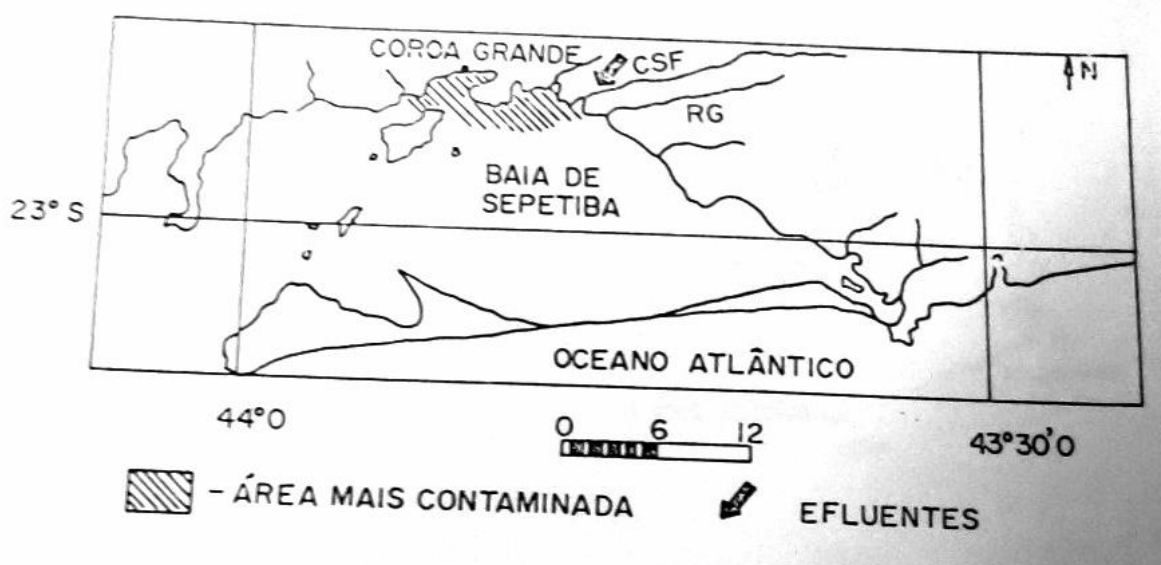
Os efluentes que continham metais pesados eram contaminados com zinco e cádmio, com concentrações acima dos permitidos pela legislação vigente. As principais vias de contaminação humana por metais pesados na região estavam relacionadas à ingestão de alimentos contaminados, provenientes do ambiente marinho. “A pesca na área da baía de Sepetiba é a base da alimentação da maioria da população que habita seu litoral, além de fornecer grande quantidade de pescado para comercialização no Rio de Janeiro e São Paulo” (PFEIFFER, 1994, p. 14). Segundo Pfeiffer, enquanto o pescado da Baía de Guanabara era pouco diversificado, “várias espécies são normalmente capturadas nas águas da Baía de Sepetiba”. O grupo do Laboratório de Radioisótopos já projetava que a pesca e a população na Baía de Sepetiba poderiam sofrer prejuízos econômicos e sanitários em decorrência da grande quantidade de metais lançados pelas indústrias da região, além é claro, “do funcionamento das ainda inalteradas comunidades biológicas, marinhas” (PFEIFFER, 1994, p. 14).

Por fim, eles analisaram o Rio Paraíba do Sul, que atravessa uma das áreas mais industrializadas do Brasil, percorrendo o eixo Rio-São Paulo e desaguando no litoral norte do estado do Rio de Janeiro. Isso inclui o polo industrial dos municípios de Resende e Volta Redonda, recebendo diferentes efluentes, tanto de indústrias químicas quanto metalúrgicas, além de estar conectado ao sistema de fornecimento de água para a cidade do Rio de Janeiro. A população do trecho do curso do rio entre o reservatório do Funil e o desvio da água para o Rio de Janeiro foi estimada, a partir do recenseamento demográfico de 1975, em 500.000 habitantes. Nesse rio, o teor de coliformes totais foi registrado como muito acima dos padrões de qualidade de água. Em relação aos metais pesados, que apresentavam carga expressiva, suas concentrações máximas não ultrapassavam as medidas seguras à biota do rio (PFEIFFER, 1994, p. 15).

Dados os devidos cenários de cada corpo hídrico mapeado pelo grupo, foi esquadrinhado um modelo de parâmetros críticos para os estudos seguintes, que envolviam: “1) a carga de poluentes orgânicos; 2) a origem, especificação e quantidade de carga de metais; 3) as vias de entrada dos metais nos corpos receptores; 4) as vias de acesso dos metais às populações humanas, e 5) sua toxidez relativa para o homem” (PFEIFFER, 1994, p. 15).

Existia, entretanto, grande diferença no tocante às características dos efluentes metálicos de cada um dos três ambientes selecionados para o estudo. Na Baía de Guanabara, por exemplo, 90% da carga total de metais era representada pelo cromo (Cr), enquanto na Baía de Sepetiba e no Rio Paraíba do Sul, a maior carga de metais estava relacionada ao cádmio (Cd), zinco (Zn), chumbo (Pb) e níquel (Ni). Assim, após os estudos na Baía de Guanabara, em especial no rio Irajá utilizando a metodologia dos parâmetros críticos, a Baía de Sepetiba foi selecionada para um primeiro trabalho aprofundado (PFEIFFER, 1994).

Figura 43: Mapa da região da Baía de Sepetiba, mostrando a área mais contaminada e a direção dos efluentes com os metais contaminados adentrando os corpos receptores.



In: PFEIFFER, Wolfgang Christian. **Memorial**. Concurso (Professor Titular) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Setor de Biofísica Ambiental – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 1994, p. 16.

O trabalho do grupo na Baía de Sepetiba, do qual a tese de doutorado de Lacerda (1983) foi o estudo mais representativo desta primeira fase, concluiu que os metais pesados críticos mais abundantes nos efluentes da região eram o cromo, o zinco e o cádmio, sendo a principal via de transporte o material particulado em suspensão, carregado pelas correntes marinhas (LACERDA, 1983). Em relação aos alimentos críticos, os estudos identificaram sobretudo os moluscos, crustáceos e os peixes sedentários da enseada de Coroa Grande, região representada no mapa acima. Por fim, em relação ao grupo humano com grande potencial de contaminação, estavam os pescadores da vila de Coroa Grande, cuja principal fonte de alimentação era os peixes e frutos do mar pescados na própria área (PFEIFFER, 1994).

Se a Baía de Sepetiba emergiu como objeto de estudos através da sua escolha enquanto área-controle, no curso dos trabalhos com o cromo no rio Irajá, o rio Paraíba do Sul

surgiu, por sua vez, dentro da necessidade de se estudar a dinâmica ecossistêmica de um corpo hídrico ‘aberto’, dado que as baías de Guanabara e de Sepetiba são corpos d’água considerados semifechados. Na verdade, de acordo com o próprio relato de Pfeiffer e as várias publicações decorrentes que mencionarei a seguir, é perceptível como os pesquisadores do Laboratório seguiram uma espécie de mapa hidrográfico do Rio de Janeiro e adjacências, sendo guiados pelas próprias conexões ecológicas existentes entre os vários corpos hídricos. Os estudos na Baía de Ribeira, em Angra dos Reis, por exemplo, também se iniciaram com o objetivo de buscar uma outra área controle, que, nesse caso, era isenta de “lançamentos antropogênicos significativos e cujas características hidrológicas, sedimentológicas e físico-químicas já conhecíamos de trabalhos anteriores” (PFEIFFER, 1994, p. 16).

Em 1982, o Laboratório de Radioisótopos conseguiu um significativo aporte financeiro do Banco do Brasil (FIPEC), permitindo assim a aquisição de mais um novo espectrômetro de absorção atômica de última geração, que permitia medir de maneira fácil metais pesados voláteis (PFEIFFER, 1994, p. 16). Os novos instrumentos e a inserção de mais biólogos no grupo, como Olaf Malm e José Maurício Pena Azcue, por exemplo, contribuíram ainda mais para a expansão das agendas de pesquisa do grupo, seja em relação ao projeto do mercúrio na Amazônia, que abordarei a partir do subtópico seguinte, seja na formação de novos cientistas que continuariam estudando os corpos hídricos já supracitados.

No relatório de atividades dos anos de 1982 e 1983 do IBCCF, eram duas as linhas de pesquisa apresentadas que estavam relacionadas ao Laboratório de Radioisótopos. A primeira intitulava-se ‘Comportamento de radionuclídeos críticos lançados no meio ambiente por instalações nucleares’, e envolvia tanto os trabalhos na usina nuclear de Angra dos Reis quanto na mina de urânio de Poços de Caldas (MG), no Morro do Ferro. Essa linha era a mais diretamente relacionada com o histórico do próprio laboratório desde o início da década de 1960. Faziam parte dessa linha Eduardo Penna Franca, Wolfgang Christian Pfeiffer, Nazyo Lobão, Marlene Fiszman, Helena Trindade, Miriam Brugnara de Castro, Luiz Drude de Lacerda, além de Olaf Malm, Wanderley Rodrigues Bastos, dentre outros. A outra linha intitulava-se ‘Estudo da poluição ambiental por metais pesados em sistemas hídricos’, e tratava do que já foi mencionado neste tópico. A linha de pesquisa dos metais pesados era composta praticamente pelos mesmos pesquisadores, técnicos e estudantes da linha anterior²¹³.

²¹³ Citarei seus nomes aqui na íntegra com o objetivo de dar mais clareza a totalidade de pessoas envolvidas nos estudos descritos: Eduardo Penna Franca, Wolfgang Christian Pfeiffer, Nazyo Lobão, Marlene Fiszman, Helena

Para falar desse primeiro momento dos trabalhos com metais pesados em corpos hídricos do Rio de Janeiro, citarei a partir de agora alguns trabalhos do grupo. Em novembro de 1979, ocorreu em Brasília o I Seminário Sobre Poluição Por Metais Pesados. O evento foi organizado pelo Ministério do Interior, a partir das secretarias Especial do Meio-Ambiente e Adjunta de Ciência e Tecnologia. É importante lembrar que nesse momento ainda não existia o Ministério da Ciência, criado apenas em 1985. No evento em questão, que teve seus anais publicados em 1980, Wolfgang Christian Pfeiffer apresentou o trabalho ‘Trânsito do cromo em ecossistemas aquáticos’. Justificou a escolha do estudo do cromo no Laboratório de Radioisótopos por ser um elemento bastante tóxico, por estar sendo lançado em grandes quantidades na baía de Guanabara, segundo a FEEMA, e por organismos marinhos e águas naturais mostrarem variações na sensibilidade a ele (PFEIFFER, 1980, p. 29).

Em 1981, Marlene Fizman, Pfeiffer e Nilce Carbonell publicaram nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências* o artigo ‘Análise de Cr^{6+} e Cr^{3+} em Amostras Ambientais: Problemas Técnicos na Escolha da Metodologia de Análise’. Química de formação, Marlene Fizman foi importante ‘peça’ no funcionamento do laboratório, tanto no desenvolvimento das metodologias quanto na redação dos trabalhos científicos (PFEIFFER, 1994). O artigo comparou três técnicas de separação quantitativa para as duas formas de cromo em solução, buscando encontrar quais as melhores condições de remoção do material particulado de filtros para a análise das concentrações de cromo, sem alterar o estado do metal (FISZMAN, PFEIFFER e CARBONELL, 1981). Embora ainda estivesse em teste quais seriam os melhores métodos para o trabalho, os estudos de cromo já completavam pelo menos 4 anos. Em paralelo, surgiam artigos sobre os níveis naturais de metais pesados em sedimentos marinhos da Baía da Ribeira, em Angra dos Reis em região que servia também de área controle. No caso da Baía da Ribeira, o trabalho concluiu que aquele ecossistema possuía de fato um caráter natural, apesar de registros de chumbo em alguns sedimentos (LACERDA, PFEIFFER e FISZMAN, 1982, p. 921).

No VII Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Biofísica, ocorrido entre os dias 15 e 17 de dezembro de 1982 no Rio de Janeiro, Lacerda, Pfeiffer, Fizman e Lima apresentaram o trabalho ‘Acumulação de metais pesados por sedimentos de manguezal e de alagados costeiros’, que abordou uma comparação entre as concentrações de metais pesados em sedimentos de uma ‘comunidade de manguezal’ e de gramíneas estuarinas na região da

Trindade, Miriam Brugnara de Castro, Luiz Drude de Lacerda, Maria Julia de Campos, Valeria Sampaio Teixeira, Marcia Carlos, Ivanor Sachett, Margaretha van Weerelt, Leticia Mayr, Olaf Malm, Neusa Rejane Wille Lima, Wanderley Rodrigues Bastos, Wilson Vianna e Madalena Thomaz (O INSTITUTO..., 1983, p. 83).

Baía de Sepetiba. No mesmo evento, Lacerda e Neuza Lima também falaram sobre concentração de metais no mexilhão de mangue *Mytella guyanensis*. No desenrolar desses estudos, teses e dissertações ligadas ao Laboratório de Radioisótopos eram defendidas²¹⁴. Na *Revista Brasileira de Biologia*, Jean Remy Guimarães, Drude de Lacerda e Valeria Teixeira escreviam sobre as concentrações de metais pesados em algas bentônicas da Baía da Ribeira, sugerindo, mais uma vez, sua utilização como organismos biomonitores (GUIMARÃES, LACERDA e TEIXEIRA, 1982).

Em 1983, Lacerda, Pfeiffer e Fiszman publicaram no periódico *Tropical Ecology* um artigo sobre a distribuição mineral e o desenvolvimento ecológico de uma comunidade recém-formada de halófitas (algas) na Baía de Guanabara (LACERDA, PFEIFFER e FISZMAN, 1983). O trabalho mostrou que a distribuição dos elementos Na, K, Ca, Mg e Cr nas halófitas, variava segundo a profundidade dos solos. A internacionalização dos dados das pesquisas do grupo se dava não só pela publicação em periódicos internacionais, mas também pela divulgação nos principais eventos internacionais da área. Em setembro de 1983, o trio apresentou seus estudos sobre a monitoração da poluição por metais pesados na Baía de Sepetiba em conferência internacional ocorrida em Heidelberg, na Alemanha, intitulada ‘Heavy metals in the Environment’ e patrocinada pela Organização Mundial da Saúde e outros órgãos internacionais e multilaterais (LACERDA, PFEIFFER e FISZMAN, 1983, p. 1258). Na *Environmental Technology Letters*, os mesmos pesquisadores publicaram em 1984 outro trabalho de cunho mais metodológico, sobre a comparação de métodos de extração e distribuição geoquímica de metais pesados nos sedimentos de fundo da Baía de Sepetiba (FISZMAN, PFEIFFER e LACERDA, 1984). No ano seguinte, publicaram na mesma revista sobre as areias das zonas entremarés como monitoras para a poluição de metais pesados (LACERDA, PFEIFFER e FISZMAN, 1985).

Em 1985, o grupo publicou na *Ciência e Cultura* uma análise dos metais pesados concentrados no pescado da Baía de Sepetiba, sendo os maiores níveis apresentados em moluscos filtradores (PFEIFFER et al, 1985). Nesse ano, a conferência internacional ‘Heavy metals in the Environment’, ocorrido dessa vez em Atenas, na Grécia, contou novamente com a presença dos brasileiros, abordando a monitoração de metais pesados por análise de

²¹⁴ Tais como a dissertação ‘Níveis de cromo no estuário do Rio Irajá (Baía da Guanabara) e incorporação experimental de ⁵¹Cr em cracas (*Balanus* sp)’ de Margaretha van Weerelt (VAN WEERELT, 1982), e a dissertação intitulada ‘Bioacumulação e eliminação de ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs por *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Mollusca Bivalvia) - Remobilização de ⁶⁰Co retido em sedimento marinho por atividade microbiana’ de Leticia Maria Mayr (MAYR, 1984).

parâmetros críticos no Rio Paraíba do Sul. Dessa vez, Pfeiffer e Fiszman assinaram o trabalho juntamente com os biólogos Olaf Malm e José Azcue (MALM et al, 1985, p. 230). Em 1986, na *Environmental Technology Letters*, foi publicado um estudo sobre a variabilidade temporal e espacial de metais pesados (Zn, Cr, Cd e Fe) em ostras (*Crassostrea brasiliana* Lamarck, 1819) da Baía de Sepetiba (LIMA et al, 1986, p. 453). No mesmo ano, um trabalho sobre ‘Ciclagem de metais pesados em bancos de *Spartina alterniflora* na Baía de Sepetiba, RJ’ foi publicado na *Acta Limnologica Brasiliensia*, apresentando um estudo sobre o capim-marinho, gramínea de grande importância para a reciclagem de zinco, cromo, cádmio, ferro e manganês para as cadeias tróficas da baía. Em 1987, por fim, Lacerda, Pfeiffer e Fiszman publicaram um trabalho mais sintético sobre a distribuição dos metais pesados, sua ciclagem e destino na Baía de Sepetiba no periódico *Science of the Total Environment* (LACERDA, PFEIFFER e FISZMAN, 1987).

Essa exposição de alguns trabalhos e apresentações do grupo do Laboratório de Radioisótopos, com foco sobretudo na Baía de Sepetiba, ajuda a estabelecer um quadro dos caminhos percorridos pelas pesquisas com metais pesados nos corpos hídricos do Rio de Janeiro em seus anos iniciais. Desse ponto, as pesquisas se expandirão para o tema do mercúrio na Amazônia, e para um aprofundamento nos corpos d’água já estudados, conforme veremos mais adiante.

O estabelecimento de uma nova linha de pesquisa, como a dos estudos dos metais pesados, demandou uma série de esforços e negociações, apesar das facilidades devido à posição privilegiada historicamente ocupada pelo Instituto de Biofísica. Em correspondência interna de 1º de agosto de 1980, Wolfgang Pfeiffer, por exemplo, solicitava ao diretor do IBCCF, Antonio Paes de Carvalho, para que autorizasse sua dispensa dos cargos de Chefe do Laboratório de Radioisótopos e Chefe do Departamento de Radiobiologia. Além de outros aspectos burocráticos, e da intenção de retornar o posto de chefe de laboratório a Eduardo Penna Franca, Pfeiffer justificava sua solicitação pelo desejo de se dedicar “aos trabalhos de pesquisa e ensino em tempo integral, sem desviar minhas atenções para encargos administrativos, e desta forma dinamizar a linha de pesquisa à qual me dedico”²¹⁵. Além de assuntos internos como esse, outras negociações precisaram ocorrer para o desenvolvimento pleno dessa nova agenda científica.

Em 26 de agosto de 1982, iniciou-se uma troca de correspondências entre Pfeiffer e o

²¹⁵ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

Exército Brasileiro, através do Comandante do Campo de Provas da Marambaia visando obter autorização para o grupo realizar coletas na área da restinga de Marambaia, na Baía de Sepetiba, sob administração das Forças Armadas. Pfeiffer apresentou os trabalhos do grupo e justificou a solicitação pela ligação com estudos sobre o impacto ambiental dos metais pesados que forneceriam “subsídios para a FEEMA²¹⁶”. Apenas no dia 07 de outubro de 1982 Pfeiffer foi comunicado da autorização dada pelo exército para acessarem a área²¹⁷.

Apesar de parecer um procedimento corriqueiro e simples, ele revela como o simples acesso uma área importante para o estudo da Baía de Sepetiba demandava um tempo significativo de espera. Embora a restinga de Marambaia pertencesse a uma área militar desde o início do século XX, é provável que a demora de mais de um mês para autorizar uma operação simples esteja relacionada ao diálogo complicado entre universidade e militares, ainda sob a vigência do regime militar. De qualquer forma, esse é apenas um exemplo microscópico das dinâmicas envolvidas na formação da linha de pesquisa de Pfeiffer. Vamos agora seguir os desdobramentos desse programa no Laboratório de Radioisótopos.

4.2.2 “Uma Bomba Relógio Química?”: mercúrio e garimpo na Amazônia

O tema do mercúrio e do garimpo na Amazônia é bastante complexo e extenso e tem enorme atualidade. Além da escassez de trabalhos na historiografia brasileira, a documentação existente sobre os processos históricos do garimpo na Amazônia, sobretudo a partir da década de 1970, e a constituição de um conhecimento ecológico acerca do mercúrio na região, é bastante esparsa. O objetivo aqui é examinar o papel do Laboratório de Radioisótopos do IBCCF não só na elucidação do problema do mercúrio, da poluição atmosférica e do profundo impacto ambiental das atividades antropogênicas na Amazônia, mas também na nucleação de grupos de cientistas ambientais e na própria formação de uma comunidade acadêmica em Rondônia. Utilizarei para isso, sobretudo, depoimentos de pesquisadores que foram alguns dos protagonistas desse processo, como Wolfgang Pfeiffer, Luiz Drude de Lacerda, Jean Remy Davée Guimarães e Wanderley Rodrigues Bastos. Com exceção de Pfeiffer, falecido em 2017, todos os outros cientistas foram entrevistados para esta tese. Além desses depoimentos, utilizarei outros documentos, como livros e relatórios

²¹⁶ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²¹⁷ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

técnicos sobre o tema, publicações e algumas correspondências.

Os trabalhos com o tema do mercúrio no Laboratório de Radioisótopos se iniciaram entre 1985 e 1986. A nova linha de pesquisa teve por finalidade “o estudo dos aspectos ambientais e sanitários da poluição por mercúrio em áreas de garimpo de ouro da Amazônia” (PFEIFFER, 1994, p. 19). Luiz Drude de Lacerda, que era então professor do Departamento de Geoquímica da UFF, relata da seguinte forma seu primeiro contato com o ‘novo objeto’:

Até que surgiu o negócio do mercúrio. Em oitenta e cinco eu fui convidado pelo reitor em exercício da UNIR, que era a Fundação da Universidade de Rondônia ainda, por causa do problema do mercúrio. Aí eu tive lá, olhei, e achei um negócio fantástico. Falei: “Pô, isso vai ser um problema ambiental gigantesco”. Só que lá na época o Instituto de Biofísica não tinha... O departamento de geoquímica não tinha condição analítica para mercúrio. E aí eu voltei lá nos radioisótopos, fiz uma palestra lá para o Eduardo e para o Wolf, propus a ele “Vamos fazer um projeto nessa área, porque isso ai vai dar vinte, trinta anos de produção científica”. E não deu outra, continua dando²¹⁸.

Wanderley Rodrigues Bastos, na época técnico de laboratório no IBCCF, menciona que, em meados da década de oitenta, período de grande atividade garimpeira na Amazônia, os jornais noticiavam com frequência e de forma alarmante a ‘doença de Minamata’. “Críticas dizendo que “nasceu uma criança com cabeça de peixe ou nasceu um peixe com má formação”. Tudo por conta daquela questão de Minamata, o caso clássico da toxicologia do mercúrio”²¹⁹. A ‘tragédia de Minamata’, no Japão, marcou a história das intoxicações por mercúrio. Em 1956, alguns casos de disfunções do sistema nervoso foram enquadrados como ‘mal de Minamata’, causado pela ingestão de mercúrio através do consumo de peixes contaminados, resultado da poluição química decorrente das atividades da Chisso Corporation, fábrica criada na década de 1930. No Brasil, começou-se, nos anos 1980, a suspeitar do uso em larga escala do mercúrio, tendo como imagem os eventos ocorridos décadas antes no Japão. “Então eles começaram a achar que estava acontecendo uma nova Minamata aqui na Amazônia por conta dessa questão toda”. Na recém-criada UNIR, em Rondônia, o médico e antropólogo Ari Miguel Teixeira Ott interessou-se pelo tema, preocupado com as populações possivelmente expostas ao mercúrio, e, em conjunto com o geólogo Ene Glória da Silveira, iniciou uma sondagem buscando especialistas brasileiros no assunto:

Aí o Ene também não entendia muito da coisa. Aí falou assim: “Para! Vamos procurar no Brasil quem é que estuda metais, quem é que estuda”. Aí

²¹⁸ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²¹⁹ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

eles foram para a internet da época, que não era nada fácil, começaram contatos. Aí chegaram até o Pfeiffer, porque o Wolfgang, eu sempre digo que os principais cientistas brasileiros na área ambiental foram formados pelo Wolfgang. [...] E aí o Wolfgang veio a Amazônia e ele veio junto com o Drude. Vieram os dois. Em oitenta e seis, isso. E aí eles articularam aqui com o Ene, com o Ari, começaram a bolar um projeto²²⁰.

Luiz Drude de Lacerda relata que inicialmente recebeu uma ligação de Ari Ott. “E era uma coisa brutal a quantidade de garimpeiro. Era uma coisa enorme. Mas ele não entendia nada. E ele me falou mesmo: “Não. Eu entrei, fiz uma pesquisa de quem estava publicando nisso aí. Eu vi que tu trabalhava em metais. Mercúrio é metal”²²¹. Na primeira viagem que Drude de Lacerda fez com Pfeiffer para Rondônia, eles tentaram fazer as medições seguindo as metodologias que utilizavam nos corpos hídricos do Rio de Janeiro. Ainda não se conhecia, a dispersão do mercúrio pela atmosfera. “Eu coloquei amostra de rio e sedimento, que era o que estava acostumado no Rio e Sepetiba. Era onde estava o mercúrio²²²”. Como já mencionado, Luiz Drude de Lacerda não possuía, na UFF, equipamentos capazes de analisar suas amostras. Assim, propôs a Wolf, no Laboratório de Radioisótopos, a criação de um novo projeto de pesquisa:

Porque, novamente, eles tinham dinheiro para no mês seguinte comprar o equipamento para analisar o mercúrio. [...] Sei lá da onde ele tirou. Para algum do projeto FINEP ou de alguns daqueles projetos. Pá, e comprou e pronto. E aí a gente “Bom, então vai dá para fazer? Dá”. Então vamos estudar um pouquinho mais. Aí voltamos para a análise de parâmetros críticos, que começa igualzinho lá na usina de Angra, caracterizando o processo unitário. Então, da mesma maneira que a gente tinha que saber como funcionava a usina para saber o quanto que ia ser liberado no meio, a gente fez alguma coisa para o garimpo do ouro²²³.

Wanderley Bastos também relata o protagonismo de Pfeiffer em agenciar o financiamento para o novo projeto: “Na época não tinha dinheiro para isso, mas o Wolfgang sempre dava o jeito dele, porque tinha bons projetos aí no Sudeste. Então o Wolf bancou todos os estudos no início, que foi de a gente comprar um equipamento aí no Rio e começar a analisar mercúrio das amostras que eles já levaram daqui na época”²²⁴. Segundo Pfeiffer, as primeiras atividades de caráter exploratório, “a fim de conhecer o garimpo” e todas as características socioambientais, além do uso do mercúrio, “iniciaram-se no trecho

²²⁰ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²²¹ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²²² LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²²³ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²²⁴ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

compreendido entre a Cachoeira do Teotônio e o Igarapé Mutum-Paraná, próximos a Porto Velho-RO” (PFEIFFER, 1994, p. 19). A Cachoeira do Teotônio desapareceu com a construção da usina Hidrelétrica de Santo Antônio, iniciada em 2008. No contexto do início dos trabalhos, entretanto, era uma região muito utilizada para a pesca e lazer pelos moradores da região, apesar da média anual de 15 a 20 mortes por afogamento²²⁵.

Figura 44: Mapa da bacia de drenagem do Rio Amazonas com o Rio Madeira em destaque.

²²⁵ Ver mais sobre a cachoeira de Teotônio na reportagem do g1: FRANCIS, Toni. Nos 103 anos de Porto Velho, G1 ouviu histórias de pescadores sobre a extinta cachoeira de Teotônio. G1, 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/nos-103-anos-de-porto-velho-g1-ouve-historias-de-pescadores-sobre-a-extinta-cachoeira-de-teotonio.ghtml>. Acesso em: 06/09/2023.



In: Elaborado por Kmusser utilizando o Digital Chart of the World e o GTOPO. Licença Creative Commons CC BY-SA 3.0.

O trabalho dos pesquisadores do Laboratório de Radioisótopos dividiu-se em duas grandes frentes iniciais: por um lado, conhecer a fundo as diferentes formas existentes de garimpo, “manual, balsas, dragas, “bico de jato” e moinho”, e, por outro lado, entender a ciclagem do mercúrio naqueles ecossistemas aquáticos, “à fim de caracterizar da melhor forma possível as fontes, o trânsito através dos ecossistemas, sua chegada ao homem através dos ecossistemas, e possíveis consequências toxicológicas” (PFEIFFER, 1994, p. 19). Ainda de acordo com Pfeiffer, as atividades de pesquisa se iniciaram próximo a Porto Velho, e se estenderam ao longo de praticamente toda a Baía do Rio Madeira, passando posteriormente para o Rio Teles Pires, o Rio Tapajós, “além de permitirem incursões em Mato Grosso do Sul (Poconé, as margens do Pantanal) além de Rio Branco e o complexo da Serra de Carajás, PA” (PFEIFFER, 1994, p. 19).

Tornando-se uma atividade econômica bastante significativa ainda durante a década de 1970, a “corrida do ouro” na Amazônia, e, em especial, no Rio Madeira, se intensificou ainda mais na década de oitenta, declinando a partir de 1990, com o plano Collor e a queda do valor do ouro. Serra Pelada, como ficou conhecida a montanha de ouro ‘descoberta’ em plena Floresta Amazônica, entre a Serra de Carajás e o Araguaia, no Pará, atraiu milhares de pessoas, num movimento histórico que foi retratado pelas lentes do fotógrafo brasileiro Sebastião Salgado em 1986. As histórias da grande leva de trabalhadores atraídos para a Amazônia pela febre do ouro também tiveram lugar em obras como o romance ‘De ouro e de Amazônia’, de 1989, do escritor Oswaldo França Júnior, que enquadrou muito bem a realidade das décadas de 1970 e 1980 na Amazônia, desenhando um “mapa imaginário de Rondônia” e representando a atividade garimpeira na região²²⁶ (SOUZA e LIMA, 2013, p. 198).

Especificamente no Rio Madeira, uma das principais regiões estudadas pelos pesquisadores do IBCCF, a atividade garimpeira iniciou-se em 1978 e se concentrou sobretudo na região do Alto Madeira, inclusive nos trechos de cachoeiras, percorrendo principalmente o estado de Rondônia, mas também estendendo-se à região da fronteira do Brasil com a Bolívia. De acordo com Fonseca (2021), a escalada de preços do ouro no mercado internacional, no final da década de 1970, aumentou o interesse pela exploração desse metal, e, conseqüentemente, levou ao surgimento de garimpos manuais em toda a Amazônia. Em termos econômicos, a produção garimpeira do rio Madeira era, durante a década de 1980, “extremamente significante no contexto da produção regional” (FONSECA, 2021, p. 39). Do ponto de vista das técnicas de extração, a garimpagem na região passou por três fases: lavra manual, de 1978 a 1981, extração por balsas, de 1981 a 1985, e dragas garimpeiras, entre 1986 e 1992 (LINHARES, RODRIGUES e MARTA, 2017, p. 65). Em relação às estimativas de extração de ouro, de acordo com Fonseca (2021), a atividade de garimpo sempre rendeu menos toneladas do metal que o ouro produzido de forma industrial nas minas. Durante a década de 1980, entretanto, devido ao grande aumento da atividade garimpeira na Amazônia, esse quadro se inverteu. Estima-se que, ao fim da década, o ouro da produção industrial atingiu 30,20 toneladas, enquanto aquele produzido pelo garimpo chegou a 71,70 toneladas (FONSECA, 2021, p. 37).

²²⁶ Para um aprofundamento nas experiências dos trabalhadores do garimpo nesse contexto ver a tese “Garimpeiros da Amazônia (1970-2000)”, de Flaviane Mônica Christ: CHRIST, Flaviane Mônica. *Garimpeiros da Amazônia (1970-2000)*. Tese (Doutorado em História) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em História, PPGH. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon-PR, 2020.

Apesar das grandes levadas de pessoas migrando para a Amazônia, bem como a grande quantidade de toneladas que totalizaram os trabalhos na região, o ouro era encontrado em sua forma aluvionar, ou seja, em pequenas partículas dispersas entre os solos e os sedimentos. A necessidade de uma ferramenta capaz de amalgamá-las, assim, levou à utilização corrente do mercúrio, na sua forma química de mercúrio metálico. A obtenção do ouro em si, dava-se a partir da queima da amálgama, o que acabava por volatilizar o mercúrio para a atmosfera. De acordo com Pfeiffer, as estimativas “otimistas” indicavam que “para cada 1kg de ouro, 1,4kg de mercúrio são lançados no meio ambiente” (PFEIFFER, 1994, p. 20). Além disso, ainda segundo o cientista, o mercúrio seria o único metal comprovadamente capaz de produzir um processo de ‘biomagnificação’ na cadeia alimentar, ou seja, de se concentrar nos níveis tróficos superiores, como o próprio ser humano.

Da sua forma metálica, o mercúrio se transformava, nos sistemas hídricos, em metilmercúrio (CH₃Hg), substância solúvel considerada pelo menos cem vezes mais tóxica que sua forma metálica, “particularmente lipossolúvel que é incorporada pela biota (peixes) podendo, via cadeia alimentar, chegar ao homem onde se localizará preferencialmente no sistema nervoso central produzindo um enorme dano neurológico” (PFEIFFER, 1994, p. 20). O processo da transformação de mercúrio metálico em metilmercúrio foi estudado na tese de doutorado de Jean Remy Davée Guimarães, defendida em 1992 com o título ‘Padronização de técnicas radioquímicas visando o estudo da metilação e volatilização de Mercúrio em áreas de garimpo de ouro na região Amazônica’ (GUIMARÃES, 1992). Esse tema, de acordo com Pfeiffer em seu memorial de 1994, ainda não estava elucidado naquele contexto a nível mundial, sendo o trabalho de Guimarães e do grupo bastante importante nesse sentido. Voltarei a abordar esse trabalho posteriormente. Nos anos iniciais do projeto de estudos do mercúrio e garimpo na Amazônia, como já mencionado anteriormente, entretanto, não se conhecia nem sua volatilização para a atmosfera, nem seu processo de ‘metilação’.

De acordo com o depoimento de Wanderley Rodrigues Bastos, na década de 1980, o estudo dos metais pesados passou a ganhar cada vez mais espaço em laboratórios do mundo todo: “Mas aí a linha dos estáveis, de contaminantes metálicos, começa a despontar, até porque no mundo inteiro tinha virado uma febre estudar os heavy metal e tal²²⁷”. Apesar da escassa historiografia sobre o tema, de fato a afirmação de Bastos é facilmente constatada pela vasta emergência de eventos, publicações ou até mesmo novas instituições criadas para lidar e estudar o tema entre as décadas de 1970 e 1980. Nos trabalhos do grupo do

²²⁷ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Laboratório de Radioisótopos, que analisarei a seguir, pode ser encontrada uma extensa série de referências sobre o tema da ciclagem do mercúrio em rios, publicadas desde o início da década de 1970.

No livro técnico ‘Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química?’, publicado por Lacerda e pelo cientista holandês Wim Salomons²²⁸, como parte da série de publicações Tecnologia Ambiental, do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), é possível ter uma boa dimensão das referências mobilizadas pelos pesquisadores durante os primeiros anos de trabalho (LACERDA e SALOMONS, 1992). O livro compila importante bibliografia sobre estudos ecológicos na Amazônia e mercúrio. São citados, por exemplo, desde trabalhos clássicos como o artigo *Das wasser in Amazonasgebiet* [A água na região amazônica] (SIOLI, 1950), do limnologista alemão Harold Sioli²²⁹, até trabalhos mais específicos sobre mercúrio em sedimentos de lagos (ASTON et al, 1973), o ciclo global (ANDREN e NRIAGU, 1979) e a biogeoquímica do mercúrio (BOYLE, 1979), incluindo artigos sobre fatores que afetam a dinâmica da metilação e do mercúrio inorgânico em mexilhões e camarões (FOWLER, HEYREAUD e LA ROSA, 1978), dentre outros. Trabalhos mais básicos, sobre os mecanismos de transporte de metais em rios (GIBBS, 1973) e sobre poluentes e animais (MORIARTY, 1974), também são arrolados. Essa pequena amostra é significativa para mostrar o estado da arte tanto das pesquisas com metais em sistemas aquáticos, tanto quanto o mercúrio e os ecossistemas da Amazônia em si, quando do início das investigações do grupo do Instituto de Biofísica. Recomendações e balanços para o trabalho com o mercúrio também eram utilizadas pelo grupo, como a publicação *Environmental Health Criteria n° 1, Mercury*, do programa internacional de segurança química da World Health Organization (WHO, 1976).

No tocante às publicações do grupo em periódicos científicos sobre o tema do mercúrio na Amazônia, as primeiras ocorreram apenas a partir de 1988. Apesar disso, já em 1985 é possível atestar as atividades dos pesquisadores. Nesse mesmo ano, por exemplo, Luiz Drude de Lacerda escreveu um relatório técnico intitulado ‘Monitoramento ambiental do

²²⁸ Nascido em maio de 1945 e falecido em fevereiro 2022, Willem Salomons doutorou-se em 1973 na Universidade de Gröningen, na Holanda, dedicando sua vida a uma série de instituições de pesquisa nacionais e internacionais (Delft Hydraulics, DLO Research Organization e Soil Fertility Research, para citar alguns exemplos). É considerado um pioneiro na ciência dos contaminantes de sedimentos, tendo contribuições nos estudos de minas e sedimentos, sistemas de solo, sistemas de captação de rios, sistemas costeiros e estuarinos, dentre outras áreas.

²²⁹ Para saber mais sobre a atuação de Sioli como limnologista e ecólogo nas águas amazonenses da década de 1950, ver o trabalho: SILVA, André Felipe Cândido da; SÁ, Dominichi Miranda. Ecologia, doença e desenvolvimento na Amazônia dos anos 1950: Harold Sioli e a esquistossomose na Fordlândia. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas, v. 14, n. 2, p. 627-647, 2019.

mercúrio utilizado na mineração de ouro terciário' (LACERDA, 1985), para a empresa Oikos Pesquisa Aplicada Sc/Ltda. Em 1987, uma análise preliminar sobre a contaminação por mercúrio na Amazônia, e, em especial, no Rio Madeira, em Rondônia, foi apresentada no I Congresso Brasileiro de Geoquímica (LACERDA et al, 1987). No primeiro artigo do grupo, publicado em 1988 na *Environmental Technology Letters* e assinado apenas por Wolfgang Pfeiffer e Luiz Drude de Lacerda, foram apresentados os primeiros achados do projeto de pesquisa. Financiado pela Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO), FIPEC, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e CNPq, o projeto inicialmente buscou mapear as entradas do mercúrio (Hg) no ecossistema amazônico, decorrentes sobretudo da garimpagem de ouro. Nesse primeiro trabalho, já é relatado a perda atmosférica do mercúrio, ou seja, a sua dispersão para além da cadeia trófica. No total, foram estimadas uma perda de 45% do mercúrio lançado nos rios, e 55% na atmosfera. Com base nos dados obtidos, o estudo comparava as emissões de mercúrio nas áreas de mineração com as estimativas globais da dispersão do Hg na atmosfera. Assim, o artigo concluiu que a área amazônica contribuía com cerca de 1% “do total de emissões globais e com cerca de 6% das emissões antrópicas” (PFEIFFER e LACERDA, 1988, p. 329).

Comparando a liberação de mercúrio na Amazônia com o que ocorria em outros lugares do mundo, como no exemplo descrito do Mar do Norte, as perdas se apresentavam com a mesma ordem de grandeza. Os resultados expostos pela primeira vez pelo grupo em uma publicação, alertavam para a possibilidade de “uma ameaça real de contaminação por Hg ao meio ambiente amazônico, uma vez que caso ocorra contaminação da pesca local, grande parcela da população local seria afetada”. Além da dimensão local, o estudo concluía que a compreensão da biogeoquímica do mercúrio na Amazônia poderia “fornecer informações importantes para a compreensão do ciclo global do Hg” (PFEIFFER e LACERDA, 1988, p. 329). Os resultados de quantificação do mercúrio na Amazônia, ainda de acordo com os autores, eram baseados em dados de agências brasileiras de produção mineral, agências locais de pesquisa ambiental ou geológica e nos seus próprios trabalhos de campo. Apesar disso, Pfeiffer e Lacerda apontavam uma certa demora das autoridades em se atentar para o problema do garimpo e do mercúrio, frisando que as poucas tentativas feitas para obtenção de informações não tinham sido bem-sucedidas:

Embora esta atividade exista pelo menos nos últimos 10 anos, apenas recentemente a ameaça potencial de contaminação dos ecossistemas amazônicos por Hg foi considerada pelas autoridades ambientais locais. Algumas tentativas de avaliar o problema foram feitas, entretanto, a falta de informações confiáveis, dificuldades logísticas e a inexistência de uma autoridade ambiental central para a maioria dos Estados Amazônicos

levaram a algumas informações erradas e a uma série de dados conflitantes de difícil uso para fins científicos (PFEIFFER e LACERDA, 1988, p. 325).

No contexto de publicação desse primeiro trabalho, dados objetivos sobre o problema eram de fato bastante esparsos. Existiam algumas publicações do ano de 1986, como o artigo de Mallas e Benedicto (MALLAS e BENEDICTO, 1986) e um seminário da UNIR sobre a contaminação por mercúrio no Rio Madeira (UNIR, 1986). Além disso, era possível basear-se num levantamento geral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), sobre ‘Garimpos do Brasil’, publicado em 1983. Já no ano de publicação do texto de Pfeiffer e Lacerda (1988), outros trabalhos começaram a aparecer, oriundos de outros grupos. Assim, um grupo paralelo ao de Pfeiffer e Lacerda publicou dois trabalhos em 1988, sendo um sobre o fluxo de nutrientes em alguns rios de Rondônia (MARTINELLI et al, 1988a), e o outro intitulado *Mercury contamination in the Amazon: a gold rush consequence* [Contaminação por mercúrio na Amazônia: uma consequência da corrida do ouro] (MARTINELLI et al, 1988b). O grupo composto por agrônomos do CENA/Esalq, de Piracicaba-SP, fez um trabalho bastante completo analisando o mercúrio em amostras de peixes e sedimentos coletados ao longo do rio Madeira em janeiro de 1986. O trabalho concluía que os valores encontrados superavam o limite de segurança estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e, com um título bastante chamativo, alertava para o problema que parecia grave. Um terceiro grupo, ainda, formado por pesquisadores do Instituto de Química e do Instituto de Geociências da Unicamp, de Campinas-SP, publicou também em 1988 nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências* um trabalho sobre o destino do mercúrio liberado em áreas de garimpo, porém nas regiões de Guarinos e Pilar de Goiás-GO (ANDRADE et al, 1988).

É interessante perceber como, num período muito curto, passa-se de um cenário no qual pesquisadores da UNIR, em 1985, emitem chamados para o Laboratório de Radioisótopos, no Rio de Janeiro, buscando auxílio para estudar a fundo o problema do mercúrio, para outro no qual diferentes grupos pareciam mimetizar a corrida do ouro, buscando rapidamente elucidar a gravidade e profundidade do ‘novo problema’ finalmente observado. Numa esfera das publicações para um público um pouco maior que o dos periódicos estritamente científicos, também em 1988 a revista *Ciência Hoje* publicou o texto ‘Contaminação por mercúrio: fatos e fantasias’, assinado pelo químico Wilson de Figueiredo Jardim, da Unicamp. Nele, o químico não apenas complexifica o tema da contaminação por mercúrio, citando diferentes exemplos de casos fatais como o de Minamata, no Japão, mas

também de outros usos cotidianos e não prejudiciais do elemento, como obturações dentárias feitas com amálgamas à base do metal. Apresenta, entretanto, o problema da química aquática do mercúrio, e dos potenciais riscos envolvidos com as emissões do Hg em sistemas hídricos. Além disso, o autor também cita os trabalhos dos pesquisadores do Biofísica e dos estudos em Goiás, e menciona algumas soluções para tentar remediar a contaminação em áreas de garimpo, como a remoção dos sedimentos contaminados através de dragagem ou a introdução de materiais particulados para aumentar o teor dos sólidos em suspensão. Jardim reconhece as imensas lacunas existentes no estudo do mercúrio, mas se apega no que já se sabia, como no fato de que o garimpo poderia ocasionar um problema crônico, “uma vez que o sedimento contaminado torna-se uma fonte inesgotável de mercúrio”, e de que o maior risco para a população não estava na ingestão da água contaminada, mas sim dos peixes.

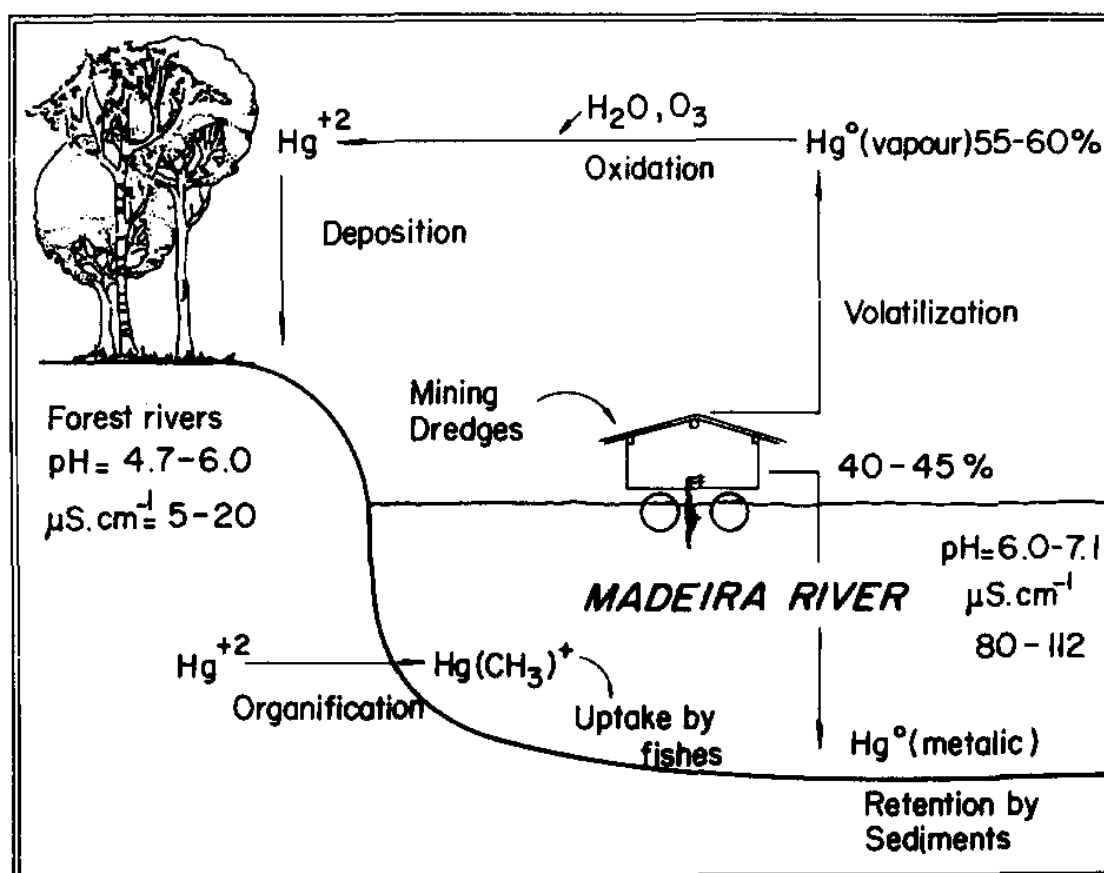
Sendo o mercúrio um elemento químico que poderia ou não ser tóxico, ou então altamente tóxico, dependendo de sua forma, das suas interações químicas com a biota, com o ambiente e com certas atividades humanas, o problema era complexo do ponto de vista de sua demarcação técnica e epistemológica, mas também social e econômica, envolvendo todo o conturbado contexto da mineração do ouro. Além disso, devido a sua complexidade e escassez de dados científicos, tornava-se ainda mais complicado tratar do tema, que poderia caminhar de uma situação relativamente fácil de resolver às suas conclusões mais alarmantes. O tema, além disso, mobilizou não apenas os pesquisadores ligados ao Instituto de Biofísica, ou então ao Departamento de Geoquímica da UFF, da qual Lacerda fazia parte, mas passou a envolver diferentes grupos que formavam novas linhas de pesquisa em ecologia aplicada, ecologia de ecossistemas e química ambiental no Brasil.

Em 1989, artigo assinado por Pfeiffer, Lacerda, Olaf Malm, Cristina Souza, Ene Glória da Silveira e Wanderley Bastos foi publicado, dessa vez no periódico *The Science of the Total Environment*. No texto, os pesquisadores apresentavam as concentrações totais obtidas nas análises de mercúrio nas águas, sedimentos e peixes das áreas de mineração de Rondônia. Concluíram que as concentrações variavam bastante em cada rio, sendo os maiores valores encontrados em rios tributários da floresta. As análises das amostras de água, de sedimentos e de partes comestíveis de peixe mostraram valores considerados muito superiores aos níveis recomendados para consumo humano no país.

A novidade dos dados obtidos e a própria existência de projetos de pesquisa investigando o mercúrio na Amazônia possuía um grande papel nas discussões globais sobre o assunto. Os trabalhos do hemisfério norte apontavam uma diminuição das emissões antropogênicas mundiais de mercúrio, devido, por exemplo, à redução de fungicidas com o

elemento. Por outro lado, existia um consenso de que os dados do hemisfério Sul e, em especial, “dos países tropicais do Terceiro Mundo” (PFEIFFER et al, 1989, p. 233), eram escassos e limitados. Conseqüentemente, isso acabava reduzindo a valores “demasiado baixos” as estimativas das emissões globais de mercúrio. Talvez pela inexistência de trabalhos sobre a amálgama utilizada na recuperação de ouro e prata, ela era uma fonte de emissão “até recentemente considerada insignificante” (PFEIFFER et al, 1989, p. 233). Aspectos próprios da configuração ecossistêmica nos rios tropicais da Amazônia, como a metilação do mercúrio provocada pela alta disponibilidade de matéria orgânica e pela intensa atividade de bactérias, ou a dependência da população local dos recursos como peixes para sua sobrevivência, eram especificidades da região de estudo que ainda seriam desveladas tanto para o Brasil e suas autoridades, quanto para a comunidade científica internacional.

Figura 45: Ciclo ambiental do mercúrio na região tropical da Amazônia.

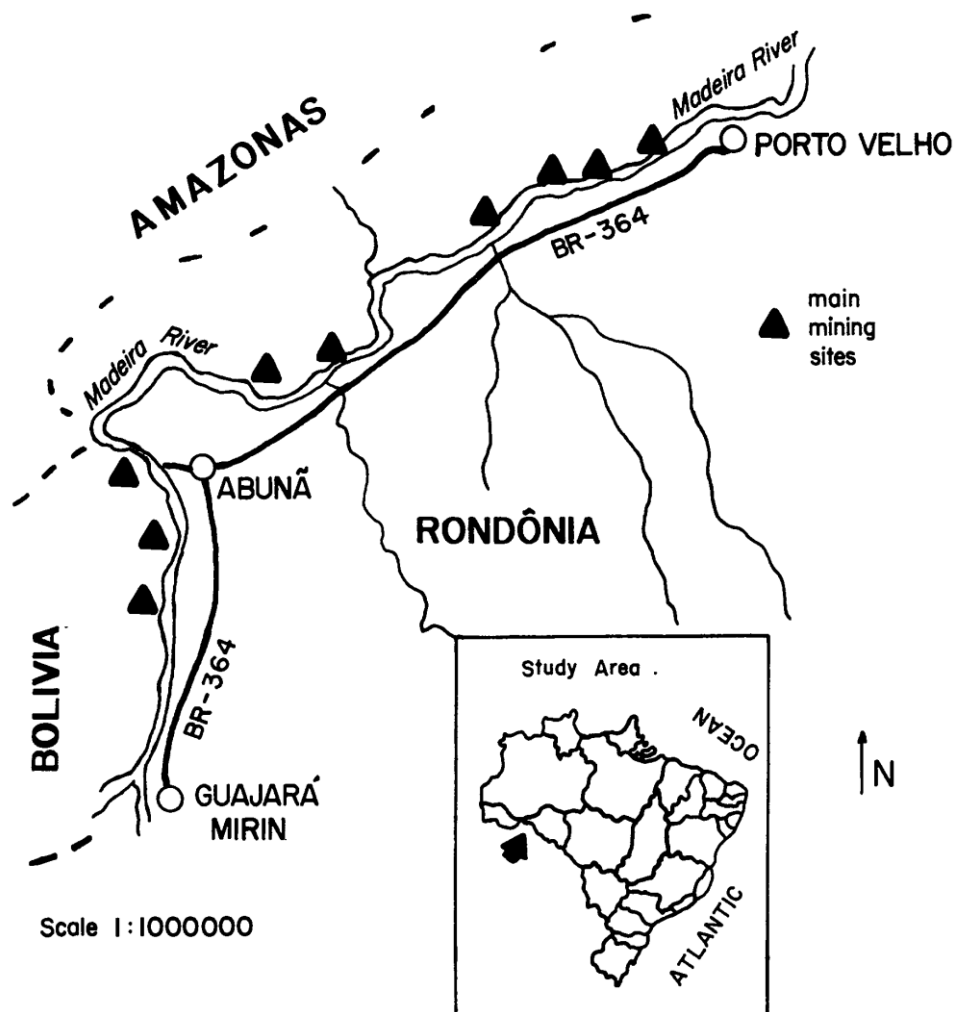


In: PFEIFFER, Wolfgang, et al. Mercury concentrations in inland Waters of goldmining areas in Rondônia, Brazil. *The Science of the Total Environment*, v. 87-88, 1989, p. 234.

Também em 1989, um pequeno artigo com os mesmos primeiros dados coletados foi publicado por Pfeiffer, Lacerda, Ari Ott e Ene Silveira no periódico *Biotropica*. O artigo

apresenta um mapa com as localizações das minas de ouro ao longo do rio Madeira, e uma tabela com um histórico de 1979 a 1985 da produção de ouro em relação às entradas e perdas de mercúrio no rio e na atmosfera. Os dados da tabela foram extraídos do documento sobre garimpo do DNPM de 1983, e do artigo de Pfeiffer e Lacerda de 1988.

Figura 46: Locais de mineração de ouro ao longo do rio Madeira, no estado de Rondônia, Brasil.



In: LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Mercury Contamination in the Madeira River, Amazon-Hg Inputs to the Environment. **Biotropica**, v. 21, n. 1, 1989, p. 91.

Figura 47: Série histórica da produção de ouro na região do rio Madeira, em Rondônia, mostrando também as perdas de mercúrio para os rios e para a atmosfera.

Year	Gold production		Hg loss to rivers	Hg loss to atmosphere	Total Hg loss
	Official	Actual			
1979	0.18	1.24	0.74	0.89	1.64
1980	0.24	1.77	1.00	1.20	2.20
1981	0.82	5.72	3.43	4.12	7.55
1982	1.35	9.46	5.67	6.81	12.48
1983	3.45	24.18	14.51	17.41	31.92
1984	1.93	13.52	8.11	9.73	17.84
1985	1.47	10.30	6.18	7.41	13.59
Total	9.41	65.86	39.51	47.42	86.93
Annual mean	1.34	9.41	5.65	6.77	12.42

In: LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Mercury Contamination in the Madeira River, Amazon-Hg Inputs to the Environment. **Biotropica**, v. 21, n. 1, 1989, p. 91.

Antes de seguir no desenvolvimento da linha de pesquisa sobre mercúrio na Amazônia, vale uma análise do livro publicado em 1992, ‘Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química?’ escrito por Luiz Drude de Lacerda e Wim Salomons, que oferece uma boa síntese dos trabalhos realizados até então, da situação geral da garimpagem e das emissões de mercúrio, além de delinear os caminhos que se seguiriam. O livro fez parte da série de Tecnologia Ambiental do CETEM/CNPq (Centro de Tecnologia Mineral), instituição pública de pesquisa criada em 1978 no âmbito dos trabalhos para o desenvolvimento dos usos sustentáveis dos recursos minerais brasileiros (e atualmente uma das unidades do Ministério da Ciência e da Tecnologia). Na época, Wim Salomons era pesquisador visitante do CETEM. Doutor em química pela Universidade de Gröningen, na Holanda e pesquisador do Institute of Soil Fertility Research, em Haren, também na Holanda, Salomons estabeleceu uma parceria duradoura com os pesquisadores brasileiros na Amazônia, em especial com Lacerda. Nesse contexto, Lacerda, como mencionado, era professor do Programa de Pós-Graduação em Geoquímica da Universidade Federal Fluminense (UFF) e do CNPq. A parceria entre os dois cientistas, iniciada com essa publicação, se estendeu, como veremos, para outros projetos relacionados ao estudo de ecossistemas costeiros e de manguezais a nível global (SALOMONS *et al.*, 1999; LACERDA, 2002).

Apesar do caráter técnico da obra, há uma clara tentativa de demonstrar a dimensão e

gravidade do problema estudado. No prefácio, é ressaltado o fato de que a contaminação por mercúrio na Amazônia era um problema silencioso, e, por isso, mais complicado de lidar, e que havia pouca atenção ao potencial de impactos ecológicos de longo prazo. “As pessoas parecem atraídas pelos acidentes químicos espetaculares, cujos efeitos se manifestam no curto prazo” (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. v). Mencionando o lugar comum existente na literatura ao tratar de reservatórios químicos como depósitos ambientais definitivos, como uma espécie de “poço sem fundo, no qual produtos químicos poderiam ser lançados para nunca mais serem encontrados”, os cientistas defendiam a substituição da imagem do poço pela de uma esponja. “Esses produtos químicos estão longe dos olhos, mas certamente não devem estar longe do pensamento. Esta percepção é de importância crucial em termos da maneira como encaramos as consequências de longo prazo das emissões químicas no meio ambiente” (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. v).

É interessante notar o esforço em traduzir um esquema complexo de ciclagem de metais pesados e sua poluição hídrica e atmosférica, em metáforas bastante simples. Esse aspecto nos remete à dificuldade em tratar de problemas de escala macroscópica, não vistos numa escala menor, próprios a certos conhecimentos, como os da biogeoquímica ou da climatologia em desenvolvimento.

Assim como uma esponja encharcada perde sua capacidade de absorver mais líquido, a imagem de reservatório-como-uma-esponja sugere que, embora os sistemas ambientais muitas vezes tenham grande capacidade de absorver e imobilizar produtos químicos tóxicos e prejudiciais ao ambiente, essa capacidade pode, eventualmente, ficar saturada com os rejeitos químicos acumulados. Ademais, durante o tempo em que o sistema é capaz de imobilizar produtos químicos tóxicos, os efeitos ambientais notórios não se evidenciam. Quando os efeitos finalmente se manifestam, eles em geral estão temporalmente deslocados da atividade que é a causa do problema (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. v-vi).

Havia ainda o risco do deslocamento espacial, como no caso de produtos químicos transportados pelos rios, “pelos lençóis freáticos ou pela atmosfera” para ambientes distintos. Essa trajetória é a ciclagem estudada pela ecologia de ecossistemas, e que o grupo do Instituto de Biofísica foi um dos primeiros no Brasil a pôr em prática, inicialmente na Baía de Guanabara. Parte do incentivo da publicação de Lacerda e Salomons vinha da relação com um grande programa de conscientização da opinião pública “com o nome familiar de Bombas Relógio Químicas”, iniciado pelo Ministério da Habitação, Planejamento Físico e Meio Ambiente da Holanda (VROM). “Como parte desse projeto, encomendaram-se estudos

*desktop*²³⁰. Um desses estudos *desktop* trata do uso cada vez maior e da dispersão cada vez mais ampla do mercúrio através da ecologicamente sensível área amazônica” (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. vi). O programa holandês, que conectava os pesquisadores brasileiro e holandês, havia sugerido de forma despretensiosa a adesão da ideia das *Chemical time bombs*, promovendo a definição, discussão e circulação desse ‘conceito’. Para tanto, uma série de publicações baseadas em estudos de caso e workshops foi iniciada em agosto de 1990, nos Países Baixos. Além da definição de ‘bombas-relógio’, ou seja, acumulações de produtos químicos a longo prazo no ambiente, o programa também publicou relatórios públicos sobre o mapeamento das vulnerabilidades, aterros sanitários, terras contaminadas e modelos de conjuntos de dados. Entre os cientistas envolvidos diretamente com os workshops estava Wim Salomons, além de outros cientistas holandeses, um suíço e um austríaco (STIGLIANI, 1991, p. v).

O estudo da Amazônia, apesar de não ser o único foco, tinha um lugar privilegiado dentro do projeto, fornecendo informações significativas a respeito das dinâmicas ocorridas em rios tropicais, que, por sua vez, se relacionavam diretamente com ciclos biogeoquímicos globais. Outra interessante relação entre os Países Baixos e o Brasil estava no fornecimento de mercúrio. De acordo com Lacerda e Salomons, o Brasil não produzia mercúrio, sendo a totalidade do mercúrio utilizado importado de países europeus, dos Estados Unidos e do México. Dentre os principais países fornecedores para o Brasil no início da década de 1990 estavam os Países Baixos em primeiro, e a Alemanha em segundo lugar (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 2). Nesse sentido, a preocupação do ministério holandês “com o uso ecologicamente sustentável e de longo prazo dos produtos químicos” parece ter relação direta com suas próprias dinâmicas de mercado.

Os autores destrincham especificidades relacionadas às atividades de garimpagem, expondo os instrumentos utilizados e ilustrando as explicações com esquemas, gráficos e figuras que expressam as etapas da produção do ouro e a utilização do mercúrio nesse processo. Fotografias mostram atividades como a queima das amálgamas formadas por ouro-mercúrio e os catastróficos “terrenos de aparência lunar resultantes da extração de solos auríferos” (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 11). Os autores também apresentam dados como a quantidade de pessoas envolvidas no garimpo de ouro na Amazônia, estimada naquele momento em 1,2 milhão de pessoas, a extensão territorial das atividades, estimada em

²³⁰ O termo referia-se, nesse caso, a estudos modelo, ou seja, que exemplificariam a ideia de bombas relógios químicas.

170.000 km², e a produção total de ouro, que entre 1983 e 1988 variou de 40 a 100 toneladas por ano (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 15).

Esse tipo de extração de ouro, de acordo com os autores, ocorria também na Venezuela, Filipinas, Tailândia e até mesmo na China, sendo a primeira vez que a técnica centenária era empregada em larga escala (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 63). Desse modo, de 1.000 a 2.000 toneladas de mercúrio estariam, no início da década de 1990, acumuladas no ecossistema amazônico. Entretanto, além dessas estimativas estarem possivelmente defasadas pelo desconhecimento de outros sítios de extração de ouro, deveria ser considerada a diferença entre o mercúrio metálico, que não era considerado muito tóxico, e o metilmercúrio, altamente tóxico, formado pela intensa atividade bacteriana da região.

Com a estimativa de que pelo menos 50% do mercúrio utilizado na garimpagem era perdido na atmosfera, era fato que o metal já estava totalmente espalhado. Apesar disso, os pesquisadores identificaram o que chamaram de ‘pontos quentes’, ou seja, regiões com alto teor de mercúrio, tanto em depósitos de rejeitos, bolsões de mercúrio em sedimentos dos leitos dos rios, quanto nos próprios rios. O mercúrio dos pontos quentes, entretanto, não estavam muito biodisponíveis, ou seja, não tinham tanta entrada na cadeia trófica, por se encontrarem sobretudo em sua forma metálica. O problema era o risco de o mercúrio desses pontos se dispersar por todo o ambiente, em processos de erosão e lixiviação. Desse modo, o mercúrio poderia adentrar regiões mais favoráveis à transformação em metilmercúrio, como nos solos da floresta, planícies alagadas e nos rios de águas pretas. Limitando a análise ao ciclo do mercúrio nos ecossistemas tropicais, os autores afirmam, entretanto, que “os atuais problemas apenas se tornarão mais sérios com o tempo”, daí a ideia das *Chemical time-bombs*.

Outro aspecto importante abordado por Lacerda e Salomons refere-se à impossibilidade de aplicar o amplo conhecimento já existente sobre o ciclo dos metais em sistemas temperados para os ecossistemas tropicais, onde ocorriam interações biológicas que afetavam a absorção de elementos, inexistentes nas florestas temperadas, e onde a biomassa vegetal era o principal reservatório de nutrientes, e não o solo (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 65). Em razão dessas especificidades, o principal caminho do mercúrio na Amazônia era a atmosfera (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 65). Nos ecossistemas temperados, o predomínio da ‘imobilização’ do solo e de reservatórios de ‘ciclo lento’ se diferencia amplamente dos ecossistemas estudados por Lacerda, nos quais o mercúrio e outros contaminantes apenas se moveriam de um compartimento biológico para outro, aumentando as chances de acontecer uma grande acumulação em animais que se encontram nos níveis

elevados da cadeia alimentar no decorrer do tempo. “O acúmulo de poluentes na biomassa (sistema tropical) e não em compartimentos como solos (sistemas temperados) torna muito mais difícil controlar o sistema depois que os poluentes penetrarem nele” (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 66).

Na descrição do ecossistema tropical afetado pelo mercúrio, Lacerda e Salomons inserem o ser humano na origem da poluição pelo mercúrio, mas também como parte dos animais que, estando em níveis tróficos elevados, poderiam modificar drasticamente as estruturas das comunidades biológicas, dado o acúmulo progressivo de poluentes de um nível trófico para outro. Além disso, no caso da população local altamente consumidora dos peixes, comunidade biológica intensamente afetada pelo mercúrio, existia o risco de ocorrer uma contaminação generalizada e restrições para a economia da região. Havia ainda o impacto de grandes reservatórios artificiais que estavam sendo construídos na Amazônia para a geração de energia hidrelétrica. O potencial de eles aumentarem os níveis de contaminação de mercúrio na região foi considerado bastante significativo, pelas circunstâncias criadas pela inundação de áreas florestais, as quais poderiam potencializar a produção de formas altamente reativas de mercúrio (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 67).

Lacerda e Wim Salomons colocam uma série de questionamentos, sobre a possibilidade de entender o mercúrio e outros poluentes na Amazônia como uma bomba relógio química em potencial e se essa bomba seria controlável no ambiente tropical. Eles frisaram a necessidade de mais estudos para que aquele “fenômeno” pudesse ser comprovado. “Não com estudos isolados, não com pesquisa multidisciplinar, mas com pesquisa integrada tendo o funcionamento do ecossistema como seu ponto focal” (LACERDA e SALOMONS, 1992, p. 68). Demarcando a grande diferença do ecossistema tropical para os ecossistemas temperados, e defendendo a necessidade de mais pesquisas a nível global, o trabalho de Lacerda e Salomons buscou demonstrar que a própria ideia de *Chemical time bombs* deveria ser repensada à luz dos estudos na Amazônia. Se a expressão era resultado de pesquisas em ecossistemas temperados e os resultados obtidos nos ecossistemas tropicais apontavam para novas dinâmicas de ciclagens dos poluentes, talvez limitar os achados à ideia de uma bomba química não fosse tão interessante.

Em 1998, o trabalho de Lacerda e Salomons foi publicado em língua inglesa pela editora Springer, na série *Environmental Science*, editada por Salomons, R. Allan e U. Förstner, com atualizações sobre o tema desde a publicação do trabalho original. Eles mantiveram os questionamentos de 1992, assim como o ponto de interrogação no título, deixando a ideia de bomba relógio química em aberto [*Mercury from Gold and Silver Mining:*

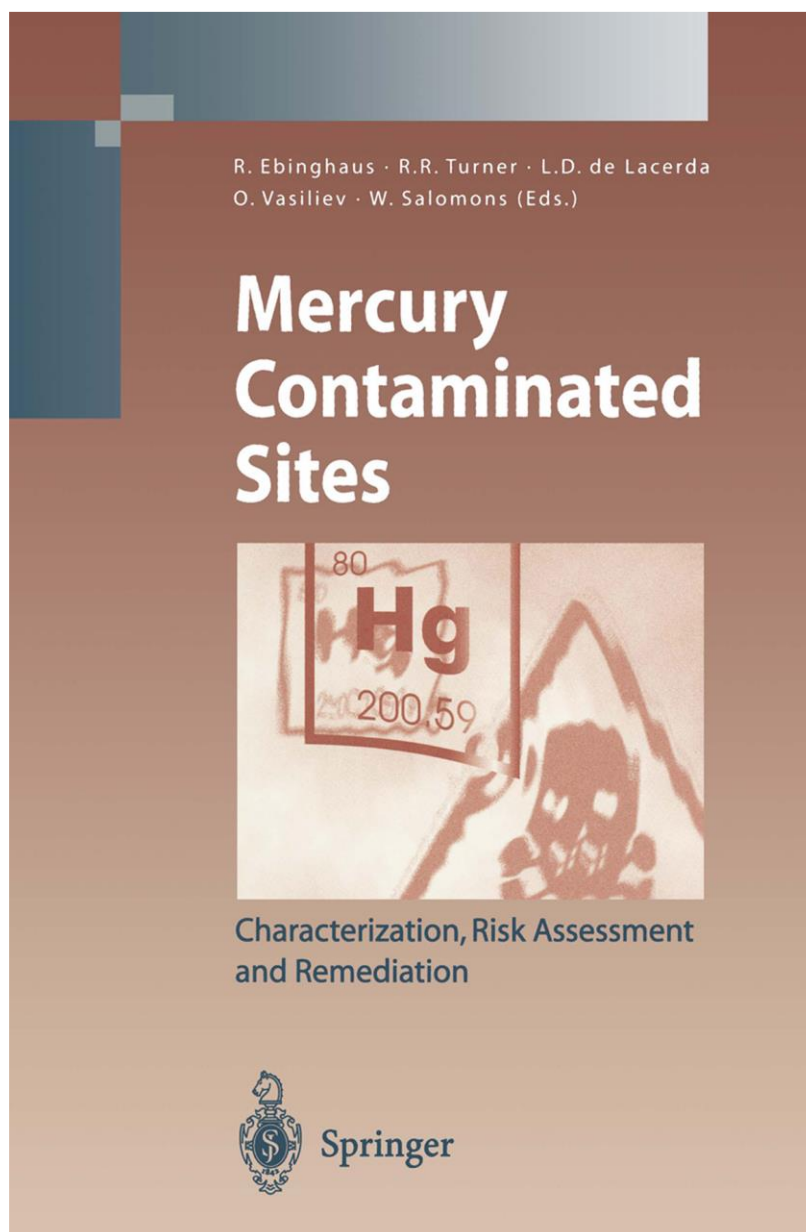
A *Chemical Time Bomb?*]. Acrescentaram uma série de recomendações direcionadas sobretudo à população humana mais possivelmente afetada – as populações ribeirinhas e os negociantes de ouro em lojas internas. Preconizaram evitar a ingestão rotineira de peixes carnívoros e ventilação em lojas de ouro, além de medidas nos próprios garimpos destinadas a reduzir as emissões (LACERDA e SALOMONS, 1998, p. 124).

O livro de 1998 foi escrito após uma visita de Luiz Drude de Lacerda a Haren, na Holanda, para a redação de um relatório sobre a situação do mercúrio na região amazônica. Sua viagem, entretanto, ocorreu ainda em 1991, patrocinada pelo VROM, Ministério da Habitação, Planejamento e Meio Ambiente da Holanda. Nesse contexto, os autores redigiram um primeiro relatório, com o mesmo nome do livro, publicado pelo ministério holandês em 1991 (LACERDA e SALOMONS, 1991). Embora o novo livro parecesse ter demorado anos para ficar pronto, ele já estava publicado desde 1991 e 1992, porém apenas pelo Ministério de Habitação, Planejamento e Meio Ambiente da Holanda e pela CETEM/CNPq, não tendo assim a mesma projeção que o novo texto teria. Apesar disso, houve um intenso esforço de comunicar aqueles achados globalmente desde 1991, quando a contaminação por mercúrio na mineração de ouro tornou-se um fenômeno global (LACERDA e SALOMONS, 1998, p. vi-vii).

Os autores mencionam o apoio de várias instituições brasileiras, como o CNPq, CETEM e a UFF, além das agências governamentais holandesas e a rede de especialistas que contribuiu para os trabalhos, contando com pesquisadores da CETEM, do IBCCF (Pfeiffer, Olaf Malm e Jean Guimarães), além de cientistas das Universidades de Nevada, China e Tanzânia. Isso mostra como o tema adquiriu cada vez mais importância global a partir de países fora do eixo Europa-Estados Unidos, e demandou uma grande cooperação científica internacional. Essa cooperação foi fundamental, dentre outras coisas, para a circulação dos achados na Amazônia, a exemplo da publicação em questão, que apesar de ter sido escrita em 1991, só foi publicada em inglês em 1998, embora já fosse tema de várias publicações pelos mesmos cientistas. Em 1999, Lacerda e Salomons participaram como editores de um projeto de enorme envergadura, que envolveu informações sobre contaminação por mercúrio em regiões da Europa, Ásia e Américas, e contou com a participação de 89 autores do mundo todo, num extenso livro também publicado pela Springer. O livro reunia de forma inédita dados de pesquisas realizadas em diferentes regiões do globo, com inúmeros estudos de caso e a presença de pesquisadores brasileiros, como o próprio Lacerda, do Departamento de Geoquímica da UFF, mas também Antonio Carlos Augusto da Costa, do Instituto de Química da UERJ, Rozane Valente Marins, da Geoquímica da UFF e Luiz Gonzaga Sobral e Roberto Cerrini Villas Boas, da CETEM/CNPq.

No texto de Lacerda e Salomons publicado nessa outra coletânea, os pesquisadores apontaram que a emissão de mercúrio se originava não apenas em depósitos mais recentes de áreas tropicais, “mas também em locais de mineração há muito abandonados nos EUA e no Canadá”. Desse modo, mesmo que o uso de mercúrio para a mineração de ouro na Amazônia fosse interrompido, o que não era esperado pelos pesquisadores, o problema ainda se manteria. Apesar dessa projeção, Lacerda e Salomons insistiram novamente na necessidade de mais pesquisas para avaliar os riscos a longo prazo e medidas remediadoras (LACERDA e SALOMONS, 1999, p. 85). Organismos como caracóis e moluscos foram considerados bioindicadores importantes, por refletirem “as concentrações de mercúrio nos depósitos de rejeitos”. Na vegetação, tanto terrestre quanto aquática, os níveis de mercúrio também se apresentavam elevados. Por fim, com relação ao processo principal de dispersão do mercúrio, os autores descreviam sua origem na “erosão das partículas contaminadas com mercúrio pela gravidade, chuva, tempestades e subsequente retrabalho dos depósitos em sistemas fluviais ou lacustres” (LACERDA e SALOMONS, 1999, p. 84-85).

Figura 48: Capa do livro que reunia pela primeira vez uma ampla quantidade de informações sobre contaminação por mercúrio a nível global, tendo Lacerda e Salomons entre os editores do projeto.



In: EBINGHAUS, Ralf, *et al.* **Mercury contaminated sites**: characterization, risk assessment, and remediation. Berlin, Germany: Springer, 1999.

Apesar de Lacerda e Salomons (1992, 1998, 1999) frisarem a importância de mais pesquisas, havia um enorme dinamismo entre os pesquisadores ligados a Pfeiffer e Lacerda. A descrição detalhada da biogeoquímica do mercúrio na Amazônia, ainda no início da década de 1990, reflete como o grupo se articulou desde meados da década de 1980 para investir pesado nesse novo projeto de pesquisas. O grupo de pesquisadores acompanhou o tema em nível global e abordou o assunto em uma série de trabalhos, publicizando os achados das pesquisas em vários periódicos internacionais de relevo durante a primeira metade da década de 1990, tais como *The Science of the Total Environment*, *Forest Ecology and Management*, *Water, Air and Soil Pollution* e *Biogeochemistry*. A expansão dos estudos para outros rios, adentrando o

estado do Mato Grosso, também pode ser observada. Em 1990 e 1991, o grupo publicou especificamente sobre o Rio Madeira, respectivamente analisando amostras apenas dos sedimentos de 10 rios diferentes da bacia hidrográfica do Madeira (LACERDA et al, 1990), e fazendo um levantamento dos níveis de mercúrio nas águas, sedimentos, solos florestais, peixes, ar e cabelo humano (PFEIFFER et al, 1991). Em artigos subsequentes, o grupo escreveu sobre estudos realizados no estado do Mato Grosso, na região do pantanal, os quais também tiveram colaboração de Wim Salomons. Eles analisaram concentrações de mercúrio em sedimentos e na biota no distrito de Poconé, numa bacia hidrográfica responsável pela drenagem de rejeitos produzidos por uma mineradora de ouro que operava há 10 anos na região (LACERDA et al, 1991a, 1991b).

Outras publicações na *Química Nova* (LACERDA e PFEIFFER, 1992), no periódico *Environmental Reviews* (PFEIFFER et al, 1993) e na revista *Nature* (NRIAGU et al, 1992; LACERDA, 1995), mantiveram um tom de denúncia da situação, enquanto expunham novos conhecimentos a respeito do ecossistema amazônico e da ciclagem do mercúrio. A tônica da gravidade do problema é um elemento quase crônico do texto, massivamente reiterado pelos cientistas. Em *Mercury pollution in Brazil*, Jerome Nriagu, Wolfgang Pfeiffer, Olaf Malm, Cristina Souza e Gregory Mierle afirmaram que: “Embora a mídia popular tenha dado ampla cobertura à poluição por Hg associada à mineração de ouro, a investigação científica da maioria dos aspectos do problema tem sido muito limitada. Os custos ambientais da contaminação da Amazônia por mercúrio podem ser enormes” (NRIAGU et al, 1992, p. 389). Em 1995, por sua vez, publicando sozinho e com um foco maior nos dados da emissão atmosférica do mercúrio, Lacerda foi mais enfático em relação à mineração de ouro. No artigo intitulado *Amazon Mercury emissions*, Lacerda disse: “Portanto, embora o desmatamento seja uma grave ameaça ambiental para a Amazônia, se há algum “vilão significativo” na emissão de Hg para a Amazônia, é, definitivamente, a mineração de ouro” (LACERDA, 1995, p. 20). Lacerda estava na verdade rebatendo outros autores que haviam publicado também na *Nature* estudo no qual defendiam que as queimadas florestais eram as fontes mais significativas de dispersão de mercúrio na atmosfera, diminuindo com isso a contribuição da mineração de ouro e ignorando a contaminação por Hg em peixes e pessoas da região. Anos depois, Lacerda modificaria totalmente sua ideia a respeito desse assunto, como veremos adiante.

Analisarei, no item a seguir, outros documentos referentes às atividades dos pesquisadores do Laboratório de Radioisótopos na Amazônia, buscando entender, com isso, os detalhes do envolvimento desses cientistas na questão do garimpo, da contaminação do mercúrio, e na repercussão que o tema passou a ter na mídia. Para aprofundar outros aspectos

desta análise, seguirei a trajetória científica de alguns personagens importantes na construção dessa agenda de pesquisas na Amazônia, responsáveis por diferentes desdobramentos dela, desde o contato mais próximo com os radioisótopos, o tema da saúde humana e as discussões sobre Antropoceno e mudanças climáticas. Também irei examinar outras trajetórias ligadas ao Laboratório de Radioisótopos que não participaram ativamente dos projetos de pesquisa na Amazônia, mas de outras linhas de pesquisa envolvendo radioisótopos, metais pesados e ecologia aplicada.

4.2.3 “Ecologia do ouro”: retortas, garimpeiros e cientistas

De acordo com o depoimento da pesquisadora Valéria Magalhães, o Laboratório de Radioisótopos sempre buscou estabelecer parcerias público-privadas. Isso levava, de acordo com a cientista, à disponibilidade de grande aporte financeiro, geralmente obtido a partir dos esforços de Wolfgang Pfeiffer. O dinheiro oriundo da iniciativa privada propiciava, dentre outras coisas, a compra de equipamentos, o pagamento de bolsistas e os custos com viagens de campo. Apesar disso, ainda de acordo com Magalhães, o Laboratório de Radioisótopos acabava sofrendo críticas internas: “Na época era um horror, as pessoas achavam que a gente se vendia”²³¹. Esse tipo de informação trazida por Valéria Magalhães é difícil de ser confirmada nas fontes escritas por se tratar de impressões que tendem a circular em espaços mais informais. O que pode ser confirmado é que o Laboratório de Radioisótopos possuía uma relação próxima com certas empresas, e, como veremos no último tópico desta tese, também se envolvia em vários assuntos extramuros. Para aprofundar esses aspectos, bem como processos relacionados às atividades práticas de cientistas do Laboratório no tema do mercúrio na Amazônia, analisarei alguns documentos que evidenciam dinâmicas ocorridas entre a iniciativa privada, o Laboratório de Radioisótopos, os garimpeiros e as discussões sobre as retortas.

Em 30 de outubro de 1990, uma correspondência do Banco Goldmine S. A., principal empresa participante do mercado do ouro brasileiro oriundo do garimpo, endereçada a Wolfgang Pfeiffer, e assinada por Nathan Blanche, Diretor Presidente da Fundação Goldmine, apresentava o primeiro projeto desenvolvido pela instituição e convidava o laboratório para participar. A Fundação Goldmine, ligada ao banco, havia acabado de ser criada, e se dizia sem fins lucrativos “cujos objetivos principais são o desenvolvimento de atividades no âmbito

²³¹ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAAE:47237621.3.0000.5241.

das Ciências Ambientais com o propósito de contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do meio ambiente nacional”²³². O primeiro projeto da nova Fundação intitulava-se “Água Limpa”, e pretendia diminuir em 90% os lançamentos de mercúrio nas áreas de garimpo de ouro da Amazônia legal. “Conhecedores de suas atividades científicas nesta mesma área durante a última década, somos da opinião que sua contribuição para o sucesso do projeto face aos conhecimentos adquiridos é de capital importância”²³³. A carta enviada a Pfeiffer convidava-o a assumir o cargo de Coordenador Científico do projeto, sem remuneração, uma vez que a Fundação não lucraria com o projeto em questão. Apesar disso, a empresa assumia arcar com os custos operacionais do trabalho, e propunha, “a título de compensação pessoal”, a liberação de todos os dados para serem publicados pelos pesquisadores. “Somos da opinião de que esta conjugação de esforços, Universidade e Fundação, poderá frutificar com grandes benefícios para ambas as partes”²³⁴.

Pfeiffer recebeu também o estatuto da Fundação Ecológica Goldmine, que tinha entre seus objetivos a promoção de estudos técnicos, serviços, cursos e pesquisas no campo da ecologia no Brasil, além da promoção da educação ambiental em todos os níveis. Estavam também entre os objetivos “solucionar os problemas de devastação do meio ambiente, notadamente aqueles ocasionados pela exploração do ouro”, e “realizar pesquisas visando comprovar a viabilidade do desenvolvimento de atividades econômicas sem agressão à natureza e em harmonia com o meio ambiente”²³⁵. Assim, ao mesmo tempo que a agenda da ecologia de ecossistemas poderia receber grande incentivo, por outro lado, fica nítido nos objetivos da empresa uma espécie de tentativa de remediação dos problemas cujas causas estava, dentre outras coisas, nas próprias atividades de uma empresa como essa. A tentativa ambiciosa de “comprovar a viabilidade” de uma relação de harmonia entre desenvolvimento econômico e meio ambiente, um ponto alto nos debates sobre Amazônia, também estava no cerne da proposta. Não existem correspondências que mostram a resposta de Pfeiffer a esse contato inicial, mas o cientista aceitou as condições.

Temos aqui a conjugação de interesses distintos. Por um lado, uma empresa cujo objetivo principal era sua própria sobrevivência como banco, mas que pretendia se associar

²³² Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²³³ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²³⁴ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²³⁵ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

com uma preocupação ambiental; pesquisadores desejando desenvolver e expandir suas agendas de pesquisa; e, por fim, os garimpeiros, inicialmente eleitos responsáveis, pela origem antropogênica da poluição por mercúrio no ecossistema amazônico, trabalhadores vivendo não apenas à margem dos rios, mas também da sociedade. Nenhuma proposta de extinção total da garimpagem surgiu da parte desses grupos. O foco das iniciativas foi minimizar as emissões de mercúrio através de métodos específicos, como o uso de instrumentos como as retortas, destiladores que conseguiam recuperar o mercúrio utilizado no processo de amalgamar o ouro. Para isso, identifiquei duas frentes principais das atividades desenvolvidas com o apoio da Goldmine: a conscientização dos garimpeiros a respeito dos malefícios do mercúrio e o uso das retortas como forma de amenizar danos ambientais.

Numa pequena entrevista com o título de ‘Ecologia do ouro’ para a seção Negócios & Finanças do *Jornal do Brasil*, em sua edição de 30 de agosto de 1990, Nathan Blanche afirmava, em tom pretensioso, que conseguiria em apenas seis meses construir o programa de eliminação do mercúrio nos garimpos: “O garimpo é o meu meio de sobrevivência. A contaminação da natureza pelo mercúrio cedo ou tarde inviabilizaria a exploração de ouro no país” (ECOLOGIA..., 1990, p. 19). Sendo, de acordo com a entrevista, o principal comprador de ouro dos garimpos, o Banco Goldmine, através de Blanche, não escondia que, seu projeto ecológico visava a continuidade da exploração do ouro. “E por que o banco decidiu assumir a tarefa ecológica? Blanche responde: “Se não fizermos alguma coisa, quem vai fazer? Do jeito que a coisa estava, até a dor de dente era culpa do governo” (ECOLOGIA..., 1990, p. 19)²³⁶.

Em carta de 11 de outubro de 1990, Nathan Blanche apresentava novamente o projeto Água Limpa e as iniciativas da Fundação à Wolfgang Pfeiffer. A carta abordava a posição privilegiada do Banco Goldmine para atuar como “agente de mudanças na área ecológica suprindo a ausência de informações no campo”. De acordo com Blanche, o Banco Goldmine já vinha procurando formas de “ação conscientizadora do garimpeiro através de programas difundidos por rádio em cadeia nacional e por outros meios de comunicação”. Além do trabalho de conscientização, ele defendia, “agora, a adoção de atitudes práticas, procurando canalizar recursos para a implantação de projetos que, efetivamente, assegurem a preservação

²³⁶ O caso do Banco e da Fundação Goldmine pode ser pensado à luz da ideia de *greenwashing*, ou “lavagem verde”, quando as empresas buscam mecanismos de propaganda para acobertar suas práticas de exploração e degradação ambiental, criando uma falsa preocupação com a natureza e o meio ambiente. Um estudo mais aprofundado sobre o tema pode ser visto na seguinte dissertação: PAGOTTO, Érico Luciano. *Greenwashing: os conflitos éticos das propagandas ambientais*. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Mudanças Sociais e Participação Política – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo – EACH-USP. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

do meio ambiente”²³⁷. O projeto piloto incentivaria cientistas no trabalho com o mercúrio e reflorestaria áreas de garimpo. “Para a Fundação Goldmine, não basta uma mera conscientização de todas as parcelas da sociedade envolvidas neste processo. É necessário agir, de forma eficiente, nos locais, para que não se legue a nossos descendentes somente manuais de boa conduta”²³⁸.

Apesar da espécie de crítica aos “manuais de boa conduta”, boa parte das atividades da Goldmine envolveu, efetivamente, peças de conscientização para os garimpeiros. Trilhas musicais de campanha, seleções de poesias temáticas, palestras e manuais ilustrados foram alguns dos produtos confeccionados pelo projeto. Entre as documentações trocadas entre a Goldmine e Wolfgang Pfeiffer, encontram-se alguns desses exemplos. Reproduzo abaixo uma trilha sonora de campanha, sem data, intitulada ‘Garimpeiro Preserve a Natureza’:

ÔÔÔ GARIMPEIRO
 CONSTRUA O BRASIL COM SUAS MÃOS
 ÔÔÔ GARIMPEIRO
 ASSIM FAREMOS PARTE DE SEU CORAÇÃO
 VOCÊ QUE VIVE DAS RIQUEZAS DE NOSSO CHÃO
 TENHA MAIS CARINHO, MAIS COMPAIXÃO
 FAÇA DE MINHAS PALAVRAS AS SUAS
 SEMPRE QUE ARRANCAR UMA ÁRVORE
 POR FAVOR PLANTE DUAS
 REFRÃO
 PENSE NAS CRIANÇAS QUE HÃO DE NASCER
 NO FUTURO COMO IRÃO SOBREVIVER
 ESPERO QUE NO HOJE VOCÊ DEIXE ESCRITO
 USEM O BRASIL MAS O DEIXEM BONITO
 REFRÃO
 VOCÊ QUE VIVE RASTREANDO OURO E DIAMANTE
 ESTA É A MENSAGEM DA CINDAM E GOLDMINE
 REFRÃO²³⁹.

Não é possível saber se a trilha foi de fato gravada, mas é perceptível a natureza da ‘conscientização’ proposta aos garimpeiros. A letra da música está envolta por um sutil nacionalismo, atrelado a um apelo com um projeto de futuro, à construção do Brasil e às crianças. Entre as correspondências também foi encontrado uma cópia do Hino ao Garimpeiro, de Cecília Meireles, poema publicado no livro *Romanceiro da Inconfidência*, de 1953. Esse poema, por sua vez, capturava o drama do árduo trabalho da garimpagem. Já no

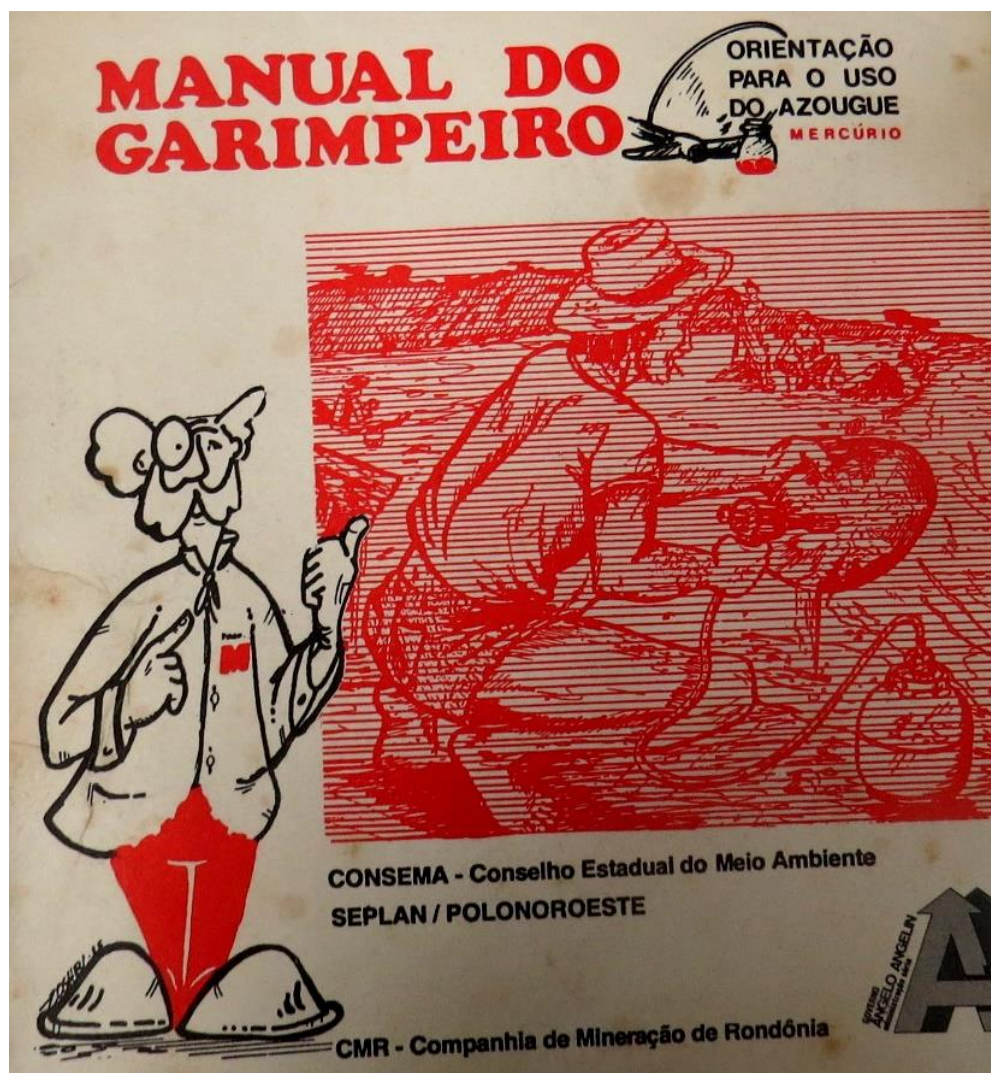
²³⁷ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²³⁸ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²³⁹ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

sentido prático, o contato com os garimpeiros era feito sobretudo através dos presidentes dos sindicatos de garimpeiros da Amazônia legal. Isso pode ser visualizado, por exemplo, em eventos como o do dia 25 de outubro de 1990, ocorrido no Hotel Glória, no Rio de Janeiro, que contou com a apresentação do projeto Água Limpa, e com a presença de representantes de garimpeiros de Altamira, Itaituba, Diamantina, Macapá, Tartarugalzinho, Roraima, Mato Grosso/Cuiabá e Itaituba.

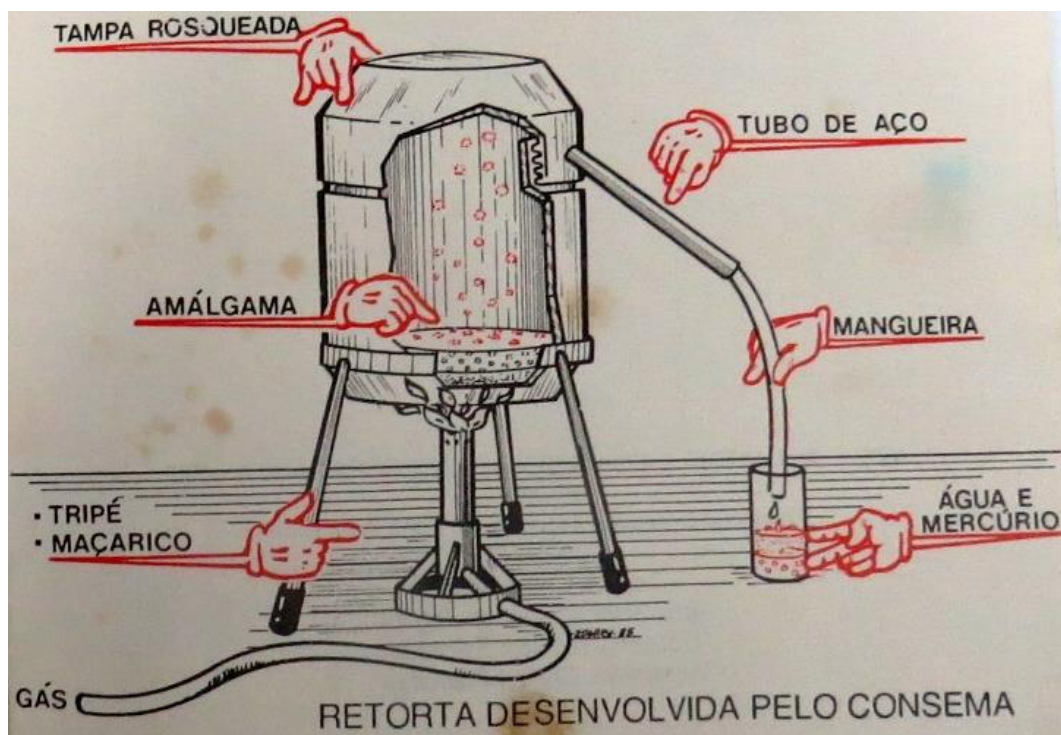
Para entendermos de forma mais detalhada os projetos de conscientização dos garimpeiros em seu trabalho, vale olhar para o ‘Manual do Garimpeiro: orientação para o uso do azougue’. Apesar de não ser um material produzido dentro do projeto do Banco Goldmine, o manual em questão serviu de base não só para os trabalhos do Projeto Água Limpa, como também pode ser visto nas referências bibliográficas de artigos científicos dos próprios pesquisadores do Laboratório de Radioisótopos e do Departamento de Geoquímica da UFF (LACERDA et al, 1989). Publicado pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) do governo do estado de Rondônia no ano de 1986, durante a gestão de Ângelo Angelim (1985-1987), em parceria com a Companhia de Mineração de Rondônia (CMR) e o Sindicato dos Garimpeiros de Rondônia, o manual era todo ilustrado e detalhista. O manual se assemelhava, na verdade, a uma história em quadrinhos, com informações e instruções guiadas pelo Prof. Mercúrio, personagem criado pelo artista rondoniense João Zoghbi, responsável por todas as ilustrações do livro.



In: **MANUAL do garimpeiro**. Orientação para o uso do azougue. Cons. Est. Meio Ambiente – CONSEMA: Porto Velho, 1986.

O manual abordava desde características gerais sobre o mercúrio, chamado também de azougue pelos garimpeiros, os perigos da contaminação humana, com um apelo à saúde das mulheres grávidas, fetos e crianças, além do grave perigo da impotência sexual. O livro apresentava também a contaminação de peixes, que seriam importantes vias de contaminação, os sintomas e os exames que deveriam ser feitos em caso de suspeita. Também tratava de cuidados que deveriam ser tomados durante o trabalho com o mercúrio, como o isolamento do local, o armazenamento do metal utilizado, o uso de luvas e conta gotas. Por fim, o Prof. Mercúrio incentivava a utilização da retorta, como uma economia para o trabalho e um cuidado de saúde, com exposição dos diferentes tipos de retortas desenvolvidos tanto pela CETEM/DNPM quanto pela CONSEMA.

Figura 50: Retorta da CONSEMA, com setas indicadoras dos componentes e funcionamento do instrumento.



In: **MANUAL do garimpeiro**. Orientação para o uso do azougue. Cons. Est. Meio Ambiente – CONSEMA: Porto Velho, 1986, p. 15.

Figura 51: Uma página completa do manual, contendo tanto a ilustração de Zoghbi, destacando os grandes

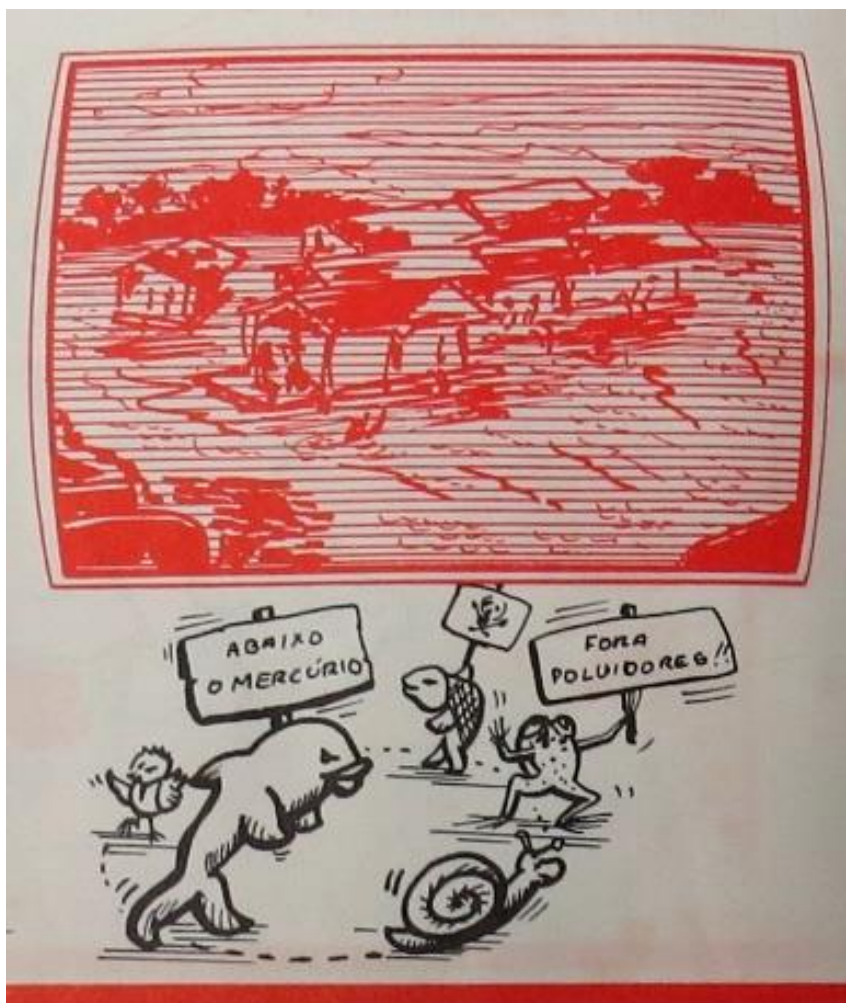
perigos causados pelo mercúrio, quanto, embaixo, um texto contextualizando o histórico de Minamata.



In: **MANUAL do garimpeiro**. Orientação para o uso do azougue. Cons. Est. Meio Ambiente – CONSEMA: Porto Velho, 1986, p. 05.

Figura 52: Recorte de ilustração representando um protesto da fauna amazônica atingida pela contaminação do

mercúrio.



In: **MANUAL do garimpeiro**. Orientação para o uso do azougue. Cons. Est. Meio Ambiente – CONSEMA: Porto Velho, 1986, p. 06.

A relação das informações do manual com os casos de morte em Minamata, o apelo pela morbidez proveniente do mercúrio, seja em abortos espontâneos, ou na causa de crianças com problemas mentais ou na impotência sexual, aspecto bastante frisado pelo manual, visavam sensibilizar os garimpeiros. Apesar do grande risco em potencial que o mercúrio possuía, seu papel como causador de doenças e contaminações graves de saúde humana ainda não estava sendo visualizado na região, e passaria a ser estudado de forma aprofundada apenas na década de 1990.

Figura 53: A convergência entre humor e apelo à virilidade masculina parece ter sido uma escolha simples para

tratar de um tema altamente complexo, buscando uma proximidade informal com os trabalhadores do garimpo.



In: **MANUAL do garimpeiro**. Orientação para o uso do azougue. Cons. Est. Meio Ambiente – CONSEMA: Porto Velho, 1986, p. 08.

De qualquer forma, todos os elementos do manual tinham como objetivo principal a promoção do uso da retorta pelos garimpeiros. O tema das retortas, esse objeto cuja origem remete aos laboratórios de química, e que foi adaptado para uma aplicação prática na Amazônia, foi um importante propulsor da relação entre o Banco Goldmine e o Laboratório de Radioisótopos. Apesar da existência de retortas para esses fins já na década de 1980, o Laboratório de Radioisótopos iniciou uma série de testes de distintas retortas e a construção de uma retorta própria, com financiamento da Goldmine. Correspondências sobre testes, protótipos e confecções de componentes específicos da retorta já eram trocadas entre Wolfgang Pfeiffer e a coordenadora do Projeto Água Limpa Ana Luiza Montenegro ainda em 1990, ano do início da parceria. Em carta de 20 de novembro de 1990, Montenegro mencionava, com certa pressa, uma série de articulações que estavam em curso, com testes sendo feitos pela CETEM, protótipos para serem entregues pela empresa Hidrojet, informações e fotos sobre croquis do projeto e visitas de pesquisadores a destilarias modelo. Opções diversas também estavam sendo cogitadas para testagem. Na correspondência de Montenegro à Pfeiffer, em novembro do mesmo ano, as chamadas placas mercurizadas estavam sendo cogitadas sem grandes confirmações de seu uso pela equipe do Instituto de

Biofísica.²⁴⁰

Existe toda uma documentação de correspondências mais técnicas e burocráticas que evidenciam os trâmites entre órgãos e instituições como a CETEM, o CNPq e o IBAMA, para os testes e registros da retorta financiada pela Goldmine durante o ano de 1991.²⁴¹ Em um dos relatórios técnicos feitos durante esses trabalhos de teste e busca pelo registro do novo equipamento, Olaf Malm e Wolfgang Pfeiffer descreveram de forma sucinta o esforço que estavam tendo no projeto de encontrar um modelo com as melhores características²⁴². Enquanto todos esses processos ainda tramitavam internamente pelas correspondências de cientistas, técnicos e diretores das instituições envolvidas, notícias já pululavam sobre o tema nos principais jornais do período.

O *Jornal do Brasil* publicou em 27 de setembro de 1991, a matéria ‘Garimpo vai ter campanha contra uso de mercúrio’, em que apresentava os trabalhos em desenvolvimento pelo Laboratório de Radioisótopos e a Fundação Ecológica Goldmine. O artigo trouxe depoimento de Pfeiffer, que mencionava que, a partir do apoio da Goldmine, foi possível “colocar em prática os nossos conhecimentos científicos e técnicos, chegando a uma tecnologia simples, adequada à realidade da região, para evitar os lançamentos de mercúrio” (GARIMPO..., 1991, p. 7). Pfeiffer também divulgava que o uso das retortas já havia sido amplamente testado e apresentado tanto em encontros científicos internacionais, quanto entre os próprios garimpeiros da Amazônia. “O processo e os dois equipamentos propostos, já credenciados pelo Ibama, foram extremamente bem aceitos por eles” (GARIMPO..., 1991, p. 7).

Na mesma reportagem, Nathan Blanche, presidente da Fundação Goldmine e vice-presidente do Banco Goldmine, confirmava que o projeto iria distribuir 50 mil retortas em diferentes pontos de garimpo. Além disso, o projeto previa um programa educacional, que seria elaborado pelo Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde da UFRJ, com campanhas em rádio e televisão, meios de comunicação considerados “muito presentes entre os garimpeiros” (GARIMPO..., 1991, p. 7), além de técnicos treinados para atuar nos locais de garimpo. Blanche mencionava em seu depoimento a possibilidade de apresentar o projeto

²⁴⁰ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²⁴¹ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²⁴² Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

na vindoura conferência da ONU Rio-92²⁴³, como um programa efetivo de “realização ecológica de importância internacional”. Apesar das projeções do programa, e da propaganda do mesmo como algo oriundo da iniciativa privada, Blanche mencionava que, sem recursos públicos, o projeto não seria plenamente desenvolvido (GARIMPO..., 1991, p. 7).

Pouco mais de um mês depois, o *Jornal do Commercio* (RJ), abordava o tema da falta de recursos para a viabilização de projetos. A denúncia da falta de verbas vinha do diretor do IBCCF à época, Wanderley de Souza, que afirmava que o instituto ainda não tinha recebido o aporte financeiro de projetos que já estavam aprovados desde o ano passado, nem das agências públicas. O aporte de órgãos privados, como a Goldmine não estava sendo suficiente para o andamento das atividades de pesquisa (FALTA..., 1991, p. 14).

O projeto das retortas enfrentou alguns imprevistos relacionados à publicização das atividades desenvolvidas no Laboratório de Radioisótopos. Além de matérias em jornais impressos, a parceria entre o laboratório e a Goldmine também foi anunciada na televisão, mais precisamente no programa Fantástico, da Rede Globo. Essa visibilidade gerou conflito com o engenheiro curitibano Carlos Eduardo Wendler, que em maio de 1992 iniciou uma série de inquirições a respeito da retorta desenvolvida pela parceria entre o Laboratório de Radioisótopos e a Goldmine. A motivação de Wendler parecia ser simples: o engenheiro havia inventado um destilador de mercúrio que desde 1989 encontrava-se patenteado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).²⁴⁴ Ele fez uma série de movimentações reivindicando seus direitos assegurados pela patente. Depois de cuidadosamente analisarem a semelhança com a invenção de Wendler,²⁴⁵ batizada de Ouromil e divulgada pela imprensa, os pesquisadores do laboratório de Radioisótopos concluíram que a retorta que haviam desenvolvido era diferente sob vários aspectos²⁴⁶.

Em carta a Wendler, Pfeiffer menciona que já havia informado que o Laboratório de Radioisótopos do IBCCF era uma instituição de pesquisa básica “que desenvolve pesquisas na

²⁴³ A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como Rio-92, ocorreu entre os dias 3 e 14 de junho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro e envolveu uma série de atividades com o objetivo de discutir pautas ambientais. Contou com a presença de chefes de estado do mundo todo e foi um importante marco nos debates do tema, sobretudo na esfera pública. A relação dos pesquisadores estudados nesta tese com esse evento, por outro lado, parece não ter sido tão marcante na trajetória desses cientistas.

²⁴⁴ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²⁴⁵ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²⁴⁶ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

área ambiental sem fins comerciais (no caso do Mercúrio desde 1985)”²⁴⁷, e que sua retorta havia sido desenvolvida através da Fundação Goldmine igualmente sem o objetivo de lucrar.²⁴⁸ Apesar disso, o caso se arrastou, com Wendler procurando a todo custo comprovar que se tratava do mesmo equipamento²⁴⁹. Ele divulgou seu Ouromil na imprensa como a solução para os problemas que o mercúrio poderia causar à saúde humana (PESQUISADOR..., 1990, s.p.).

Na documentação encontrada nesta pesquisa, as trocas de correspondências entre Carlos Wendler, Wolfgang Pfeiffer e Nathan Blanche cessam ainda em 1992. A retorta desenvolvida no projeto Água Limpa continuou a ganhar publicidade na imprensa, apresentada como mais vantajosa devido à portabilidade e com alertas sobre os riscos do mercúrio para a cadeia alimentar e a biodiversidade (JANSEN, 1993, p. 21). O plano era a realização de um ano de testes com o novo protótipo. Na documentação consultada não é possível ter detalhes sobre como ocorreu o andamento desses testes. Ela aponta, porém, a continuidade das pesquisas sobre os impactos ecológicos da utilização do mercúrio na Amazônia, sobretudo nas cadeias alimentares e para as populações humanas, confirmando a centralidade dos peixes na contaminação (PFEIFFER, 1994, p. 21).

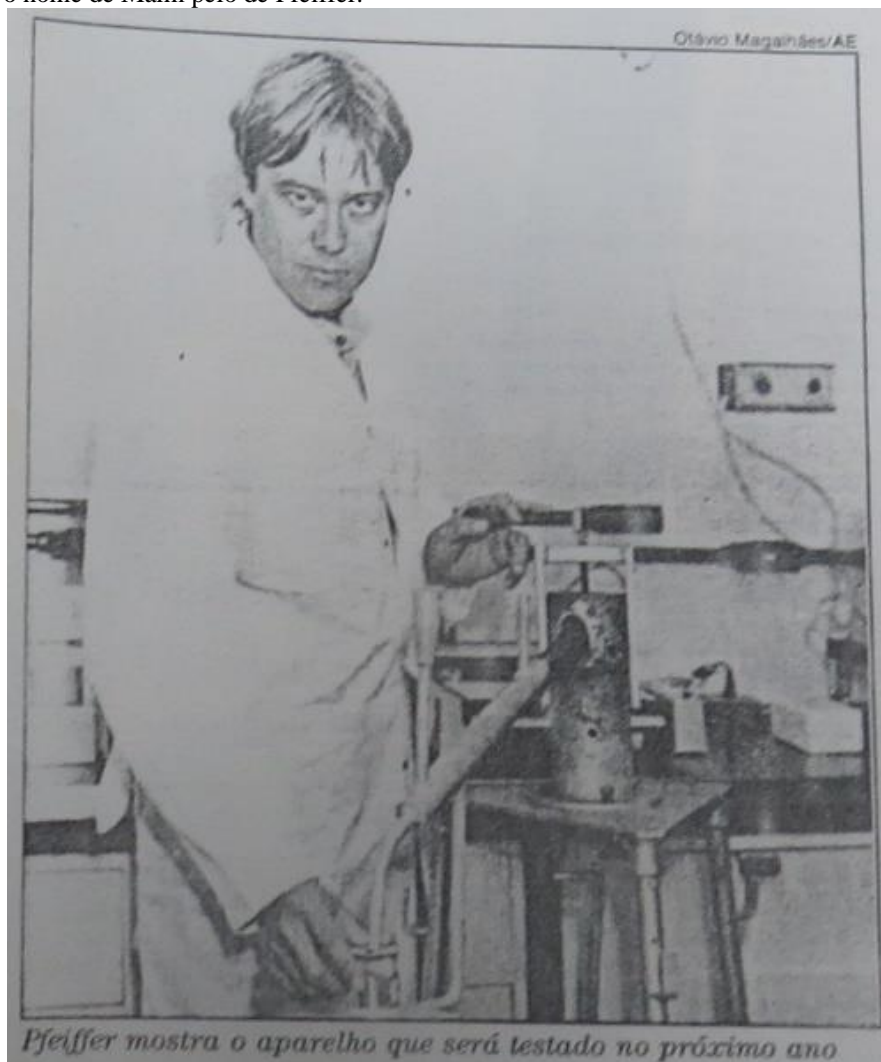
Pfeiffer menciona em um de seus relatórios novas parcerias do grupo, como no caso de um novo projeto de pesquisa com o *Imperial College* da Inglaterra, com financiamento da Comunidade Europeia (hoje União Europeia), e que objetivava o estudo das consequências da contaminação por mercúrio na Amazônia na saúde humana. Com dois laboratórios regionais em Santarém e Porto Velho, visava-se mensurar as concentrações de mercúrio em conexão com os hábitos socioeconômicos e exames clínicos das populações mais vulneráveis (PFEIFFER, 1994, p. 21). Além disso, o pesquisador registrava que o laboratório manteria estudos sobre as taxas de metilação do mercúrio a partir do uso de radioisótopos, “tentando correlacioná-las com dados físico-químicos e biológicos do ecossistema” (PFEIFFER, 1994, p. 22).

²⁴⁷ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²⁴⁸ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

²⁴⁹ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

Figura 54: Olaf Malm com a retorta do projeto Água Limpa. Na legenda da foto, o jornal cometeu um pequeno erro, trocando o nome de Malm pelo de Pfeiffer.



In: JANSEN, Roberta. Aparelho evita contaminação por mercúrio. **O Estado de São Paulo**, 25 de setembro de 1993, p. 21.

A ramificação de novas linhas de pesquisa dentro do projeto do mercúrio na Amazônia será abordada no último tópico deste capítulo. É interessante perceber como o Laboratório de Radioisótopos manteve-se ativo nas atividades de pesquisa básica na Amazônia, para além de parcerias específicas, como no caso da Goldmine. O fato de o tema da retorta ter sido pouco mencionado nos anos seguintes, evidencia como ele foi apenas um dos vários projetos e atividades desenvolvidas pelo grupo comandado por Pfeiffer. Sua análise neste texto serviu, entretanto, para evidenciar a relação do grupo de cientistas com outros grupos com distintos interesses, como o Banco Goldmine, os garimpeiros ou mesmo ‘inventores’ como o engenheiro Carlos Wendler. O contato com Nathan Blanche, da Goldmine, entretanto, parece ter sido continuado por mais alguns anos, como registrado em um fax endereçado à Pfeiffer,

de 08 de maio de 1996²⁵⁰.

Com um pedido de ajuda do diretor Nathan Blanche ao grupo do Instituto Biofísica, sobre um amigo com quadro de envenenamento por mercúrio, o documento indica que, de alguma forma, foi construída uma relação de parceria entre cientistas que vinham há anos estudando o ecossistema amazônico, e diretores executivos de um banco cujo lucro era oriundo do garimpo. Mesmo que a retorta não tenha sido amplamente implantada, seja por conjunturas políticas, econômicas ou mesmo funcionais, o projeto Água Limpa acabou legando alguma expertise e visibilidade para aqueles pesquisadores. Todos esses elementos refletem a teia complexa do fazer científico nas últimas décadas do século XX. Pois, enquanto os cientistas buscavam novas formas de implementar suas agendas de pesquisa, banqueiros procuravam manter, literalmente, suas minas de ouro. Nesse cenário, outros personagens aparecem na história, participando de uma grande ‘ecologia do ouro’. Alguns se valeram da temática ambiental para empreender projetos comercializáveis, ou então, no caso dos garimpeiros, ainda permanecendo à margem da sociedade, e no topo da cadeia trófica afetada sistemicamente pela poluição.

4.3 Radioisótopos, ecologia e Antropoceno no Brasil: trajetórias científicas e identidade profissional

A análise microhistórica a partir das trajetórias científicas como forma de iluminar dinâmicas globais na história das ciências do século XX foi uma das abordagens metodológicas desta tese. Neste último tópico, essa abordagem será novamente aplicada no estudo da trajetória dos seguintes cientistas: Jean Remy Davée Guimarães, Luiz Drude de Lacerda, Olaf Malm, Wanderley Rodrigues Bastos, João Paulo Machado Torres e Valéria Freitas de Magalhães. O objetivo aqui não é uma prosopografia desses personagens, mas entendê-los como grupo com uma identidade profissional marcada pela história dos radioisótopos no Brasil. Todos esses cientistas tiveram ao menos grande parte de seu percurso formativo realizada no Laboratório de Radioisótopos criado em 1956 no Instituto de Biofísica da UFRJ. Tendo, assim, os radioisótopos como um dos principais catalisadores da ecologia de ecossistemas no Brasil, veremos a partir dessas trajetórias e agendas de pesquisas como a ecologia aplicada, que teve sua gênese ainda como biofísica ambiental, com Eduardo Penna Franca, transformou-se ao longo das últimas décadas do século XX.

²⁵⁰ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

A escolha pela análise de trajetória desses personagens se dá pelo fato de eles terem sido peças importantes em diferentes desafios enfrentados pelo Laboratório de Radioisótopos, e, ao mesmo tempo, por cada um deles representar uma vertente distinta dos grandes projetos de pesquisa do grupo. Jean Remy Guimarães, por exemplo, pode ser considerado o pesquisador que mais se manteve ligado aos radioisótopos como metodologia básica de suas pesquisas, se envolvendo como técnico do IRD em trabalhos como os do acidente radiológico de Goiânia, em 1987. Outros pesquisadores do grupo, como Luiz Drude de Lacerda, enveredaram suas pesquisas para escalas mais macroscópicas de análise ecológica, adentrando as agendas das mudanças climáticas e do Antropoceno. Já Olaf Malm, passou a dedicar-se sobretudo ao tema da saúde humana das populações afetadas por poluentes como o mercúrio, e João Paulo Machado Torres enveredou suas pesquisas para os agrotóxicos, como os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Na diversidade de ramos assumida pelas pesquisas do grupo, os radioisótopos e o meio ambiente podem ser considerados os principais elementos para entender as atividades desses personagens através de um ponto de convergência. Seja como elemento de identidade histórica, como objeto tecnológico básico na paisagem dos laboratórios daquela instituição, ou ainda como parte importante para a resolução de alguns dos quebra-cabeças do grupo, os radioisótopos mantiveram-se como agentes nos novos sistemas experimentais desenvolvidos ali. Com eles, esteve também o grande conceito agregador e por vezes polissêmico de ‘meio ambiente’, que, como veremos, atraiu jovens pesquisadores para o Laboratório, e demarcou as fronteiras de seus trabalhos.

4.3.1 *Terra em Transe*: Jean Remy Davée Guimarães, radioisótopos e metilmercúrio

Referindo-se ao problema do mercúrio em uma das regiões onde fez trabalhos de campo durante a década de 1990 na Amazônia, Jean Remy Davée Guimarães afirmou ter tido, em um dado momento, “a sensação de testemunhar um mundo em extinção” (GUIMARÃES, 2012, p. 162). É assim que o cientista finaliza seu livro ‘Terra em transe: crônicas de um planeta em risco’, reunião dos textos dos dois últimos anos de sua coluna mensal de divulgação científica sobre temas ambientais no portal do Instituto Ciência Hoje, iniciada em 2008. Com uma forte veia crítica e unindo referências culturais e científicas, o pesquisador e colunista fez uma alusão a partir do título, tanto de seu livro quanto de sua coluna, ao filme *Terra em Transe*, de 1967, dirigido por Glauber Rocha. No filme, a complexa teia de personagens políticos que participam da história do Brasil é metaforizada a partir de uma história fictícia bastante crítica, que ironiza tanto os políticos tecnocratas, conservadores,

populistas, quanto a esquerda e os progressistas. Produzido e lançado no período mais dramático da ditadura militar brasileira, *Terra em Transe* foi censurado e proibido em todo o território nacional, sendo liberado posteriormente mediante modificações impostas à trama²⁵¹. Na breve apresentação do livro de Jean Remy, não assinada, mas possivelmente escrita pela coordenadora do projeto, Alicia Ivanissevich, a referência ao filme é mencionada. Apesar disso, buscou-se restringir a expressão a um sentido específico, diferente do filme de Glauber Rocha: “O nome da coluna deve ser interpretado em seu sentido literal – uma alusão à crise ambiental que o mundo enfrenta. Por definição, a palavra ‘transe’ – estado de aflição, angústia; viva inquietude, momento problemático – é ideal para caracterizar o panorama grave da saúde do planeta” (GUIMARÃES, 2012, p. 3).

Apesar do direcionamento editorial de circunscrever a ideia de ‘terra em transe’ a algo ‘puramente’ ambiental, em suas crônicas, Jean Remy Guimarães, constrói verdadeiras cadeias de personagens e agentes de forma semelhante ao filme de 1967, culminando, geralmente, em textos ao mesmo tempo provocadores e desoladores. A imagem de um planeta em colapso pintada por Jean Remy Guimarães envolve nomes de presidentes de repúblicas, empresas e indústrias, contrastados com problemas cuja historicidade e complexidade dificultam a identificação de culpados únicos, e também de suas resoluções. É, nesse sentido, um texto construído através também de uma visão ecossistêmica sobre os temas tratados. Apesar do tom de alerta evocado nas crônicas do cientista, e a escolha de certas chamadas, títulos e expressões que remetem à necessidade de mudança, a divulgação científica produzida por Guimarães soa mais melancólica do que ativista. Muito disso vem, certamente, como veremos agora, da experiência prática do cientista em campo e em laboratório, com uma trajetória marcada por eventos como a construção de Angra 1, o programa nuclear paralelo, o acidente radiológico de Goiânia e os estudos com o metilmercúrio na Amazônia.

Jean Remy Davée Guimarães nasceu no ano de 1955 na cidade do Rio de Janeiro. Filho de pai mineiro e de uma mãe de origem francesa, já durante a adolescência teve que morar em diferentes lugares, por circunstâncias ligadas aos seus pais. Assim, morou nos Estados Unidos, na França e no Peru. Devido a essa identidade múltipla, quando terminou seu período escolar, Jean Remy teve dificuldades em decidir onde continuaria seus estudos. Após concluir sua graduação no curso de Biologia Marinha da UFRJ em 1977, chegou a enviar um pedido de bolsa de mestrado para à França, mas, enquanto a resposta não vinha, dava aulas

²⁵¹ *Terra em Transe* (1967), de Glauber Rocha, foi considerado pela Associação Brasileira de Críticos de Cinema (ABRACCINE) como um dos 100 melhores filmes brasileiros de todos os tempos.

em cursinhos. Em seu depoimento para esta tese, o cientista relatou que, se por um lado, sua tentativa de ir para a França se relacionava com a ideia de que poderia obter facilidades devido ao seu sobrenome francês, o que não ocorreu, por outro lado, os contatos de sua mãe no Peru o favoreceram:

E aí eu fui para o Peru para, enfim... Bom, lá eu tinha casa e comida. Enquanto não vinha o resultado dessa consulta. Graças aos contatos da minha mãe, foi a primeira vez que eu usei o QI, né? O de Quem Indica. Eu consegui uma coisa difícilíssima de conseguir, como eu soube depois, que foi um estágio, sem remuneração, no Instituto Del Mar Del Peru. E, na verdade, foi graças a esse estágio que eu enxerguei para onde que eu ia caminhar o resto da minha vida profissional, porque a Biologia que eu tinha aprendido, meio clássica assim, eu achava muito tediosa. Botânica, zoologia e sistemática. Esse espírito assim, um pouco século dezenove ainda²⁵².

Durante sua graduação, iniciada em 1974, Guimarães relata ter vivenciado a emergência da ecologia, vista como uma espécie de ameaça por alguns do curso de biologia. “E foi um auê no Instituto [de Biologia], porque ecologia tinha a ver com o sistema terrestre, tinha a ver com o sistema marinho, tem a ver com tudo, tem a ver com gente, inclusive. E todo mundo ficou naquela assim. Que que a gente vai perder com isso?” Apesar da desconfiança da maioria, Jean Remy já possuía, nesse contexto, uma predileção pelo entendimento das relações entre os objetos. “Eu já tinha uma visão mais sistêmica para coisa”. O nascente Departamento de Ecologia da UFRJ, cuja figura principal nesse contexto era Fernando Segadas Vianna, parecia ser algo completamente novo no Brasil. Apesar disso, Guimarães relembra de Segadas Vianna como um professor autoritário, “meio coronel, meio catedrático também”²⁵³, embora moderno. Assim, a oportunidade de, após concluir seu curso de graduação, estagiar no Peru, parecia bastante atrativa. Guimarães permaneceu no Instituto Del Mar Del Perú (IMARPE) durante seis meses, tendo sido introduzido, nesse período, a técnicas de medição de metais pesados e com radioisótopos, o que seria o seu primeiro contato com esses objetos. No IMARPE, os traçadores radioativos eram bastante utilizados para medir a produtividade marinha através do carbono-14.

Ao fim de seu estágio no instituto marinho peruano, Guimarães retornou ao Brasil, porém ainda com a pretensão de fazer sua pós-graduação na França. Nesse percurso, o cientista acabou por ingressar em 1980 no Instituto de Biofísica da UFRJ. De acordo com seu relato, Eduardo Penna Franca, seu orientador, e Wolfgang Pfeiffer, o admitiram juntamente

²⁵² GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁵³ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

com uma grande leva de jovens biólogos: “Não sei se eram dez ou doze, biólogos para fazer mestrado lá. Todos ao mesmo tempo. Uns iam trabalhar com traçador, mas a maioria ia trabalhar mesmo com questões convencionais. Isso tinha a ver com um movimento do grupo, né?”²⁵⁴ De fato, nesse contexto, como também confirma o relato de Luiz Drude de Lacerda, amigo e parceiro de turma de Guimarães, Eduardo Penna Franca e Wolfgang Pfeiffer estavam em busca de atrair biólogos de formação para o laboratório, onde predominavam os químicos, que se deparavam cada vez mais com questões multidisciplinares.

Jean Remy não restringiu seus trabalhos ao IBCCF. O cientista também trabalhou décadas para a CNEN, no IRD. Após ter concluído seu mestrado no Laboratório de Radioisótopos, em 1982, estudando a bioacumulação de radioisótopos em algas bentônicas na região da usina de Angra 1, ele foi contratado pelo IRD. “Fiquei lá como bolsista uns seis, oito meses e teve uma leva de contratações, me enfiaram dentro e depois fechou. Praticamente não entrou mais ninguém depois durante séculos. Mas é... então assim de alguma forma o ciclo se esgotou”²⁵⁵. Em seu depoimento, Guimarães descreve o momento do início da década de 1980 como uma espécie de fim de ciclo, ou seja, o trabalho com radiação já parecia estar saturado. É nesse sentido que a mudança para o estudo com os *heavy metals* se inicia no IBCCF, como vimos nos tópicos anteriores. “É, porque, bom, a parte ecológica já estava mais ou menos lançada, definida. Eles continuavam não tendo muita gente trabalhando nisso, mas digamos que o interesse, o momento, o apoio...Não é que deixou de ser sexy, mas pô, isso já vinha durando a muito tempo”²⁵⁶.

Apesar disso, como já mencionado, Jean Remy manteve os radioisótopos e a radiação como os principais objetos de sua carreira, podendo ser considerado, assim, o principal especialista no assunto no Laboratório de Radioisótopos, após a aposentadoria de Penna Franca. O trajeto até aí, não foi nada óbvio, pois o jovem pesquisador não tinha o interesse inicial de se dedicar exclusivamente a questões radioativas. Ele derivou das próprias dinâmicas que estavam ocorrendo no Laboratório de Radioisótopos, ligadas ao programa de monitoração ambiental em Angra dos Reis. Em seu relato, Jean Remy considera Wolfgang Pfeiffer como o principal responsável pelo novo direcionamento do laboratório, ainda entre o final da década de 1970 e o início dos anos 1980. E foi exatamente nesse momento de mudanças que Pfeiffer e Penna Franca resolveram atrair biólogos para o seu laboratório. No caso de Jean Remy e Luiz Drude de Lacerda, que eram amigos e haviam estudado juntos, o

²⁵⁴ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁵⁵ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁵⁶ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

que os atraiu para o Laboratório de Radioisótopos foi a possibilidade de trabalhar com temas até então não estudados no Brasil, ao menos não a partir de uma abordagem ecossistêmica como a que seria empregada ali. Referindo-se a seu parceiro de trabalho, Guimarães ressalta o interesse de ambos “por metais pesados, mas não só. Mas tinha essa coisa de ser um... Ele não era um bichólogo, né? [...] É um biólogo, é diferente. Tudo é vida, não os bichos ou só as plantas”. A experiência de Jean Remy no Peru, estudando a interação de metais com a matéria orgânica do ambiente marinho, era, inclusive, um passo além do que se estava começando a fazer a partir de Wolfgang Pfeiffer.

Retornando ao período anterior ao início de seu mestrado, o contexto do seu ingresso no Instituto de Biofísica, sugestão de seu amigo Luiz Drude de Lacerda, foi até mesmo um pouco difícil devido a seu trabalho inicialmente não se encaixar exatamente na linha em formação:

E eu simplesmente propus, friamente para ele [Wolfgang Pfeiffer], entrar lá, fazer um estágio e começar um projetinho sobre isso, com a participação do Drude, inclusive. Ele aí ele foi muito gentil, diplomático, ele falou “Olha, o problema é que realmente, como você viu, a gente botou muita gente para dentro de uma vez só. Então a gente tem até um problema de espaço. Não tem mesa, não tem cadeira, os orientadores estão sobrecarregados. E esse projeto que você propõe realmente, sem dúvida é muito interessante, mas está um pouco além, ou bastante além até, daquilo que a gente teria capacidade técnica para fazer, mas eu espero realmente que você tenha sucesso, consiga, enfim, seduzir alguém para fazer isso”. E ficou me olhando, esperando. Aí eu olhei para ele e falei “Ah, ok, mas então independente de projeto há possibilidade de estágio mesmo sem remuneração com você?”. “Ah, como eu te falei não tem banco, não tem cadeira, não tem isso, não tem aquilo (...)”. Então do tipo “Ó, vaza”. Aí eu fiquei puto, olhei para ele assim, bem dentro da alma, e falei “Ok, então se a partir de amanhã eu vier aqui todos os dias e ajudar na execução da tese do meu amigo Drude, eu imagino que você não vai chamar a segurança, né? Aí ele ficou assim meio, né? Acho que ele não esperava isso. “Não, claro, tal”. Não deu outra. No dia seguinte, às nove da manhã, estava lá. Quando alguém levantava para ir almoçar eu podia sentar, quando ele voltava eu levantava²⁵⁷.

Nessa situação apertada, Jean Remy iniciou a escrita de um primeiro projeto, que envolvia metais pesados e o caranguejo chama-maré. “Era uma bobagem, mas eu gosto até hoje, né? Porque foi uma sacação também sistêmica”. Assim, ajudando Lacerda em seu trabalho com metais pesados em Sepetiba (LACERDA, 1983), Jean Remy trabalhou por um tempo com os caranguejos:

Eu vi que o chama-maré, ele pega areia superficial, bota na boca, usa aqueles

²⁵⁷ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

apêndices todos. Escovinha, espátula e tal. Chupa tudo que tem de orgânico ali e faz uma bolinha bonitinha como o resto que ele põe ali do lado. Aí ele anda um pouquinho. Botou para direita ele anda um pouquinho para esquerda, pega um a outra repete. Então qual era a minha sacação? Medir os metais pesados no sedimento, fora de onde tinha os caranguejos, e medir os metais pesados na bolinha pós caranguejos. E para isso eu tinha que coletar bolinha sem ela se desfazer e se misturar com o resto. Solução? O pote de maionese²⁵⁸.

O projeto em questão, entretanto, não foi para frente. O ingresso efetivo de Jean Remy no Laboratório de Radioisótopos foi, na verdade, a partir de um projeto bastante técnico com Antônio Oliveira, sobre calibração de bombas de ar. “Achava um tecnicismo besta, mas essa era a porta para entrar no laboratório”. A lacuna no programa radioecológico de Angra 1, para estudar a questão das algas marinhas, entretanto, salvou Guimarães da monotonia. O relato de Jean Remy Guimarães, sobre seus primeiros anos no Laboratório de Radioisótopos expressa bem o funcionamento sistêmico da ciência. O jovem pesquisador foi, na verdade, inserido em um grande projeto, quase contra a sua vontade, mas teve de aceitar. “Como assim alguém vai decidir o que vai ser o meu projeto?”, questionou Guimarães, enquanto ainda acreditava que seria possível estudar os caranguejos chama-maré e os metais pesados nas suas pequenas bolinhas de areias. “Eu levei um bom tempo, eu diria, uns três anos ou mais, para entender que, naquele momento, o Penna Franca já tinha decidido o que iam ser os meus próximos anos²⁵⁹”.

Com a trajetória de Jean Remy, vemos detalhes de como um cientista em início de carreira pode ser cooptado para suprir demandas específicas do laboratório, e, ao mesmo tempo, como existiu um movimento para incorporar pessoas com formação em biologia capazes de contribuir para as novas feições do Laboratório de Radioisótopos. Se inicialmente Jean Remy gostaria de ter estudado os caranguejos e os metais pesados, baseando-se em sua experiência peruana, a partir de sua dissertação, o cientista foi inserido de forma definitiva nos trabalhos com radiação, radioisótopos e energia nuclear. Após a defesa de sua dissertação, em 1982, como já dito acima, o cientista tornou-se inicialmente bolsista e depois foi contratado pelo IRD, saindo do IBCCF e passando a ser o responsável pelo Programa de Monitoração Radiológica, Ambiental e Operacional da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA). Nesse trabalho, Jean Remy ia para Angra dos Reis quatro vezes por ano, organizava as coletas, o laboratório e redigia o relatório para a CNEN, inserindo os dados

²⁵⁸ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁵⁹ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

obtidos com as análises:

O resto do tempo eu tinha um trabalho muito chato de chefe de alguma coisa no serviço público. E não era eu que fazia as análises. Tinha já toda uma estrutura pronta que já estava lá quando eu cheguei para... Aquela coisa do ciclo de produção. Entra por um lado, limpa, seca, estufa, pesa, mede, prensa, encapsula, põe no aparelho, faz a extração. Então meu papel não era fazer nada disso, e sim assegurar que estava tudo andando bem. E nesse cargo de chefia em órgão público é aquela coisa, a única coisa que você pode fazer é cooptar as pessoas, chamar pelo sentimento mais elevado e tudo. E você não tem como premiar e você não tem como pressionar, muito menos... então... e se você tentar vai ser pior. Então eu fui assim me equilibrando nesse muro. Rapidamente começou a ficar muito chato²⁶⁰.

Tratava-se, de acordo com o relato de Guimarães, de um “monitoramento burocrático”, um pouco longe de um trabalho realmente radioecológico. Esse monitoramento era baseado em parâmetros construídos pelo próprio Eduardo Penna Franca, de acordo com marcos regulatórios internacionais. Mesmo assim, existiam brechas que, segundo Jean Remy, permanecem até hoje, como o caso da dispersão atmosférica dos possíveis resíduos da usina nuclear. Várias brechas existiam, na verdade, em meio a quantidade de processos burocráticos envolvidos na dinâmica pré e pós operação da usina. O próprio Jean Remy, que coordenava o programa de monitoramento, relata ter redigido apenas um grande relatório sobre as análises, e que posteriormente, o trabalho foi ficando ainda mais engessado, talvez menos rigoroso do que se espera de um empreendimento como esse²⁶¹. “Então assim, eu até às vezes embaixo do chuveiro ou no engarrafamento, fico pensando “Qual foi a última revisão para valer do programa de Furnas?²⁶²”.” Além disso, semelhante ao trabalho do mercúrio na Amazônia, as condições específicas de Angra dos Reis, como a topografia, eram bastante diferentes das de países como a Alemanha, parceira do Brasil no acordo teuto-brasileiro para a construção das usinas e um dos referenciais para a construção das modelagens de análises para monitoração.

²⁶⁰ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁶¹ Me refiro aqui ao relatório intitulado ‘Environmental Monitoring of the Angra Reactor Site: Program and Results for Unit 1, Monitoring Period 1982-1984’, assinado por Jean Remy Guimarães (IRD/CNEN) e pelo alemão M. Winter (Hauptabteilung Sicherheit), do Kernforschungszentrum Karlsruhe (Centro de Pesquisa Nuclear de Karlsruhe) (GUIMARÃES e WINTER, 1986).

²⁶² GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Figura 55: Quadro descrevendo as atividades desenvolvidas pela Divisão de Monitoração, coordenada por Jean Remy Guimarães, com listagem de pessoal e seus respectivos níveis de ensino.

ESTRUTURA	ATIVIDADES	PESSOAL	NÍVEL
DIVISÃO DE MONITORAÇÃO JEAN R.D. GUIMARÃES	<ul style="list-style-type: none"> . Condução dos programas de monitoração que inclui a valiação dos procedimentos de monitoração e de inspeção pertinentes à situação da instalação; elaboração e estabelecimento dos programas de monitoração; coleta e preparação de amostras; análises radioquímica e radiométrica; acompanhamento, avaliação interpretativa da situação e elaboração de relatórios trimestrais; inspeções e auditorias e elaboração de pareceres; . Prestação de serviços de análise; . Recomendação e participação da elaboração de normas de procedimentos de monitoração; . Administração de estágios e cursos; . Serviços de consultoria; . Publicação de dados e metodologias/procedimentos pertinentes as atividades da Divisão. 	Jean Remy Guimarães	Mestrado
		Dejanira da C. Lauria	Mestrado
		Luisa M ^a H. Vasconcelos	Mestrado
		Iêda Gomes Nicoli	Mestrado
		Vera Ruth G. Reis	Mestrado
		Zenildo L. de Carvalho	Bacharel
		M ^a Inês Vetere	Bacharel
		Anthonor C.R. Junior	Engenheiro
		José Carlos A. Pereira	Bacharel
		Olivar José S. Bendelak	Engenheiro
		Valéria C. Prado	Bacharel
		Luis Carlos Corecha	N.Médio
		Wagner G. Reis	N.Médio
		José Ivan R. da Silva	N.Médio
		Leslie da S. Pereira	N.Médio
		Ricardo Lobo	N.Médio
		Carlos H. Romeiro	N.Médio
		Laercio L. Carvalho	N.Médio
		Marlon O. Rosseto	Bolsista
		João Baptista Silva	Bolsista
Maria Helena Abreu	Bolsista		
Ricardo Sichi	Bolsista		

In: **RELATÓRIO** anual de 1988. Instituto de Radioproteção e Dosimetria, IRD. Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, 1988, p. 43.

Um bom exemplo do problema complexo relatado por Jean Remy ligado à dificuldade de se equilibrar um rigor analítico e científico com a burocracia da CNEN e de Furnas na CNAEA se relaciona com o que foi o tema de sua dissertação de mestrado, a bioacumulação de radionuclídeos pelas macroalgas marinhas. Desde a sua concepção, o programa de monitoração necessitou elencar organismos bioindicadores nos corpos receptores dos efluentes da usina. Entretanto, além de outros motivos, as próprias atividades operacionais da usina deixaram praticamente insustentável, com o tempo, essa metodologia:

Durante um tempão foram as algas, porque sempre teve um montão de algas lá. Ah, mas a central joga água quente clorada, porque eles usam cloro como anti-incrustante. Isso não ajuda a colonização de alga nenhuma. E o problema que eles estão tendo agora é que entre isso, e a sobrepesca, e o aquecimento global, e bibibi bóbó, as algas estão sumindo, não tem mais alga no corpo receptor, ponto. E a CNEN quer que eles botem alguma coisa lá para satisfazer o que está escrito. "Tem que ter um bioindicador no corpo receptor". Então é provável... [...] É porque eles ficaram seguindo cegamente, indo lá quatro vezes por ano no mesmo lugar e coletando quantidades, eu não diria industriais, mas quantidades, francamente,

excessivas²⁶³.

Como Jean Remy Guimarães ocupava o cargo de chefia do programa de monitoramento ambiental da CNEN, alguns anos depois, por volta de 1986, o pesquisador tentou propor algumas mudanças nas metodologias de coleta, análises e redação dos dados, diminuindo, por exemplo, a quantidade de idas a campo e de extração de amostras do ambiente natural. Apesar de todo o exaustivo trabalho de coleta e análise de grandes quantidades de materiais, organismos e sedimentos, “nunca saiu nada de lá que a gente pudesse detectar por mais irritantemente sensíveis que fosse a nossa cadeia radiométrica”. De qualquer modo, o ano de 1986 foi emblemático em se tratando de acidentes radiológicos. Refiro-me aqui não apenas ao acidente de Chernobyl, ocorrido entre 25 e 26 de abril daquele ano na quarta unidade da usina nuclear soviética, inaugurada em dezembro de 1983. Em Angra 1, um outro acidente, em outubro de 1986, também chamou a atenção da mídia e causou certo pânico na população de Angra dos Reis e Parati, no Rio de Janeiro. No dia 09 de outubro, a *Folha de S. Paulo* noticiou um suposto vazamento de água radioativa da usina. No dia seguinte, o *Jornal do Brasil* publicou a matéria ‘População entra em pânico com notícia de vazamento em Angra’. A matéria expunha a fala do chefe da CNAEA, Pedro José Lins Figueiredo, dizendo que na verdade não havia nenhum vazamento, mas apenas um esvaziamento de uma tubulação para um tanque, “sem nenhuma liberação de radioatividade para o meio ambiente” (POPULAÇÃO..., 1986, p. 9). Também veiculou a fala de cidadãos de Parati, que denunciaram a morte de peixes. “Um pescador, conhecido na cidade como Didi, contou ter visto crianças no cais “tentando salvar os peixes que estavam meio tontos”, além de ter constatado considerável quantidade de goiviras boiando” (POPULAÇÃO..., 1986, p. 9).

Nesse contexto, uma comissão de movimentos ambientalistas foi formada para acompanhar o caso, e o deputado estadual Liszt Vieira (PT-RJ) chegou a comentar que “é mais fácil vazar radiação da usina do que informações”, referindo-se à falta de clareza a respeito do que de fato teria ocorrido (POPULAÇÃO..., 1986, p. 9). Na mesma edição do jornal, entretanto, Furnas emitiu uma nota de esclarecimento, desmentindo a notícia da *Folha* e reiterando que tratava-se de algo previsto, uma pequena válvula auxiliar de um dos sistemas de refrigeração do reator apresentou defeito, o que ocasionou um vazamento interno de água para o tanque coletor. De acordo com a nota, esse tipo de vazamento não constituía em hipótese alguma um acidente. Apesar da nota da Furnas, as informações sobre esse suposto

²⁶³ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

acidente permaneceram bastante nebulosas ao longo dos anos, como se a população não tivesse aceitado a resposta da CNEN. De acordo com Jean Remy Guimarães, o acontecimento também não se deu como os jornais relataram:

Na verdade, se eu lembro bem, foi um técnico do laboratório de radioecologia que contaminou o dedo. Mas eu sei que assim, a montanha pariu um rato, porque realmente o monitoramento independente que a gente estava fazendo naquela época não mostrou absolutamente nada de diferente, nem por emissão aérea, nem por emissão aquática. Foi uma lambança interna que não chegou a ter consequências para o lado de fora, exatamente porque lá dentro é tudo redundante. Passa por um sistema e depois passa por outros, enfim. O pessoal de Chernobyl também devia dizer a mesma coisa, assim como o de Fukushima²⁶⁴.

Apesar disso, Jean Remy já não estava satisfeito como coordenador do programa de monitoramento. Entretanto, o pesquisador ainda continuou trabalhando no IRD/CNEN por algum tempo, tendo se envolvido também com os trabalhos em Goiânia, em 1987. “Mas o fato é que quando teve o acidente de Goiânia, eu já estava quase cortando os pulsos e pedindo demissão²⁶⁵”. Mesmo com tanta insatisfação, no período em que ainda coordenava o programa de monitoramento, Guimarães elaborou um projeto de pesquisa para verificar a acumulação de césio e cobalto nos peixes conhecidos como garoupas, espécies bastante comuns na região. Para isso, era necessário a montagem de um pequeno laboratório, o que foi possível graças ao apoio da AIEA. “Primeiro, eu assumi um projeto com a AIEA com dinheiro para fazer alguma coisa que eu só ia ser capaz de fazer depois que eu usasse aquele dinheiro para montar a infraestrutura, porque eu não tinha infraestrutura nenhuma. Então aceitei o projeto sem ter infraestrutura para fazer²⁶⁶”. Ao mesmo tempo, Eduardo Penna Franca pediu sua colaboração para orientar a dissertação de mestrado de Ana Cristina dos Santos Freitas, defendida em 1986, sobre a interação entre o iodo-131, o estrôncio-85 e o cobalto-60 em macroalgas de Angra dos Reis (FREITAS, 1986). Assim, a partir da AIEA e de um pedido de ajuda de seu ex-orientador, Jean Remy conseguiu montar um pequeno laboratório de radioecologia marinha dentro do IRD, e realizou experimentos tanto para a dissertação de Freitas, quanto para seu projeto particular com as garoupas.

Ambos os experimentos foram publicados no periódico *Science of the Total Environment*. Em 1988, Freitas, Guimarães e Penna Franca publicaram sobre o bioensaio em aquários de sistema fechado para a verificação da bioacumulação de estrôncio-85 pelas

²⁶⁴ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁶⁵ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁶⁶ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

espécies de algas marinhas mais abundantes nas proximidades da usina nuclear de Angra (FREITAS et al, 1988). O estudo concluiu que espécies de *Sargassum* poderiam ser um indicador útil de variações de curto prazo para concentrações de estrôncio. Anos depois, em 1992, Jean Remy publicou sozinho seu trabalho com as garoupas. No artigo, o cientista apresentou os resultados dos experimentos que realizou durante 4 meses (GUIMARÃES, 1992, p. 205).

Após esse período de experimentos, uma única orientação e projetos de pesquisa praticamente individuais, em meio aos trabalhos programáticos da monitoração ambiental da CNEN, Jean Remy pensou efetivamente em desistir de seu trabalho. Chegou a cogitar abandonar a ciência para se dedicar às artes visuais e fotografia, até que, em setembro de 1987, mais um acidente radiológico ocorreu. Dessa vez, nem tão catastrófico quanto Chernobyl, nem tão corriqueiro quanto o de Angra 1, foi o acidente radiológico com o céσιο-137 em Goiânia-GO, no qual morreram 4 pessoas e mais de mil foram afetadas:

E aí eu estava quase fazendo essa besteira, quando “pimba”, tem o acidente de Goiânia. Aí pára tudo, pára tudo, porque realmente não dá para dizer para o mundo que eu quero descer. Vamos lá, vamos lá resolver. E eu fui, obviamente, parte do time ambiental da CNEN em Goiânia. Foi uma experiência fantástica. E ali foi também... como é que se diz? Um negócio que realmente me abriu os olhos para o quanto a ciência pode ser idiota [...] quando ela estuda friamente um tema, que até tem a ver com pessoas, mas ela se especializa em manter as pessoas de fora²⁶⁷.

O acidente radiológico de Goiânia iniciou-se no dia 13 de setembro de 1987, quando os catadores de recicláveis Roberto Santos Alves e Wagner Motta Pereira encontraram uma cápsula de chumbo cujo conteúdo interno era céσιο-137. O instrumento havia sido abandonado nas instalações desativadas do Instituto Goiano de Radioterapia, uma clínica privada que se mudou em 1985 para outro lugar. Na mudança, a clínica levou consigo uma unidade de teleterapia de cobalto-60, mas deixou uma unidade de teleterapia de céσιο-137 sem notificar a autoridade licenciadora. Após encontrarem a cápsula, os catadores a venderam, com o objetivo de lucrar com o chumbo. O comprador, o dono de ferro-velho Devair Alves Ferreira, ficou impressionado com o que a cápsula guardava. Após o objeto ser desmontado, 19 gramas de um pó branco, que no escuro se transformava em azul brilhante foram encontrados.

Conhecidos de Devair Ferreira, moradores da região e curiosos passaram a manipular e interagir com o brilho azul emitido pelo pó de céσιο. O desconhecimento do perigo à qual

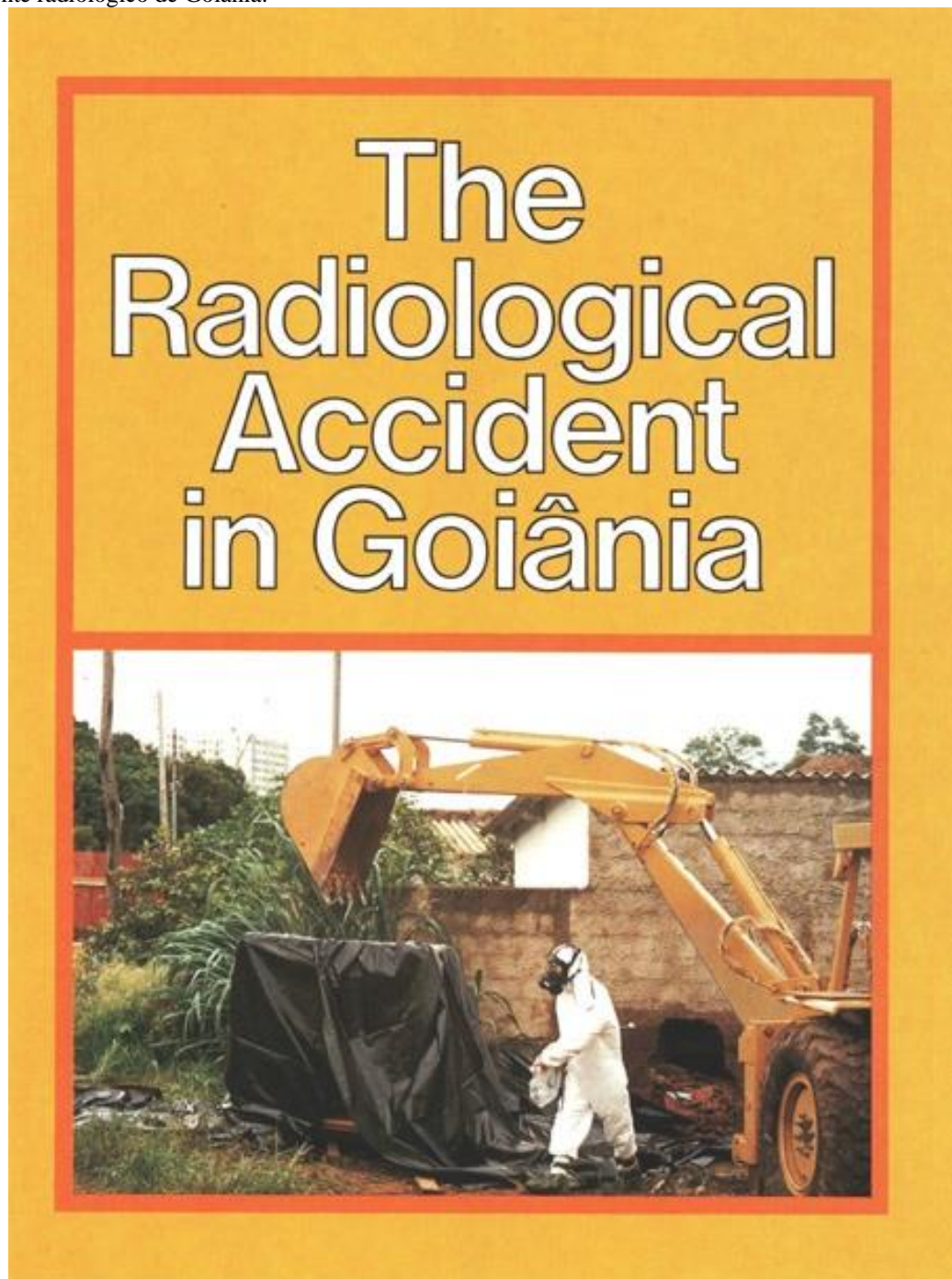
²⁶⁷ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

estavam expostos ocasionou a contaminação de milhares dessas pessoas, e quatro mortes, Leide, de 6 anos, Maria Gabriela Ferreira, de 37 anos, esposa de Devair, Israel Batista dos Santos, de 22 anos, e Admilson Alves de Souza, de 18 anos. O episódio ficou conhecido como o maior acidente radiológico da história ocorrido fora de uma usina nuclear. Estima-se que pelo menos 6 mil toneladas de lixo radioativo foram retiradas do perímetro do acidente, e levados para uma unidade da CNEN em Abadia de Goiás, onde foram enterrados. Pela gravidade e por todas as peculiaridades do caso, o acidente de 1987 ficou mundialmente conhecido e faz parte da memória coletiva goiana e brasileira até os dias atuais.

Num relatório da CNEN de outubro de 1987, redigido pela equipe de rastreamento aéreo da cidade de Goiânia, a dispersão do céσιο-137 foi mapeada a partir de vários processos possíveis, como locomoção das pessoas contaminadas, comercialização dos materiais dos ferros-velhos envolvidos, transporte pelos ventos e infiltração do solo pelas águas da chuva (BARRETO e SIMÕES, 1987, p. 1).

Havia grande receio pelo alerta às autoridades ter sido feito apenas dezesseis dias depois da quebra da cápsula e o céσιο-137 ter se espalhado por uma área muito grande. Focos de contaminação radioativa de fato começaram a aparecer em outros bairros além do perímetro próximo ao ferro-velho, como no Aeroporto e no bairro Ferroviários. “A expectativa generalizada dos moradores de Goiânia era que a cidade toda estava contaminada, tanto rios de abastecimento de água quanto pontos de aglomeração como o autódromo, jardim zoológico e escolas” (BARRETO e SIMÕES, 1987, p. 1). Devido à necessidade de se avaliar os riscos de contaminação de forma rápida e em escala regional, a equipe da CNEN optou pela utilização da técnica de levantamento ‘aerorradiométrico’, utilizando um helicóptero.

Figura 56: Capa do relatório publicado em 1988 pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), sobre o acidente radiológico de Goiânia.



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1988

In: **THE RADIOLOGICAL Accident in Goiânia**. International Atomic Energy Agency – IAEA. STI/PUB/815. Vienna-Austria, 1988.

Em 1988, a AIEA publicou um grande relatório sobre o acidente com todos os detalhes e as informações obtidas até o momento. O relatório da AIEA elogiava a atuação da

CNEN, “que coordenou a resposta ao acidente no estado de Goiás e nos níveis nacional e internacional”, e agradecia à comissão brasileira e ao IRD pelo apoio prestado sobre a comunicação dos dados, pela transparência “e por permitir que outros se beneficiem das lições que podem ser tiradas a partir deles” (THE RADIOLOGICAL..., 1988, s.p.). Apesar disso, numa edição especial do dia 19 de outubro de 1987 do programa televisivo *Roda Viva*, da TV Cultura de São Paulo, o físico Luiz Pinguelli Rosa respondeu à pergunta inaugural do apresentador sobre a acusação à CNEN pelo acidente por ser o órgão fiscalizador de assuntos nucleares. O físico considerou que a CNEN havia se revelado desaparelhada para a fiscalização, dado que o equipamento estava abandonado há anos no mesmo lugar (RODA VIVA, 1987). Nesse mesmo programa, cuja estrutura baseava-se sempre numa roda de entrevistadores com um único entrevistado no centro, havia naquela edição apenas a escultura de um barril radioativo, simbolizando o escrutínio do tema. Dentre a grande maioria de físicos formando a roda, estava também o médico e pesquisador do Centro de Medicina Nuclear (CMN-FMUSP) Tede Eston, então professor visitante do Hospital Naval Marcílio Dias, no Rio de Janeiro, onde estava colaborando no tratamento das vítimas do acidente.

Jean Remy Guimarães trabalhou ativamente em Goiânia, permanecendo quinzenalmente na cidade de setembro, desde que tudo começou, até dezembro de 1987. Em seu depoimento, o cientista relatou a dificuldade na comunicação entre os técnicos e a população, e como ele próprio teve que adquirir certa inteligência emocional e sensibilidade para lidar com as pessoas afetadas, que, naquele contexto, pouco faziam ideia da natureza real do problema:

Então eu lembro uma vez que estava uma reunião lá, chata para cacete, plenária, aí alguém chegou e falou. “Ah, tem um sujeito lá que está muito exaltado, ele está na recepção, ele está com um par de havaianas na mão, e ele já falou que ninguém encosta nele, e que ele não sai dali enquanto alguém não medir o diabo da havaiana da filha dele”. Ô, foi a oportunidade perfeita para eu sair daquela reunião chata. “Com licença amigo, está resolvido, eu vou lá. Estou com o Geiger no... pode continuar a reunião”. Oh maravilha. Aí eu desci e estava lá com quatro pedras na mão. Eu cheguei já super empático. Ele foi né... E quase pedindo desculpas. “Não, o senhor está certo. Eles lá é que não estão”. Então vamos resolver aqui. E ele me explicando. Aquela sandália é a única que a filha dele tem e no dia seguinte ela tinha que ir para escola. E aí? Ela podia ir com aquela sandália ou ia ter que ir descalço, ou ia ter que comprar outra? “Que não tinha dinheiro para isso, não sei o que”. Falei “Vamos resolver isso agora”. Eu já tinha vindo com um saquinho de forração, aí forrei uma mesinha lá. “Pode pôr a sandalhinha aqui”. Liguei o aparelho, mostrei para ele fora do lugar que faz bibipe. E aí botei em cima e o bibipe era igual. E aí aproveitei medi nele, na mão, no pé, no bolso, carteira. Estava tudo certo, ele estava tudo limpo.

Então assim, eu não levei nem cinco minutos para resolver o problema, mas aquele bando de nerd, burocrata lá em cima, fechou a porta²⁶⁸.

Para Guimarães, a experiência em Goiânia deixou profundas sequelas em sua trajetória pessoal e profissional. “Nunca mais encarei um projeto, mesmo que puramente ambiental, da mesma forma²⁶⁹”. Após os trabalhos em Goiânia, entretanto, Jean Remy novamente ficou decepcionado com a forma como a CNEN e, de acordo com ele, a própria comunidade científica lidou com aquilo, desperdiçando a oportunidade de empreender mais estudos e tentar transformar a situação em algo “útil para a posteridade, para a coletividade”, da mesma forma como se decepcionou com o trabalho monótono no IRD. Após os anos de 1986 e 1987, devido ao acidente nuclear de Chernobyl, tornou-se necessário construir aparatos que garantissem que os países não estavam importando ou exportando mercadorias contaminadas com radiação:

Então, qualquer produto que o Brasil exportasse e que fosse um produto alimentar, o comprador não queria saber de comprar se não tivesse junto com o laudo dizendo...um nada consta radioativo, confirmando, com autoridade registrada, enfim, que aquilo atende as normas internacionais. Rapidamente se estabeleceu um valor limite de becquerel por grama, ou por quilo, ou por litro de radionuclídeos A, B, C, ou D para tudo. E aí, bom, o Brasil exporta muita coisa. E aí quem que vai fornecer, analisar essas porcarias todas, fornecer os laudos? Bom, eu não sei se em São Paulo ou no Recife montaram alguma estrutura, mas que eu saiba a única estrutura que tinha era no Rio²⁷⁰.

Em edição de junho de 1987 da revista *Ciência Hoje*, um artigo sobre as ‘Lições de Tchernobyl: os alimentos importados’, do físico Anselmo Paschoa, revisava o impacto do acidente nuclear no setor agropecuário e como o Brasil estava lidando com isso. De acordo com o texto, uma resolução (07/86) inicial baixada pela CNEN que adotava os níveis máximos de radiação recomendados pela Comunidade Econômica Europeia (CEE) havia sido modificada por pressão da opinião pública, que não concordava com a adoção dos parâmetros europeus. Ou seja, a partir da comunidade científica, acionada pelo Ministério Público, a CNEN alterou os parâmetros inicialmente aceitos para radioisótopos de césio, abaixando o limite máximo para 370 becqueréis por quilo. Apesar disso, de acordo com Paschoa, o governo e a CNEN deveriam ter ouvido desde o início especialistas, e criado com urgência uma comissão de proteção radiológica eficaz. Para Paschoa, era fundamental “alertar as

²⁶⁸ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁶⁹ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁷⁰ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

autoridades federais, estaduais e municipais para a necessidade de reformular a estrutura na qual está baseada a proteção radiológica da população brasileira” (PASCHOA, 1987, p. 37).

De acordo com Jean Remy, não existia verba nem infraestrutura adequada para a realização do trabalho de ‘proteção radiológica’ das mercadorias que apareciam no IRD. “A infraestrutura era trazer três quilos de camarão, trazer dois quilos de sedimento, trazer dois quilos de *Sargassum*. É isso, botar na estufa”. Com a falta de logística, além da dificuldade de se operacionalizar as análises com a velocidade demandada pelas empresas, o processo acabava também por ser custoso, tanto para a máquina pública quanto para os importadores e exportadores, gerando uma série de desperdícios:

Então essa era a rotina. Então para fazer isso, no caso, por exemplo, para leite. Para leite era três litros, mas aí o cara ele importa leite em pó. Então para ele é a saca de sessenta quilos. Então ele vai chegar e ele vai te dar uma saca de sessenta quilos, porque não tem como ele abrir, tirar e pesar. Ele dá a saca e você se vira. Aí o drama era o que que a gente faz com o que sobrou? Aí eu olhei para todo mundo e falei assim. “Não, está todo mundo louco, não é possível. Só eu sou o são aqui”. A gente está num país desigual, um monte de gente morre de fome, sobraram cinquenta e cinco quilos do leite em pó e tem alguém perguntando o que nós vamos fazer com isso?²⁷¹

Esses aspectos representam, ao mesmo tempo, motivos de descontentamento com a carreira profissional de Jean Remy, e detalham uma série de lacunas no manejo dos problemas decorrentes dos riscos radioativos em escala global. Exatamente 10 anos após ter ingressado no mestrado no IBCCF, Jean Remy iniciou outro projeto, que acabaria por modificar os rumos de sua carreira como pesquisador. De acordo com o seu depoimento, após uma palestra de Wolfgang Pfeiffer no IRD, sobre o ciclo do mercúrio na Amazônia, em que o cientista apresentou algumas das lacunas existentes no programa de pesquisa do Laboratório de Radioisótopos, sobretudo em relação ao metilmercúrio, Guimarães ficou interessado em como poderia contribuir. “Ele foi embora e eu entrei na minha salinha, peguei o catálogo de radionuclídeos e fui ver lá que que tinha de traçador de mercúrio. Na época, tinha mercúrio inorgânico, mercúrio metálico e metilmercúrio em versão radioativa²⁷²”. O radioisótopo de mercúrio serviria, nesse caso, para entender o comportamento do mercúrio e do metilmercúrio no ambiente, dado que esses isótopos, radioativos ou não, se comportavam da mesma forma:

Só que o radioativo ele fica sussurrando para você, eu estou aqui, agora eu já não estou, agora eu estou ali, agora eu aumentei, agora fui embora por aqui e não por ali. Não, é uma ferramenta realmente muito legal. Aí quando eu vi aquele ciclo e os pontos de interrogação, aí eu falei “Opa”. Aí quando eu

²⁷¹ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁷² GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

pego o catálogo e que eu vejo que tem, não vou precisar inventar nada, fabricar nada, tem o traçador radioativo. É só ter a verba para ligar “Pow”. E ter o ok da CNEN também, de preferência. Quando eu vi isso, eu falei. “Isso vai ser a minha tese de doutorado”²⁷³.

Assim, Jean Remy iniciou sua pesquisa de doutorado, desenvolvida de 1990 a 1992, orientada por Pfeiffer e defendida sob o título ‘Padronização de técnicas radioquímicas visando o estudo da metilação e volatilização de mercúrio em áreas de garimpo de ouro na região Amazônica’ (GUIMARÃES, 1992). Segundo Jean Remy, seu retorno ao IBCCF, após 10 anos trabalhando no Departamento de Proteção Radiológica Ambiental do IRD, foi uma forma de Wolfgang Pfeiffer, como coordenador do Laboratório de Radioisótopos, justificar a manutenção de todo aquele aparato radioativo existente, num contexto onde poucos ali ainda trabalhavam diretamente com radiação:

Lá eles tinham os detectores, tinham um laboratório, que todo mundo estava de olho, porque estava largado. Que era um problema para o Wolf, porque estava difícil justificar aquele laboratório continuar sendo dele se não tinha nada e nem ninguém lá dentro. Então matou vários coelhos. Resolveu a minha [...] de voltar para pesquisa e para a radioecologia. Resolveu para sempre o problema da ocupação do laboratório, porque hoje ele é o meu laboratório²⁷⁴.

Em 1993, já tendo defendido sua tese, Jean Remy Guimarães tornou-se Professor Adjunto do IBCCF/UFRJ, e, em 2000, criou o Laboratório de Traçadores Wolfgang Christian Pfeiffer, surgido do Laboratório de Radioisótopos, que, nesse contexto, era Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca (LREPF), sendo coordenado por Olaf Malm. Apesar de traçadores e radioisótopos significarem praticamente a mesma coisa, embora existam traçadores não-radioativos, a criação de um laboratório com outro nome deu-se pela necessidade de Guimarães, ao sair do LREPF, não deslocar toda a estrutura e identidade do laboratório, existente desde 1956. Apesar desse movimento, desde o contexto da sua tese de doutorado, Jean Remy acabou por manter a principal ligação efetiva com os radioisótopos, enquanto objetos tecnológicos e científicos, naquele grupo. Isso indica não apenas a transformação pela qual o próprio Laboratório de Radioisótopos original passou, mas também como se buscou encaixar diferentes linhas de pesquisa num núcleo que tinha como história e identidade profissional o trabalho com os radioisótopos, apesar de fazer ecologia aplicada de uma forma mais ampla:

²⁷³ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁷⁴ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Eles já não trabalhavam com radioisótopos, trabalhavam só com metais pesados. Mas é aquela coisa, você tem o número do celular desde o começo e, de repente, vinte anos depois, alguém chega e diz “Não, agora esse número é meu”. Então, eu não me sentia à vontade de sair do laboratório e levar embora o nome. Todo mundo ia achar que eu era aquela turma toda, que eu não era²⁷⁵.

O desligamento de Jean Remy do IRD, para a realização de seu doutorado, em 1990 não foi nada fácil. Apesar de ter sido liberado por seu chefe da época, José Marcus Godoy, o IRD dificilmente liberava seus funcionários para atividades de pesquisa de pós-graduação. Durante sua tese, Jean Remy era inicialmente liberado apenas uma vez na semana para ir ao IBCCF, o que se inverteu quando chegou a fase experimental do trabalho. Como já mencionado, após sua defesa, já em 1993, ele se tornou professor do IBCCF. O caminho até aí envolveu um trabalho de pesquisa bastante importante para o programa do mercúrio na Amazônia. A tese de Jean Remy, realizada a partir de uma série de análises de campo ocorridas em Rondônia, não foi o seu primeiro contato com a região amazônica, que ocorrera ainda enquanto funcionário do IRD/CNEN, na polêmica situação envolvendo a Serra do Cachimbo, no Pará, e a existência de um programa nuclear paralelo no Brasil.

Apesar do surgimento de notícias em 1986 negando a correlação que se começou a fazer entre instalações militares na Serra do Cachimbo e a construção de um campo para testes nucleares (SABÓIA..., 1986, p. 6; GOVERNO..., 1986, p. 13), em setembro de 1990 o então presidente da República Fernando Collor de Melo jogou uma pá de cal no que ficou conhecido como Buraco do Cachimbo, simbolizando o fechamento do campo de testes de explosivos nucleares na base da aeronáutica da região (PATTI, 2014). O empreendimento militar secreto havia sido iniciado em 1984, durante a gestão de Rex Nazaré Alves como presidente da CNEN, no governo militar de João Figueiredo. No *Jornal do Brasil*, uma notícia de 19 de setembro de 1990 expunha o caso e detalhava as dimensões do poço: “Ele tem 320 metros de profundidade por 1,2 metro de diâmetro e é revestido de concreto e aço. Com o gesto, o presidente pretende desmentir especulações da imprensa internacional sobre a realização de experiências nucleares no Brasil” (COLLOR..., 1990, p. 1).

De fato, de acordo com Patti (2014), a cerimônia de Collor na Serra do Cachimbo teve grande impacto internacional, “e foi seguida uns dias depois por um novo evento de grande relevância para a história nuclear brasileira. O então presidente, em ocasião do discurso proferido perante a Assembleia Geral das Nações Unidas anunciou que o Brasil abria mão do

²⁷⁵ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

direito de desenvolver explosivos nucleares pacíficos” (PATTI, 2014, p. 9). Assim, uma das bandeiras tradicionais da diplomacia brasileira desde 1967 havia sido finalmente abandonada. Após isso, o Brasil aceitou, entre 1991 e 1994, uma série de salvaguardas internacionais, aderindo à área da América Latina sem armas nucleares. Já sob a presidência de Fernando Henrique Cardoso, o governo finalmente assinou, em 1998, o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP) (PATTI, 2014, p. 9).

O envolvimento de Jean Remy nesse processo foi bastante peculiar, e evidencia como os militares de fato buscaram, na década de 1980, realizar um programa nuclear secreto, mas também a fragilidade do plano, que além de custoso acabou por desgastar ainda mais a temática nuclear no Brasil, afundando de vez naquele buraco qualquer possibilidade de credibilidade da energia nuclear para a opinião pública:

Ninguém do meu programa podia saber, fui chamado na sede. Aí estava lá o chefe da CNEN, que era o Rex Nazaré Alves na época, um monte de milico com uns outros caras de terno que eu nunca tinha visto na vida. E aí ele contou uma longa história de que os americanos tinham deixado muitos rejeitos radioativos depois da Segunda Guerra e que eles tinham resolvido enterrar lá na Serra do Cachimbo e que, portanto, eu ia ser enviado para lá, em todo o segredo, como o apoio do ITA, CTA, da aeronáutica, não sei o que, para fazer um programa de monitoração ambiental desse lugar onde eles iam enterrar essas coisas todas. Isso aí ficou conhecido como o famoso buraco do cachimbo, que era na Serra do Cachimbo. E, na verdade, quando ele me contou essa história toda eu falei “Ah tá, mas isso aí vai ser enterrado em que? Vai ser piscina cimentada, rasa, vai ser, vão aproveitar alguma mina pré-existente? E aí ele falou “Não, são uns poços de trezentos metros”. Ninguém faz poço de trezentos metros para jogar rejeito radioativo. Isso é para testar artefato nuclear. Eu sabia disso. [...] Desenhei um plano de monitoração radiológica pré-operacional de um depósito de rejeitos que nunca veio a existir, porque nunca foi pensado para rejeitos e também nunca foi um sítio de teste de artefatos nucleares, por uma razão muito simples: a turma do buraco, fez um buraco, mas a turma da bomba, não fez a bomba. E aí a *Folha de São Paulo* descobriu a história toda, publicou, foi um auê²⁷⁶.

O segundo contato de Jean Remy com a região Amazônia se deu ao longo de sua tese de doutoramento, em viagem para os sítios de garimpo de Rondônia. O objetivo do trabalho de Guimarães foi o de “estudar, através de técnicas radioquímicas, aspectos importantes e ainda não documentados do comportamento do Hg em ambientes aquáticos tropicais, em particular a sua metilação e volatilização em águas e sedimentos de áreas de garimpo de ouro na região Amazônica” (GUIMARÃES, 1992, p. ix). De acordo com o seu depoimento, sua pesquisa queria compreender a transformação do mercúrio, de inorgânico para orgânico. É

²⁷⁶ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

nesse ponto que os radioisótopos e toda a sua experiência com radiação se inseriram. Jean Remy utilizou mercúrio inorgânico radioativamente marcado. “E depois eu extraía o metilmercúrio e media a radioatividade dele e, se aparecesse metilmercúrio duzentos e três [MeHg-203], ele só podia ter como origem o mercúrio inorgânico duzentos e três [Hg-203] que eu tinha adicionado no começo²⁷⁷”. Dessa forma, era possível seguir o processo, ainda nebuloso, pelo qual passa o mercúrio em sua ciclagem pelo rio Madeira.

Apesar de básico, o trabalho de padronizar técnicas radioquímicas naquele contexto ainda não havia sido estudado em condições tropicais. Assim, a tese de Jean Remy contribuiu de forma importante para a continuidade dos estudos de metilação na Amazônia, pelo grupo comandado por Pfeiffer. Em seu memorial, Pfeiffer se baseou no trabalho de Jean Remy, para descrever brevemente a transformação do mercúrio metálico em sistemas hídricos por metilmercúrio, e referiu-se ao pesquisador como “um passarinho que retornou ao ninho” (PFEIFFER, 1994, p. 20), sendo um grande reforço à equipe devido a sua experiência adquirida no IRD. A partir de sua tese de doutorado, e ingressando por concurso em 1993 como professor da UFRJ, Jean Remy teve o mercúrio como fio condutor de suas pesquisas, apesar de não ter se limitado a esse tema.

Após o trabalho com a padronização de técnicas para a análise da metilação do mercúrio, Jean Remy deu continuidade aos seus estudos explorando a aplicação dessas técnicas. Como resultado disso, uma das principais contribuições do seu trabalho em relação à ciclagem do mercúrio na Amazônia, foram seus estudos sobre o processo de metilação do mercúrio envolvendo a atividade de bactérias do chamado perifíton, comunidade de microrganismos de vida sésil que se aderem a superfícies sólidas do ambiente aquático:

Quando eu descobri a questão de que o metilmercúrio na Amazônia não é produzido, prioritariamente, no sedimento como no resto do mundo, boreal e temperado, e sim nas plantas aquáticas que ficam boiando na superfície, todo mundo torceu o seu nariz. “Não, imagina, planta metilando?”. Eu não falei isso. Eu falei que é o complexo bacteriano associado às raízes das plantas. Então isso era muito complexo. [...]²⁷⁸.

Durante os anos de 1990, suas pesquisas defenderam o entendimento da metilação a partir de um complexo sistema biológico e ecossistêmico de agentes ativos nesse processo, envolvendo os perifíton e epífiton, e os zooplâncton e fitoplâncton. Jean Remy relata que, nesse contexto, trouxe sua formação de biólogo para seu sistema experimental, dando mais relevo ao papel da atividade bacteriana na explicação dos fenômenos observados. Em artigo

²⁷⁷ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁷⁸ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 2 [28/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

de 2000, publicado em conjunto com parceiros científicos que apresentarei a seguir, esse sistema é descrito da seguinte forma:

Os dados sugerem uma maior biodisponibilidade de MeHg nos ecossistemas do rio Tapajós devido ao aumento sazonal do nível da água e à consequente inundação da planície de inundação. A inundação favorece o desenvolvimento de grandes tapetes flutuantes de macrófitas, o que aumenta a biodisponibilidade do epífiton para peixes herbívoros ou detritívoros. A zona radicular das macrófitas flutuantes e o horizonte orgânico inundado da floresta de Igapó são os únicos locais ao longo do Rio Tapajós onde MeHg significativo pode ser detectado na coluna de água e nos sedimentos. Este novo estudo apoia a hipótese de que a produção e transferência de MeHg para o primeiro elo da cadeia alimentar nos sistemas fluviais amazônicos está intimamente relacionada à biogeoquímica da matéria orgânica no ambiente de várzea (ROULET et al, 2000a, p. 43-44).

Apesar da gradual confirmação da descrição da metilação do mercúrio de Jean Remy por outros cientistas, ele enfrentou dificuldades na aceitação de suas ideias em relação às explicações já estabelecidas do ciclo do mercúrio existentes na década de 1990:

Resumindo, eu levei, eu diria, doze anos para ser levado a sério, publicando, exaustivamente, repetidamente nas melhores revistas, com os melhores editores, revisores. [...] Aí começou a pipocar um monte de outras publicações, que me citavam inclusive, e que exploravam a mesma coisa em sistemas completamente diferentes do meu e que chegavam às mesmas conclusões, e que iam muito além, inclusive, do que eu fui²⁷⁹.

Além da ciclagem do mercúrio com foco em sua metilação, ao longo da década de 1990 o pesquisador passou a contribuir com outros grupos no estudo de abordagens ecossistêmicas de saúde humana, assim como Olaf Malm, também do IBCCF. Para Jean Remy, essa linha de trabalho iniciou-se em 1994 a partir de um contato com um grupo de pesquisadores da Universidade de Québec (UQAM), em Montreal, no Canadá, que então iniciava um projeto na Amazônia, em parceria com a UFPA. A parceria com os canadenses durou, ao todo, doze anos. O grupo canadense era composto, de acordo com o cientista, por especialistas em ciências ambientais, saúde e ciências sociais:

E aí o Olaf ia ir lá para participar de um seminário a pedido do Reitor de lá, que não entendia nada de meio ambiente. E morto de vergonha ele pediu para que eu fosse, porque a filha dele estava para nascer naquela semana. Aí lá fui eu como espião, entre aspas, do reitor da UFPA, para dizer para ele depois se aquela turma era legal ou não era, e se o projeto deles se sustentava ou não. E a turma era ótima. O projeto mais que se sustentava. E quando eu me apresentei e falei o que eu era, de onde eu vinha, e o que eu tinha feito até ali, eles ficaram loucos, porque era exatamente alguém assim que eles queriam dentro do projeto. Só que já estava tudo armado com o pessoal

²⁷⁹ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 2 [28/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

da UFPA, não tinha ninguém lá do sul. Então assim, eu levei uns dois anos para entrar pela janela, porque para o pessoal da UFPA eu era canadense, para os canadenses eu era brasileiro. Então, como assim? Mas não tinha dinheiro para mim nem num lugar, nem noutro. Mas enfim, isso depois se resolveu e eu acabei virando coordenador do projeto. Coordenador brasileiro, né?²⁸⁰

O projeto com os canadenses, conhecido como CARUSO Project, foi, ao longo de seus anos de renovação, financiado pela parceria entre o International Development Research Centre (IDRC), ou no francês Centre de recherches pour le développement international (CRDI), e a UFPA. O IDRC/CRDI é um órgão federal de pesquisa canadense, criado em 1970, atuante em várias regiões do globo, com foco em pesquisa e desenvolvimento. O CARUSO Project rendeu uma ampla série de artigos, que começaram a ser publicados apenas a partir de 1998, sendo a maioria no periódico *The Science of the Total Environment*. Esses trabalhos deram conta tanto da geoquímica do mercúrio nos solos da região amazônica (ROULET et al, 1998), do metilmercúrio na água, no séston e no epífiton (ROULET et al, 2000a) e dos efeitos do desmatamento, das inundações sazonais e das atividades humanas no aumento da contaminação por mercúrio na Amazônia (ROULET et al, 1999; GUIMARÃES et al, 2000a, 2000b; ROULET et al, 2000b; ROULET, GUIMARÃES e LUCOTTE, 2001).

Ainda nos anos 1990, Jean Remy também participou de projetos de pesquisa na Amazônia com cientistas da Universidade de Uppsala, na Suécia (GUIMARÃES et al, 1998; HYLANDER et al, 2000a, 2000b), e cientistas japoneses do National Institute for Minamata Disease (NIMD) (GUIMARÃES, IKINGURA e AKAGI, 2000). De acordo com o seu relato, entretanto, foi a partir dos trabalhos realizados durante o CARUSO Project, com a equipe canadense, que algumas controvérsias foram desencadeadas entre os cientistas ligados ao grupo do Laboratório de Radioisótopos. As controvérsias envolveram, sobretudo, os resultados que as novas pesquisas sobre a biogeoquímica do mercúrio e sobre o metilmercúrio na Amazônia obtiveram:

Eles tinham, na verdade, uma birra santa e que durou alguns anos, para o meu desgosto, porque esse projeto literalmente desmontou o mantra que eles próprios tinham construído, o Olaf em particular, mas não só, o Wolf também, e eu também participei disso, embora sempre criticamente. Eu dizia “Gente, mas pera aí, não sei o que, pode não ser bem assim. Tem que pensar nesse outro aspecto também. Tem várias contradições aí. Se for realmente o garimpo a principal fonte, então a gente deveria encontrar gradientes com distância na bacia de ABCDE, e a gente não encontra. E a bacia que é mais contaminada de todas não tem garimpo nenhum, que é o Rio Negro, então tem algum problema aí”. Mas bom, a demanda era tamanha por qualquer

²⁸⁰ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

informação sobre mercúrio na Amazônia na época, que os papers foram saindo e eu fui voto vencido. Mas então esse projeto CARUSO, a principal contribuição dele na parte ambiental foi demonstrar que o mercúrio do sedimento nos rios, efetivamente, está aumentando com o tempo, mas o início desse aumento não foi associado ao garimpo, foi associado ao início da colonização humana no Tapajós, motivada por zilhões de motivos, além de um ou outro garimpo aqui e ali. Aí isso já era uma pista estranha “Opa, pera aí”. Aí você faz a datação do seu testemunho com chumbo duzentos e dez, um negócio complicadíssimo, caríssimo, demoradíssimo, e você prova que temporalmente, o negócio está descasado. Ok. Segunda evidência, nos solos o mercúrio está ligado não ao carbono, principalmente a hidróxidos de ferro e de alumínio, a parte mineral do solo. Esses hidróxidos funcionam como um velcro para mercúrio, mercúrio gruda ali depois não desgruda mais. Dentro das partículas no rio, a associação é a mesma, o que sugere que aquele mercúrio em partículas no rio veio daquele solo, e não de um garimpo. E para completar, eles conseguiram provar que os perfis verticais no sedimento de mercúrio, de ferro-hidróxido, de ferro-alumínio e lignina, eram rigorosamente os mesmos, era o mesmo processo. E de onde vem lignina? Lignina é árvore. O que tem lignina ali é produto de desmatamento. Então a conclusão, teve muito mais coisa do que isso, mas resumindo, o mercúrio aparece nos sistemas aquáticos, não devido ao garimpo, não é essa a fonte principal, a fonte principal é desmatamento, agricultura não sustentável, e erosão de solo. Portanto, é o modelo de desenvolvimento daquela região toda²⁸¹.

Como vimos, desde os trabalhos de Luiz Drude de Lacerda e Wolfgang Pfeiffer, a principal tese defendida era a de que o garimpo era a maior fonte de emissão de mercúrio na Amazônia, gerando, como também já foi explorado, a construção de projetos e parcerias como o da retorta da Goldmine. A partir deste momento, uma mudança de escala de observação e de perspectiva, entendendo o problema como algo mais complexo, passaria a informar as discussões daqueles cientistas. A partir desse ponto, ainda de acordo com o depoimento de Jean Remy, Luiz Drude de Lacerda compreendeu que, de fato, os novos dados desbancavam sua tese, e passou a se associar aos novos achados. Por outro lado, Olaf Malm parece ter demorado anos para aceitar a mudança de foco do problema: “Então ele fez ouvidos moucos ao projeto da Amazônia, não gostava quando eu comentava, visivelmente estava contrariado de eu participar daquilo ali, porque aquilo era formação de quadrilha contra ele²⁸²”. Embora essas divergências não tenham acabado com a amizade e parceria entre esses cientistas, acabou por afastar um pouco os projetos de pesquisa de cada um deles. Enquanto Jean Remy continuou colaborando, até o início dos anos 2000, com os canadenses, Olaf Malm partiu para uma linha de pesquisa diferente, que veremos mais adiante, e Luiz Drude de Lacerda avançou cada vez mais na agenda das mudanças climáticas, abandonando os estudos

²⁸¹ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 2 [28/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁸² GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 2 [28/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

diretamente ligados à contaminação ambiental pelo garimpo e estudando outras relações ecossistêmicas que o levaram, à discussão do Antropoceno:

Então assim, tinha os canadenses, tinha ele [Luiz Drude de Lacerda] e os americanos no Madeira, tinha o pessoal da Unicamp no Rio Negro, todos eles mais ou menos demonstrando, independentemente, as mesmas coisas. Não tem assinatura ambiental perceptível da atividade garimpeira em termos de emissão de Mercúrio, “So, sorry”. O sistema é grande demais, o garimpo é pequeno demais, é muita água, é muita área, e é muito mercúrio no solo²⁸³.

Na história dessa controvérsia, é interessante como em apenas uma década, basicamente de 1990 a 2000, modificou-se a principal forma de se explicar a biogeoquímica do mercúrio na Amazônia e seus vilões. Como já suspeitava Luiz Drude de Lacerda em seus trabalhos iniciais, talvez o mercúrio na Amazônia não fosse exatamente uma ‘bomba-relógio química’, tal como nos países de clima temperado. Essa suspeita inicial, apesar das várias publicações em que o cientista afirmava ser o garimpo a principal fonte de emissão de mercúrio (LACERDA, 1995), se revelou condizente com a realidade. De fato, muito mais pesquisas, de diferentes grupos nacionais e internacionais, precisavam surgir para que o problema fosse melhor compreendido. Por outro lado, o que foi desenvolvido entre 1985 e 1995 pelo grupo de Wolfgang Pfeiffer e, em seguida, Olaf Malm, estudando o mercúrio no rio Madeira e envolvendo-se em parcerias como a do Banco Goldmine, talvez por ter o garimpo e a exposição humana ao mercúrio como os principais fios condutores, sofreu mais com as transformações do entendimento desses objetos. Esses desdobramentos são entendidos nesta tese como diferentes caminhos que podem ser tomados quando do confronto de múltiplos agentes na formação de seus sistemas experimentais. Diferentemente de uma perspectiva que busca vencedores e perdedores na história das ciências, esta análise entende que todos esses processos, originados num mesmo grupo de pesquisa e depois fragmentados, fazem parte de um mesmo movimento que teve como pano de fundo a construção de uma agenda para a ecologia de ecossistemas no Brasil.

Desse modo, irei explorar, a partir de agora, a fragmentação dessa agenda, seguindo aspectos da trajetória profissional de Luiz Drude de Lacerda, Wanderley Bastos, Olaf Malm, João Paulo Machado Torres e Valéria Magalhães. Reiterando o que já escrevi antes, as trajetórias desses personagens foram todas envolvidas, de alguma forma, pela história dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, e são boas maneiras de explicar a complexidade que envolve essa história, ao tentarmos observá-la ao longo das últimas

²⁸³ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 2 [28/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

décadas do século XX.

4.3.2 Luiz Drude de Lacerda: mercúrio, mudanças climáticas e Antropoceno

Mesmo com evidências de que a maior parte do mercúrio na Amazônia se dispersava pela atmosfera, e não pelo rio, algo exposto já nos primeiros trabalhos de Luiz Drude de Lacerda (LACERDA e SALOMONS, 1992), a principal demanda, no início da década de 1990, era por estudos com o foco na contaminação humana. Essa demanda envolveu por anos, cientistas que não tinham interesse por temas de saúde e exposição humana, como o próprio Lacerda. Ou seja, apesar dos dados indicarem problemas mais estruturais que poderiam ocorrer na floresta Amazônica como um todo, até mesmo numa dimensão global, a preocupação com o potencial toxicológico do mercúrio para os humanos foi o primeiro denominador comum daquelas pesquisas:

Aí a gente viu que sessenta por cento ia para atmosfera, não ia para o rio. Da atmosfera, provavelmente, caía em floresta, porque tem mais floresta do que rio. Então era importante começar a estudar a floresta, que eu vim a trabalhar bem mais tarde, porque antes a gente estava no rio mesmo. Até porque a demanda na época... Teve uma reunião em Brasília...Esse eu tenho até o Anais que é o “Usos e riscos por mercúrio na Amazônia”, uma coisa assim, que a Sandra Hacon organizou em mil novecentos e noventa²⁸⁴.

O evento citado por Luiz Drude de Lacerda, teve ele próprio como um dos organizadores e ocorreu em setembro de 1989 em Brasília-DF, com o apoio da FINEP, da Divisão de Ecologia Humana e Saúde Ambiental do Ministério da Saúde, do CNPq e do IBAMA. Intitulado ‘Riscos e consequências do uso do Mercúrio’, o seminário nacional teve como objetivo:

Discutir os diferentes aspectos da contaminação do mercúrio nos ecossistemas aquáticos e terrestres e os níveis de mercúrio em populações humanas expostas à diferentes vias de contaminação, assim como as tecnologias disponíveis e/ou mecanismos necessários para o controle do mercúrio nos garimpos de ouro (HACON et al, 1990, p. 1).

Ou seja, nesse período ainda não se falava da dispersão atmosférica do mercúrio. O tema foi discutido na chave do garimpo e da contaminação humana e ambiental. Essa contextualização serve para entender o movimento que Luiz Drude de Lacerda operou em sua trajetória científica entre as décadas de 1980 e 2000. O cientista partiu, inicialmente, de estudos com metais pesados focados sobretudo no tema da poluição e da contaminação,

²⁸⁴ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

passou alguns anos publicando sobre a correlação direta entre garimpo e mercúrio na Amazônia, para, finalmente, explorar outros aspectos dos estudos ecossistêmicos. Como vimos no tópico acima, essa última virada ocorreu a partir dos novos achados oriundos dos trabalhos do CARUSO Project. A partir de seu depoimento, fica nítido como o próprio cientista entende essas mudanças como uma espécie de retorno à ecologia, como se no período em que seu trabalho envolveu aspectos mais específicos do estudo da poluição, o cientista tivesse se afastado de sua formação mais básica de ecólogo: “E eu, novamente como ecólogo, continuei fazendo ecologia. Estudando impacto de desmatamento, impacto de mudança de uso do solo, distribuição em solo, especiação na atmosfera²⁸⁵”.

Lacerda menciona o caso de Wanderley Rodrigues Bastos, seu colega de pesquisa, que inicialmente trabalhava como técnico do Laboratório de Radioisótopos no Instituto de Biofísica, e, após ter desenvolvido seu mestrado e doutorado nessa mesma instituição (BASTOS, 1997, 2004), tornou-se professor da UNIR, em Rondônia. Ele enfatiza em seu relato a escolha por ampliar sua agenda de pesquisa:

Aí foi um ótimo passo que ele fez. Da mesma maneira que eu, voltar para a ecologia no final das contas. Para geoquímica e tudo. Para não ficar só nessa parte estritamente de poluição, porque a gente tinha base teórica para avançar em outras áreas. Então é importante também isso. [...] Na realidade, meu interesse volta lá trás na graduação. Era estudar como é que as substâncias ciclam no meio e como é que os organismos influenciam essas substâncias. Então, na realidade, o mangue, a Amazônia, o oceano aberto, eles são modelos para estudar essas coisas.²⁸⁶

Analisando seu histórico de publicações da década de 1990, é possível perceber como se deu essa reorganização de sua trajetória científica. Aqui podemos colocar duas balizas principais. A primeira, sua publicação assinada individualmente na *Nature*, de 1995, em que o cientista afirma ser o garimpo o principal responsável pelas emissões de mercúrio na Amazônia (LACERDA, 1995). A segunda baliza, o artigo publicado em 2000 e intitulado *Elevated Mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments?* [Elevadas concentrações de mercúrio em solos, sedimentos, água e peixes da bacia do rio Madeira, Amazônia Brasileira: uma função dos enriquecimentos naturais?], trabalho assinado com cientistas estadunidenses como parte de um projeto de pesquisa financiado pelo US State Department e US Forest Service. Nesse artigo, os pesquisadores afirmam que os níveis elevados de mercúrio eram

²⁸⁵ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁸⁶ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

resultado de fontes e processos biogeoquímicos naturais, relativizando o impacto do mercúrio de origem antropogênica, como aquele oriundo do garimpo (LECHLER et al, 2000).

Entre essas duas balizas, tem-se vários trabalhos de Lacerda com o mercúrio na Amazônia e o trabalho dos cientistas canadenses, no qual Jean Remy esteve envolvido. É importante destacar que apesar de focar nos estudos na Amazônia, Lacerda nunca se restringiu apenas a esse tema. Ele realizou vários trabalhos com metais pesados, particularmente sobre sua ciclagem em manguezais e zonas costeiras, eventualmente usando radioisótopos. Ele trabalhou com diferentes organismos da biota e explorou outros ecossistemas brasileiros. Continuou, por exemplo, trabalhando por anos nos sistemas hídricos do Rio de Janeiro, como a Baía de Sepetiba (CARVALHO, LACERDA e GOMES, 1991) e o Rio Paraíba do Sul (CARVALHO et al, 1999); fez pesquisas sobre a biogeoquímica do solo de manguezais (LACERDA, ITTEKKOT e PATCHINEELAM, 1995) e desenvolveu trabalhos mais específicos de geoquímica (SILVA FILHO et al, 1998). Ainda no final dos anos 1980, o cientista participou também de projeto sobre os micropoluentes orgânicos na costa do Rio de Janeiro (JAPENGA et al, 1988). O foco desta análise, porém, é demonstrar as mudanças na carreira do cientista mais diretamente relacionadas com o caminho tomado por suas pesquisas com mercúrio.

De 1995 a 1999, Luiz Drude de Lacerda publicou uma grande quantidade de trabalhos abordando o tema do garimpo de ouro e da contaminação por mercúrio na Amazônia. Só no ano de 1997, foram 7 artigos, alguns deles tendo apenas Lacerda como autor. Nesse período, pelo menos 4 artigos trataram exclusivamente da contaminação de mercúrio em peixes e humanos, medindo as concentrações em diferentes compartimentos e fazendo avaliações de risco. Em um dos artigos, baseado em análises realizadas na região norte da Amazônia, no Rio Tartarugalzinho, estado do Amapá, publicado na *Water, Air and Soil Pollution* em 1997, os resultados sugeriam uma “contaminação generalizada por Hg” nos peixes locais. “Devido às altas concentrações de Hg nos peixes e ao alto consumo de peixe pela população local, a exposição ambiental ao Hg também é alta, apresentando um risco à saúde da população” (BIDONE et al, 1997, p. 9). Em outro artigo do mesmo ano, com análise na região de Alta Floresta, os filhos de famílias de pescadores com idade de 5 a 14 anos foram considerados os mais expostos ao risco de mercúrio pela ingestão do pescado (HACON et al, 1997a, p. 209). Em outro trabalho, o risco para a população geral, também em Alta Floresta, foi correlacionado à inalação de vapor metálico de mercúrio como principal via de exposição, sendo “os resultados de ingestão de água para todos os grupos” considerados insignificantes (HACON et al, 1997b, p. 91). O risco para a família de pescadores, entretanto, ainda era

considerado muito alto.

Os outros trabalhos de Lacerda, desse mesmo período (1997-1998), enfatizaram mais a questão do garimpo de ouro. Em artigo no *Química Nova*, comparando as emissões de Hg por fontes industriais e por garimpo de ouro, Lacerda afirmou que “a principal carga de mercúrio para o meio ambiente é oriunda dos garimpos de ouro” (LACERDA, 1997a, p. 196), sendo menos de 30% as emissões de fontes industriais. Em outro trabalho, Lacerda afirmou que a mineração de ouro já era responsável por 10% das emissões antropogênicas globais de mercúrio, e o risco poderia ser ainda maior se fossem considerados “os últimos 500 anos” de mineração de ouro e prata, pois esses rejeitos poderiam ser remobilizados com o tempo para outras áreas (LACERDA, 1997b, p. 209). Com sua parceira de trabalho, a pesquisadora do CETEM Rozane Valente Marins, Lacerda publicou no mesmo ano texto no qual analisava o impacto do garimpo de ouro em relação às emissões de mercúrio para a atmosfera. Nesse trabalho, concluiu-se que pelo fato de as emissões de mercúrio oriundas da mineração de ouro estarem restritas à região Amazônica, os níveis de Hg por área se mostravam muito elevados (LACERDA e MARINS, 1997, p. 223).

Em seu último texto de 1997 sobre o tema, Lacerda fez uma revisão histórica da contaminação por mercúrio no Brasil. Em relação ao garimpo, o cientista definiu esse processo da seguinte forma: “A mineração de ouro, por outro lado, era quase insignificante como fonte de Hg até o final da década de 1970, mas é atualmente responsável por mais de 80% das emissões totais” (LACERDA, 1997c, p. 247). Em 1998, mais um trabalho apontou para um potencial risco à saúde humana e à biota devido ao crescimento da exposição ao mercúrio pela mineração de ouro no rio Tapajós, no Pará (CASTILHOS, BIDONE e LACERDA, 1998, p. 208). Também em 1998, iniciaram-se, como já mostrado no subtópico anterior, as publicações do projeto canadense na Amazônia (ROULET et al, 1998). Apesar de Lacerda continuar publicando sobre mercúrio e garimpo, como no caso da grande coletânea de 1999 já analisada anteriormente (LACERDA e SALOMONS, 1999), é possível identificar esse período do final dos anos 1990 como uma baliza importante para algumas das mudanças já mencionadas na agenda de pesquisas do cientista.

No depoimento de Jean Remy Guimarães, o pesquisador comentou sobre uma situação ocorrida em um evento nacional sobre mercúrio, em meados da década de 1990, que, apesar do caráter pessoal do relato, exemplifica bem a virada dos estudos de Lacerda:

Eu estava num congresso, lá no meio da plateia, sobre mercúrio, onde ele [Luiz Drude de Lacerda] estava apresentando, talvez no meio dos anos noventa, uns dados... [...] Uns dados bastante apressados, eu diria, que segundo ele, demonstravam, com um único testemunho de um sedimento lá

em Carajás, num lugar alto, que demonstravam em profundidade, que ele associava as emissões da prata colonial no período colonial espanhol nos países vizinhos, que Bolívia, Peru, Equador lançaram uma quantidade boçal de mercúrio no ar e na água em função do esforço deles de mineração de ouro e de prata. É claro que todo mundo naquela época estava correndo atrás desse tipo de coisa, mas quase ninguém tinha dados para apresentar e, quando ele apresentou esse, eu fiquei lá quietinho no meu canto, estava sozinho, não estava em turma nem nada, e eu comecei a ouvir os comentários e os cochichos em torno. “[...] Como é que o cara me apresenta um core desse? Só um, nem réplica tem, não sei o que, não tem comprovação, isso não é sério, vou tomar um café, chega”. Uma coisa assim. De alguma forma, acredito que no coffee break algo disso deve ter chegado nele, do tipo “Olha, pega leve, porque a sua causa aí, as provas que você tem são poucas e são frágeis para você defender um negócio deste tamanho”. E aí, ao invés de ficar ofendido e sair igual nobreza esbofeteada, ele parou, pensou, engoliu e, pouco depois, podemos perceber que a mensagem passou, que ele considerou, foi atrás da literatura que sustentava essa mudança de visão, se convenceu, se associou a um dos grupos que já trabalhavam com isso, uns americanos da Califórnia, fez um trabalho grande lá no Madeira²⁸⁷.

O trabalho de Lacerda com os norte-americanos estabeleceu uma análise regional dos impactos ambientais do garimpo no rio Madeira, examinando uma série de amostras de solos, sedimentos, água e peixes ao longo de todos os 900km do rio. A pesquisa produziu dados biogeoquímicos considerados bastante consistentes, que sugeriam fontes e processos de ordem natural, e não diretamente antropogênica, que favoreciam, em nível regional, o enriquecimento de mercúrio em seu ciclo. Grande parte disso, ou seja, tanto o rio Madeira, quanto as diferentes amostras, já haviam sido amplamente estudadas, como vimos, por Luiz Drude de Lacerda e outros cientistas desde a década de 1980. Esse novo artigo, entretanto, não chegou exatamente às mesmas conclusões desses outros trabalhos: “Embora esta conclusão entre em conflito com muitas investigações ambientais anteriores conduzidas em escala local, é compatível com outros trabalhos mais recentes no Rio Tapajós e na bacia do Rio Negro” (LECHLER et al, 2000, p. 95). Ou seja, em pouquíssimo tempo, talvez menos de três anos, Lacerda deixou de lado sua tese de que o garimpo era a principal fonte de emissão de mercúrio na Amazônia, e assumiu que o problema tinha outra dimensão, juntando-se com novos grupos de pesquisa que adentravam essa seara: “Importantes processos biogeoquímicos naturais são responsáveis pela maior biodisponibilidade de Hg e pela bioacumulação da cadeia alimentar no baixo rio Madeira, muito distantes das entradas antropogênicas de Hg” (LECHLER et al, 2000, p. 95).

Esse movimento deve ser entendido não apenas como simples mudança de opinião,

²⁸⁷ GUIMARÃES, Jean Remy Davée, entrevista 2 [28/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

mas como parte de um processo de reorganização da própria carreira científica de Lacerda. Para compreender melhor isso, é necessário apresentar alguns outros detalhes referentes à trajetória desse cientista. Assim como os radioisótopos, os estudos de contaminação e poluição não foram os únicos aspectos importantes da trajetória de Lacerda, apesar de constituírem grandes pontos de inflexão. Na verdade, o cientista tornou-se atuante e reconhecido por entidades científicas internacionais sobretudo como especialista em ecossistemas costeiros e manguezais. Entretanto, o mangue, tal como a restinga, a floresta e os rios amazônicos, os sistemas hídricos do Rio de Janeiro, o cerrado, dentre outros ecossistemas, foram tratados por Lacerda sempre como modelos para entender como substâncias e organismos interagem entre si. Esse foi um norte importante das agendas de pesquisas do cientista, que continuou durante e após seus trabalhos com mercúrio na Amazônia. Essas conexões ecossistêmicas, entretanto, surgiram como agenda a partir de sua formação e da experiência com cientistas que trabalhavam com o sistema experimental dos radioisótopos:

Eu me lembro que quando a gente começou a discutir essa questão do processo unitário do garimpo e do mercúrio da Amazônia, eu me lembrava muito do Jonh Hay e ecossistemologia, dos estudos clássicos usando isótopo, cálcio radioativo, que foi um dos primeiros a mostrar, por exemplo, a importância de exosfera para as árvores da floresta tropical, da absorção dos nutrientes na copa. Isso foi tudo feito com radioisótopos [...] Ora bolas, se a floresta depende da atmosfera para tirar nutrientes, e não deixa sair do solo, ela vai fazer a mesma coisa com o mercúrio, que também vem da atmosfera. Então todo o paradigma é o mesmo. Exatamente o mesmo²⁸⁸.

Atuando como professor do Departamento de Geoquímica da UFF desde 1982, e Professor Titular a partir de 1994, Luiz Drude de Lacerda participou como coordenador, no início da década de 1990, de um grande projeto internacional sobre manguezais, executado pela International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), sociedade científica criada em agosto de 1990 no Japão. O projeto da ISME, cofinanciado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e pelo International Tropical Timber Organization (ITTO), tinha como objetivo a conservação e a gestão sustentável dos ecossistemas de manguezais da América e África. Lacerda participou desse projeto de 1992 a 1996, tendo estado presente em eventos como a ECO-92 e viajado pelo mundo todo por conta dele. Durante esse período, o cientista relatou seu afastamento do Instituto de Biofísica, embora, como vimos, ainda trabalhasse com a região Amazônica. Dessa forma, seus trabalhos se alternavam entre os

²⁸⁸ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

estudos mais específicos de manguezais e as pesquisas com mercúrio na Amazônia, na qual colaborou também com a montagem de um laboratório de mercúrio atmosférico pela professora Rozane Marins, da CETEM/CNPq, que havia ganhado da FINEP financiamento para outro grande projeto.

Nesse processo, Lacerda foi migrando cada vez mais para outros temas, embora não tenha abandonado totalmente a Amazônia ou os estudos de metais pesados e contaminação:

E é claro, aí não ia tanto...quando diminuiu um pouco o trabalho na Amazônia, naturalmente, porque começou também a entrar para umas áreas que eu não trabalho muito... Que é a parte de exposição humana, esse negócio. E já estava com esses estudos aqui no Instituto do Milênio e no INCT, que estudava transferência de material do continente para o Oceano. E aí trabalhando aqui essa questão do semiárido veio à tona, mudança climática, porque a transição oceano-continente é extremamente sensível à mudança climática. Então uma coisa vai levando a outra²⁸⁹.

Entre o final dos anos 1990 e o início dos anos 2000, várias outras mudanças ocorreram na carreira de Lacerda. Os mencionados Institutos do Milênio e Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) foram programas criados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e executados pelo CNPq, exatamente nesse período. Criado em 2001, o Programa Institutos do Milênio contou com um investimento de 90 milhões de reais, tendo aprovado vários projetos e induzido a criação de Institutos do Milênio priorizando estudos sobre o semiárido, oceanografia e Amazônia. Nesse contexto, Lacerda iniciou seu vínculo com a Universidade Federal do Ceará (UFC), entre 2000 e 2001. Na UFC, ainda sem se desvincular da UFF, Lacerda iniciou como professor visitante, tornando-se Professor Titular em 2013.

Eu trabalhava aqui, mas a sede era na UFF. Só quando o veio o INCT em dois mil e oito que a sede veio para cá realmente. E aí depois em dois mil e treze...Não, aí em dois mil e oito, formalmente fui cedido, mas não contratado. Mas pelo menos eu podia assinar o endereço institucional daqui. Aí em dois mil e treze, aí eu saí definitivamente da UFF e fiquei só aqui²⁹⁰.

Além do projeto do ISME, do Institutos do Milênio e posteriormente do INCT, Lacerda participou, dentre outros, de projetos enormes como o Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), criado em 1993 e que em 2015 se tornou o Future Earth Coasts, e o South American Basins (SAMBAS), que durou de 1999 a 2001. Apesar de ter trabalhado nessas grandes redes globais de ciência, e viajado por diferentes países e ecossistemas, sua

²⁸⁹ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁹⁰ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

mudança para o Ceará, longe dos principais centros urbanos do país, parece ter sido bastante significativa para o investimento nos estudos sobre mudanças climáticas:

Esses sistemas extremos, como a Amazônia, os mangues, as restingas, e o semiárido, são muito mais propensos, ou com respostas muito mais intensas, da mudança climática, que é o que eu venho trabalhando mais recentemente. Aí tanto que o título do meu último paper chama o paradoxo Ártico [...] porque também é um outro exemplo extremo. Então é interessante você usar esses exemplos extremos, porque ele te permite estudar alguns passos do funcionamento da natureza que você não consegue ver numa floresta temperada, bonitinha, organizada, que fala alemão²⁹¹.

Assim, o trabalho no semiárido do litoral cearense, desde o início dos anos 2000, o fez se aproximar cada vez mais das discussões globais ligadas à crise climática. Em seu relato, Lacerda menciona como certos pontos, como a acidificação dos oceanos, demoraram muito tempo para serem discutidos nos congressos, como no próprio Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que teve o seu primeiro relatório geral publicado em 2007 (IPCC, 2007). O cientista destaca também, nesse sentido, a importância de se estudar ambientes extremos, como no caso do semiárido:

Se você quiser saber qual o efeito de aumento de temperatura, esse efeito vai ser muito mais visível nesses ambientes críticos, que são os ambientes extremos. Então isso começou quando eu vim para cá, antes disso eu estava na mesma vibe aí do Rio. Entendeu? “Ah não. É vai acontecer. Vai acontecer em dois mil e trinta, dois mil e cinquenta, dois mil e cem”²⁹².

Todos esses aspectos refletem, a um só tempo, a trajetória profissional individual de Luiz Drude de Lacerda, e uma espécie de mudança de paradigma científico que ocorreu de modo estrutural nas ciências ambientais das últimas décadas do século XX. Ou seja, saiu-se de um sistema experimental que tinha como base a ideia de fonte, carga e efeito, para um sistema de abordagem biogeoquímica, tendo as mudanças climáticas como principal vetor:

Ao contrário que lá na Biofísica quando a gente começou. O vetor, por exemplo... o principal vetor de mercúrio para a Amazônia era o garimpo. O principal vetor de metais para Sepetiba era a indústria. Hoje não, hoje não é mais nada disso. Principal vetor do mercúrio na Amazônia é o desmatamento²⁹³.

De acordo com Lacerda, se antes os cientistas do ambiente estavam focados na ideia de carga e efeito, ou seja, deveriam quantificar a carga, traçar o seu percurso e prever seus efeitos, após o desenvolvimento das agendas biogeoquímicas e das mudanças climáticas, “é

²⁹¹ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁹² LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

²⁹³ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

muito mais importante saber o que que acontece entre a liberação e o alvo²⁹⁴”, ou seja, as diferentes interações ecossistêmicas:

Esse pessoal todo mais antigo... Eles trabalhavam com a gente lá na Biofísica, depois lá na Geoquímica. Até hoje a gente mantém contato. Todos fomos formados nessa história “Quem é a indústria?”, “Quem é o culpado?” ,“Cadê o endereço?” [...] E isso começou a mudar a partir desse século [XXI] na realidade.

Vale mencionar alguns trabalhos e publicações de Luiz Drude de Lacerda da virada para os anos 2000 para entender a construção de sua especialidade em manguezais e mudanças climáticas, bem como o caminho que o levou a utilizar bem cedo o conceito de Antropoceno em sua agenda de pesquisas. Essa história também faz parte da história dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, pois se trata de um dos seus vários desdobramentos, de maneira que a rápida incorporação da ideia de Antropoceno por Luiz Drude de Lacerda pode ser vista como a continuidade desse processo histórico. Não apenas por Lacerda ter se formado e colaborado por anos com o Laboratório de Radioisótopos, mas porque, como vimos, a emergência de novas discussões e abordagens, na década de 1990 e 2000, coincidem com um período de arrefecimento de uso dos radioisótopos nas ciências biológicas em geral e com um maior desinteresse pela energia nuclear e seus aspectos desfavoráveis. Estamos tratando, assim, de um período de muitas transformações nas ciências biológicas e ambientais, que, diferentemente das décadas de 1950 a 1970, não seriam impactadas pelo advento de um novo instrumento, como no caso dos radioisótopos, mas por um amplo movimento global de debates acerca de um novo regime climático, com projeções alarmantes e causas antropogênicas.

Nos últimos anos da década de 1990, Luiz Drude de Lacerda participou como autor e editor de publicações relacionadas aos grandes projetos internacionais em que atuava. Ligado ao projeto da ISME, por exemplo, foi lançado, em 1997, o livro ‘Mangrove Ecosystem Studies in Latin America and Africa’, editado por Börn Kjerfve, Luiz Drude de Lacerda e El Hadji Salif Diop. Lacerda contribuiu com capítulo no qual abordou os motivos pelos quais traços de metais em plantas de mangue eram encontrados apenas em concentrações muito baixas (KJERFVE, LACERDA e DIOP, 1997; LACERDA, 1997d). Em 1999, o livro ‘Perspectives on Integrated Coastal Zone Management’, resultado direto de duas conferências internacionais ligadas ao programa científico do LOICZ, lançado pelo International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), voltava-se ao tema da gestão das zonas costeiras a

²⁹⁴ LACERDA, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

partir de um conhecimento interdisciplinar. As atividades socioeconômicas praticadas nas regiões costeiras, como a pesca, o turismo, a extração de petróleo e gás, e o desenvolvimento industrial e urbano, são ressaltadas na apresentação do livro como complicadores na gestão dessas zonas, devido a sua contínua expansão (SALOMONS et al, 1999, p. vi). Lacerda escreveu ainda um capítulo com Kjerfve sobre a conservação e gestão dos mangues latino-americanos, abordando a relação humana com esses ecossistemas desde o período pré-colombiano e colonial. Apesar da extensão temporal e geográfica dos manguezais das Américas, indo do sul do Brasil ao sul dos Estados Unidos, eles apontam que um inventário detalhado dos manguezais da América Latina e do Caribe estava longe de ser concluído. E, quando isso ocorresse, novas práticas de gestão precisariam ser implementadas (LACERDA e KJERFVE, 1999, p. 192).

Nesses trabalhos, é possível perceber a inserção de uma nova especialidade na carreira de Lacerda ligada à agenda das mudanças climáticas. Sua entrada nesse debate deu-se principalmente por meio de seus estudos sobre manguezais e zonas costeiras, que integravam grandes programas científicos internacionais. Apesar de não ser possível detalhar a relação de cientistas brasileiros com a emergência desses programas, bem como sua atuação, cabe fazer aqui uma breve menção a esse contexto. Aronova, Baker e Oreskes (2010) apontam o surgimento do International Biological Program (IBP), que durou de 1964 a 1974, como uma importante tentativa de promover a Big Science na biologia e ecologia. O IBP, semelhante ao International Geophysical Year (1957-1958), foi uma iniciativa marcada pelas características do fazer científico do pós-guerra, como o nacionalismo e a Guerra Fria. Em 1974, o IBP foi encerrado por ter sido considerado fracassado, sobretudo devido a dificuldades institucionais, metodológicas e epistemológicas. Apesar disso, o programa forneceu um importante modelo alternativo para a observação de dados em escala global, englobando práticas da ecologia e sugerindo novos modelos para que as ciências baseadas nos métodos da história natural alcançassem o estatuto das ciências físicas experimentais. Embora o IBP não tenha atingido as expectativas esperadas, o programa acabou dando origem a outras iniciativas, como o Long Term Ecological Research (LTER)²⁹⁵, existente até os dias atuais e que conseguiu estabelecer parâmetros bem-sucedidos para a coleta de dados biológicos e ecológicos em larga escala (ARONOVA, BAKER e ORESKES, 2010).

As modificações incentivadas por esses programas no planejamento e no fomento à

²⁹⁵ No Brasil, em 2013, um livro foi publicado para avaliar os 10 anos do PELD/CNPq, o Programa de Ecologia de Longa Duração. A publicação contou com Luiz Drude de Lacerda como um dos editores (TABARELLI et al, 2013).

pesquisa biológica a partir da segunda metade do século XX foi uma das peças fundamentais para a emergência de novas abordagens de pesquisa. Além do IBP, também foi criado em 1971 o *Man and the Biosphere Programme* (MAB) da UNESCO, com um foco maior dado ao tema da conservação da natureza (SCHLEPER, 2017). O já citado IGBP, por sua vez, surgiu em 1987, e durou até 2015 e dedicou-se ao estudo de fenômeno de estudos bio-geo e físico-químicos em escala global. O LOICZ, programa do IGBP, pode ser considerada a iniciativa mais relacionada com o trabalho de Luiz Drude de Lacerda. Foi através de vários desses programas internacionais, entretanto, que outras abordagens da ecologia de ecossistemas se tornaram possíveis. O dimensionamento do papel de cada um desses programas no desenvolvimento de agendas de pesquisas específicas e suas conexões com discussões mais amplas requer um rigoroso exame da história dessas iniciativas, o que escapa do escopo desta tese.

Seguindo pela trajetória científica de Luiz Drude de Lacerda, em 2002 ele editou o livro ‘Mangrove Ecosystems: Function and Management’, pela editora Springer, como mais um resultado dos projetos da ITTO/ISME. Lacerda procurou demarcar seu espaço no debate sobre mangues, sublinhando a importância ecológica deles, assim como a vantagem de analisá-los de perto, considerando “a real importância social e econômica desses ecossistemas” a partir de um olhar sobre as formas de manejo e uso pelas populações locais (LACERDA, 2002, p. xxi).

Lacerda editou outro livro, em 2004, sobre geoquímica ambiental nos trópicos. O impacto do conhecimento oriundo das regiões tropicais foi considerado fundamental para o entendimento da geoquímica a nível mundial. Um dos editores da publicação, o cientista francês Egbert Duursma, mencionou como os simpósios de geoquímica ambiental ocorridos em Niterói-RJ, em 1993, Cartagena, na Colômbia, em 1996, e em Nova Friburgo-RJ, em 1999, “deixaram bem claro que a geoquímica tropical é de padrão mundial e está crescendo rapidamente multidisciplinarmente e impactando paradigmas geoquímicos importantes. Além disso, possui fortes vínculos com a economia dos países tropicais” (DUURSMA, 2004, p. v). Dessa forma, os avanços na área poderiam contribuir para o tratamento de problemas ambientais ligados a atividades humanas como a mineração e a industrialização. Nessa publicação, Lacerda contribuiu amplamente, assinando textos sobre poluição por mercúrio em Gana, na África (BONZOGO et al, 2004), sobre metais pesados na Baía de Sepetiba (LACERDA et al, 2004), sobre análise biogeoquímica em sedimentos de mangue (MACHADO e LACERDA, 2004) e sobre geoquímica de sedimentos da plataforma continental do litoral do Ceará (FREIRE et al, 2004). Apesar da existência de algumas

publicações sobre Amazônia nesse livro, Luiz Drude de Lacerda não participou de nenhuma delas.

O envolvimento do cientista, com programas científicos ligados ao entendimento das mudanças climáticas e do impacto das ações antrópicas sobre ecossistemas sensíveis como os manguezais, a partir de especificidades de ecossistemas tropicais, levou Lacerda a incorporar rapidamente o conceito recentemente surgido de Antropoceno. Juntamente com outros cientistas que compunham essas redes globais de produção de conhecimento, Lacerda pode ser considerado um dos primeiros cientistas brasileiros a fazer menção ao termo cunhado por Paul Crutzen (1933-2021) em 2000. O cientista holandês, que em 1995 dividiu um prêmio Nobel com Mario Molina e Sherwood Rowland, pelos trabalhos em química atmosférica, em especial os relativos à formação e decomposição do ozônio, já vinha estabelecendo uma agenda de estudos sobre alterações climáticas com impacto político desde a década de 1980. Crutzen participara de uma comissão parlamentar alemã para medidas preventivas de proteção da atmosfera terrestre, contribuindo com a redação de um relatório que causou certa influência para a elaboração de políticas nacionais e internacionais sobre ambiente atmosférico e mudanças climáticas (LELIEVELD, 2016). O trabalho de Crutzen, após ganhar o Nobel, caminhou tanto por uma defesa da controversa ‘geoengenharia’, a partir de, por exemplo, propostas de gestão da radiação solar, quanto pela necessidade de propor uma nova época geológica a qual denominou Antropoceno, período caracterizado por um conjunto de mudanças globais no sistema planetário (LELIEVELD, 2016, p. xii).

Percebe-se, assim, que o mesmo cientista que chegou a defender intervenções como aquelas ligadas a uma gestão tecnológica para os problemas climáticos da Terra, propôs um novo conceito que demarca uma época atravessada por alterações biogeoquímicas irreversíveis.²⁹⁶ Os efeitos do surgimento do conceito de Antropoceno podem ser visualizados como um amplo debate intelectual, científico, político e cultural bastante candente nos dias atuais. As humanidades se apropriaram do conceito, de forma a surgirem diversas trincheiras epistemológicas (SILVA e LOPES, 2021). Não adentrarei aqui nesses desdobramentos, já comentados na introdução desta tese. O que interessa, neste momento, é apresentar como o conceito foi compreendido ou utilizado por Luiz Drude de Lacerda e suas áreas de estudo, muito próximas às de Paul Crutzen, como a geoquímica ambiental, a biogeoquímica e a ecologia de ecossistemas.

²⁹⁶ O principal artigo de Paul Crutzen e Eugene Stoermer que inaugura o Antropoceno como debate científico foi publicado em 2000 na revista *Global Change Newsletter* (CRUTZEN e STOERMER, 2000).

Como vimos, os grandes projetos internacionais dos quais Luiz Drude de Lacerda fez parte, inclusive como coordenador, estavam alinhados com uma ideia de conhecimento científico capaz de intervir política, econômica e socialmente. A própria história da ecologia, como disciplina científica, em especial ao longo do século XX, teve como um de seus principais elementos a difícil distinção entre seu conteúdo e a sua dimensão política (ACOT, 1990). Não me refiro aqui apenas à ecologia moldada pelas políticas nucleares da década de 1950 (BOCKING, 1995; JESSEE, 2013; LINDSETH, 2013), mas também uma ecologia que, dada as suas características epistemológicas, produziu um conhecimento prático intrinsecamente relacionado com demandas socioambientais. É nesse sentido, que devemos compreender o ‘uso’ do termo Antropoceno por Luiz Drude de Lacerda, seja dentro dos programas científicos em que este cientista trabalhou ou em suas publicações individuais. Ou seja, o Antropoceno, para ecólogos e cientistas ambientais em geral, atuantes nos anos 2000, era como uma moldura que expressava com alguma eficácia os novos resultados e caminhos das ciências ecológicas praticadas em grandes infraestruturas transnacionais de pesquisa. Seja as abordagens biogeoquímicas, a climatologia, a geoquímica ambiental, os estudos de sistemas extremos, as ciências do sistema Terra e os estudos das mudanças climáticas em geral, formavam um conjunto de novas agendas de pesquisas e sistemas experimentais que adentravam o século XXI trazendo novas demandas e configurando novos conhecimentos sobre as relações entre sociedade e natureza. A convergência dessas diferentes áreas culminou no conceito do Antropoceno, uma nova maneira de informar seus pares, nas dinâmicas dos círculos esotéricos e exotéricos (FLECK, 2010) e da opinião pública²⁹⁷.

Alguns desses pontos podem ser visualizados em mais uma das publicações com participação de Luiz Drude de Lacerda. Em 2005, veio a lume o livro ‘Coastal Fluxes in the Anthropocene’, da série *Global Change – The IGBP Series*, contendo uma síntese dos trabalhos do programa Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) de 1993 até 2002. A publicação menciona o uso sustentável e a proteção das zonas costeiras da Terra como crescentes agendas internacionais, com mecanismos como a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito dos Mares (UNCLOS), a Agenda 21 da Rio ECO-92 e as Convenções

²⁹⁷ Nesse caso, é interessante pensar na dinâmica sociológica do conhecimento científico, descrita por Ludwik Fleck. Para Fleck, a ciência é formada por coletivos de pensamento, marcados pela relação entre grupos seletos que criam formas de pensar (saber esotérico) e grupos que consomem as formas de pensar criadas pelos primeiros (saber exotérico). A dinâmica esotérica, formulada pelos agentes que criam as teorias, é marcada por indivíduos que participam da mesma, ou seja, do círculo esotérico, mas que também participam de vários outros círculos exotéricos, com essas dinâmicas se sobrepondo. A dinâmica exotérica é muito maior que a esotérica, e marcada por grupos mais diversos, ou menos seletos, que os participantes do círculo esotérico (FLECK, 2010).

sobre Zonas Úmidas, Biodiversidade e Desertificação de Ramsar representando a expansão desses temas. Além disso, o estabelecimento do IGBP pelo Conselho Internacional para a Ciência (ICSU) em 1987, e o LOICZ, em 1993, sendo apenas um de seus oito projetos centrais, foram iniciativas importantes para o desenvolvimento de pesquisas sobre a relação entre as mudanças no uso da terra, mar e clima, as alterações de ecossistemas costeiros e possíveis consequências macroestruturais. No caso dessas iniciativas gigantescas, envolvendo milhares de cientistas e organismos do mundo todo, o Antropoceno, impresso no título da obra, refletiu o direcionamento prático dos trabalhos (LINDEBOOM, 2005, p. v).

Além das zonas costeiras como ambientes que conectam fenômenos e processos naturais e humanos em escalas local e global, podemos notar nessa publicação a ambição do projeto do qual ela decorre, de explicitar aspectos sobre as zonas costeiras considerados mal conhecidos por outros grupos sociais: “Em particular, existe uma ignorância generalizada entre os intervenientes costeiros sobre a multiplicidade de escalas temporais e espaciais através das quais as costas são afetadas, incluindo o continuum desde a captação do rio até ao oceano costeiro” (LINDEBOOM, 2005, p. v).

O capítulo que teve Lacerda como um dos 22 contribuidores, sendo Wim Salomons o primeiro autor, dava um amplo panorama sobre os fatores e as pressões da bacia hidrográfica e seus impactos nas alterações costeiras, trazendo também informações sobre aspectos de gestão política dessas alterações. É estabelecido uma análise do continuum entre bacia hidrográfica e mar-costeiro, a partir de uma abordagem que considera essa interação como parte de um único sistema (SALOMONS et al, 2005, p. 145). O tema da transferência de materiais na chamada interface continente-mar foi, inclusive, um dos grandes projetos trabalhados por Luiz Drude de Lacerda nos anos 2000, dentro do programa Institutos do Milênio/CNPq. Em 2008, o cientista redigiu um relatório desse projeto, registrando as atividades do período de 2005 a 2008. Tendo Lacerda como coordenador, o projeto “Transferência de Materiais na Interface Continente-Oceano” teve como objetivo “quantificar o transporte, as transformações e o destino de sedimentos, nutrientes, matéria orgânica e metais-traço na interface continente-oceano ao longo da costa Leste-Nordeste brasileira” (LACERDA et al, 2008, p. 2). Já atuando nesse contexto no Ceará, o relatório executivo final foi publicado a partir do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), da UFC, em Fortaleza.

Foi dentro do mesmo projeto mencionado acima e na chave dos estudos sobre bacias hidrográficas, zonas costeiras e contaminantes que Lacerda publicou o texto ‘Biogeoquímica de contaminantes no Antropoceno’, num número especial de 2007 do periódico *Oecologia Brasiliensis* (hoje *Oecologia Australis*), já citado no início deste capítulo. O texto de Lacerda,

ainda que traga um balanço geral contrastando uma série de dados biogeoquímicos com informações das mudanças climáticas a nível global, pode ser considerado um dos primeiros artigos científicos brasileiros a mencionar o termo Antropoceno. No artigo, Lacerda utiliza o conceito também como uma moldura para apresentar seu objeto. Devido à relativa novidade do termo, mais ou menos 7 anos (CRUTZEN e STOERMER, 2000), o texto de Lacerda apresenta essa agenda no cenário brasileiro, correlacionando “os efeitos da contaminação por metais no Antropoceno” (LACERDA, 2007, p. 301) com as mudanças regionais e globais na dinâmica entre contaminantes e ecossistemas. De modo geral, o texto de Lacerda também reflete sua própria trajetória, na qual uma ecologia de ecossistemas e poluentes encontra com uma complexa abordagem biogeoquímica de escala planetária.

Lacerda também apresentou o tema da biogeoquímica de poluentes no Antropoceno em eventos, tais como em 2008 no IV Encontro Nacional de Química Ambiental, no qual falou dos impactos ambientais nas zonas costeiras do nordeste brasileiro, no cenário do Antropoceno. Em 2006, apresentou sobre o mesmo tema no *III International Workshop on Micropollutants*, e em 2007 no *1st Brazilian Symposium on Global Environmental Change*. Na carreira do cientista, o termo Antropoceno continua sendo utilizado até os dias atuais, como uma forma de expressar a complexidade do contexto ambiental contemporâneo e o impacto das mudanças climáticas em diversos ecossistemas e ciclos biogeoquímicos. Em seu currículo, o cientista manteve linhas de pesquisa sobre a biogeoquímica de contaminantes no Antropoceno até 2017. Em 2022, por exemplo, Lacerda assinou o editorial ‘Mangroves in the Anthropocene: From local change to global challenge’ (LACERDA et al, 2022), na revista *Frontiers*. O termo Antropoceno continua sendo utilizado como um demarcador temporal e uma forma de expressar a dimensão catastrófica e irreversível da nossa época.

Apesar da ampla diversidade de temas entrecruzados, contextos e questões de grande complexidade, este subtópico tencionou apresentar aspectos da trajetória científica de Luiz Drude de Lacerda, desde a sua formação no Laboratório de Radioisótopos do IBCCF, passando pelo seu aprofundamento em pesquisas com metais pesados e poluentes, para finalmente chegar à sua atuação internacional como cientista integrado a uma rede global de estudos sobre mudanças climáticas, projetos que por sua vez se valeram do termo Antropoceno para demarcar uma nova identidade de pesquisa. Lacerda conseguiu conectar todos os seus interesses como ecólogo, ao mesmo tempo em que esteve por dentro dos principais temas emergentes nas ciências ambientais desde a década de 1980 mediante trocas com cientistas e instituições internacionais. A trajetória do cientista pode ser considerada, assim, um desdobramento da história do Laboratório de Radioisótopos, e da própria história

dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, ainda que não se reduza a isso. O que este texto procurou demonstrar, nesse sentido, foi a existência de um processo contínuo que acompanhou agendas globais políticas e científicas. Dito de outra forma, embora num dado momento os radioisótopos tenham se dissipado dos laboratórios, seu legado epistemológico manteve-se na trajetória de cientistas como Luiz Drude de Lacerda, que converteram pressupostos dos sistemas experimentais modelados por aqueles elementos para novas configurações científicas dedicadas em explorar o impacto das ações antropogênicas sobre os diversos ecossistemas. Apesar deste ter trabalhado pouco tempo com esses elementos, manteve-se ativo como um especialista em ecologia de contaminantes, poluentes, metais e outros elementos abióticos que foram primeiramente estudados a partir da radiação. Dessa forma, através de seu trabalho, o cientista atravessou a história dos radioisótopos e a história do Antropoceno, como resultado de décadas de trabalhos em ecologia de ecossistemas.

4.3.3 Outras trajetórias no Laboratório de Radioisótopos: Olaf Malm, Wanderley Rodrigues Bastos, João Paulo Machado Torres e Valéria Magalhães

Em palestra de abertura do Ciclo de Conferências do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF/UFRJ), ocorrida em 9 de março de 2022, o pesquisador Olaf Malm referiu-se a Luiz Drude de Lacerda como o “filho” mais notável do Instituto (IBCCF UFRJ, 2022). O comentário de Malm parece decorrer de uma consideração acerca da exitosa trajetória profissional de Lacerda, que, como vimos, alcançou grande projeção internacional com o seu trabalho. Por outro lado, tem-se Jean Remy Guimarães, que devido a sua expertise no IRD, conseguiu dar uma continuidade prática aos radioisótopos como objetos de pesquisa no IBCCF. O caso de Olaf Malm difere de ambos, pois, desde seu primeiro contato com o Laboratório de Radioisótopos, em 1982, o cientista manteve-se atuante no Instituto, sucedendo ao longo dos anos a linha iniciada com Eduardo Penna Franca e Wolfgang Christian Pfeiffer. Enquanto Lacerda migrou para o Departamento de Geoquímica da UFF e, posteriormente, para o LABOMAR da UFC, e Jean Remy teve seu período de trabalho fora da universidade, Olaf Malm sempre esteve no LREPF. Podemos considerar, nesse sentido, Malm como um dos principais representantes do laboratório.

Olaf Malm graduou-se em Ciências Biológicas em 1982 pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), tendo já durante a graduação experiências com estudos ecológicos. Apesar do treinamento em outros campos, o estudo ambiental acabou por capturar seu interesse. Já formado, Malm teve um primeiro contato com Wolfgang Christian Pfeiffer,

ainda em 1982, numa reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), ocorrida em Campinas-SP. A fala de Pfeiffer sobre o desastre ecológico do cádmio no rio Paraibuna, em Juiz de Fora-MG, motivou a aproximação entre os dois cientistas. “Naquele momento, vi a possibilidade de investigar questões ecológicas com uma acurada avaliação de contaminantes. Vim ao Rio de Janeiro e me inscrevi para o mestrado” (MALM, 2010, p. 87). Próximo ao ingresso de Malm no Laboratório de Radioisótopos, ainda em 1982, Pfeiffer havia conseguido para o laboratório um novo espectrômetro de absorção atômica com financiamento generoso do Banco do Brasil (FIPEC). Ao mesmo tempo, Lacerda concluía sua tese utilizando a análise de parâmetros críticos na Baía de Sepetiba. Esses elementos coincidem com a expansão do programa de pesquisa com metais pesados para outros corpos d’água do Rio de Janeiro, como o sistema Rio Paraíba do Sul-Rio Guandu, fato que envolveu diretamente a chegada ao grupo de Olaf Malm, e, também, de José Maurício Pena Azcue (PFEIFFER, 1994).

O trabalho de Malm e Pfeiffer no novo sistema hídrico foi bastante complexo devido à diferença em relação às experiências anteriores do laboratório. “Inicialmente, foram meses acertando e testando as metodologias de extração e técnicas analíticas, pois era a primeira inserção inicial do laboratório em grandes corpos d’água continentais” (MALM, 2010, p. 88). Já em 1985, ainda antes de defender sua dissertação, Malm apresentou alguns dos resultados das primeiras pesquisas no rio Paraíba do Sul na *V International Conference Heavy Metals in the Environmental*, em Atenas, na Grécia. Em 1986, defendeu a dissertação intitulada ‘Estudo da poluição ambiental por metais pesados no sistema Rio Paraíba do Sul-Rio Guandu, através da análise pelos parâmetros críticos’ (MALM, 1986).

De 1986 a 1989, várias publicações foram feitas pelo grupo, envolvendo principalmente os nomes de Wolfgang Pfeiffer, Olaf Malm, José Maurício Azcue e Marlene Fiszman. Os primeiros resultados das pesquisas nos rios Paraíba do Sul e Guandu identificaram como críticas em termos de níveis de contaminação as áreas de Volta Redonda, Barra Mansa e o reservatório de Santana. Os metais mais críticos analisados nos rios em questão foram o chumbo, o cobre, o zinco, o cromo e o ferro. Os trabalhos analisaram o sedimento e outros compartimentos, mas as partículas em suspensão na água foram consideradas o principal veículo de transporte para os metais nesse sistema (MALM et al, 1988). As maiores concentrações de metais dissolvidos na água ocorriam na região de Volta Redonda. Eles identificaram as plantas aquáticas mais relevantes para programas de monitoração local, por mostrarem concentração de metais de acordo com o padrão geral de distribuição no ambiente. Elas apresentaram níveis de contaminantes mais elevados quando

comparadas com plantas de ecossistemas não poluídos (PFEIFFER et al, 1986, p. 79; AZCUE et al, 1987).

O trabalho do grupo também analisou as concentrações de metais nas chamadas Estações de Tratamento de Águas (ETAs), as quais apresentaram níveis abaixo da concentração máxima permissível pela legislação brasileira. Mas recomendaram atenção para alguns metais que tinham características toxicológicas (AZCUE et al, 1988a; PFEIFFER, 1994).

Esses primeiros trabalhos nos rios Paraíba do Sul e Guandu identificaram diferenças significativas na atuação das ETAs das regiões (PFEIFFER, 1994, p. 19). No tocante à ictiofauna, apesar dos peixes apresentarem as maiores concentrações de metais pesados entre as amostras, apenas a análise de cromo indicou um nível acima do permitido pela lei. Esse dado não era tão preocupante pelo fato de o pescado da região ser pouco consumido. De modo geral, as primeiras pesquisas do grupo concluíam que o risco para verduras, leite e para o ser humano, elementos que participavam do ciclo dos metais pesados naquela região, era pouco significativo, não ultrapassando os limites de concentrações máximas permitidas (AZCUE et al, 1988b; PFEIFFER, 1994).

Apesar dos resultados parecerem, a princípio, não muito preocupantes, o investimento de estudos no sistema rio Paraíba do Sul-Rio Guandu justificava-se pelo papel no fornecimento de água potável para várias cidades do Rio de Janeiro. Em seu entorno, existia um enorme parque industrial, sobretudo com indústrias metalúrgicas, e, ao longo de seu curso, atividades agrícolas de alguma importância eram desenvolvidas. Esse ecossistema social e industrializado apresentava-se desta forma como importante modelo para medir o grau de impacto da poluição, em comparação com outros sistemas hídricos. Em uma publicação de 1989, por exemplo, o grupo do Instituto de Biofísica identificou três metais (Pb, Cu e Zn) como os mais críticos, dentre os oito descartados pelas indústrias da região. Chegou-se nessa conclusão pela metodologia de parâmetros críticos, trabalhada nesses rios sobretudo por Malm e Azcue, e, nesse caso, a partir de medições das concentrações de metais em sedimentos de fundo (MALM et al, 1989).

Além desses estudos, surgiu um novo programa de pesquisas para o Laboratório de Radioisótopos. Tendo entrado no doutorado no IBCCF em 1987, Olaf Malm partiu, no ano seguinte, para um estágio ‘sanduíche’ na Holanda. Nessa viagem, colaborou com os pesquisadores Wim Salomons, que também trabalhou com Drude de Lacerda, e Jan Japenga, respectivamente de Gröningen e Wageningen, resultando na aprovação de um projeto de pesquisa subsidiado pela Comunidade Europeia. Assim, em parceria também com o Institute

for Soil Fertility, da Holanda, o projeto “Estudo do destino de poluentes organoclorados em sistemas hídricos tropicais” foi constituído, sendo os rios Paraíba do Sul e Guandu o primeiro complexo a ser estudado (PFEIFFER, 1994). Dessa forma, os chamados micropoluentes orgânicos persistentes, como os organoclorados e os hidrocarbonetos poliaromáticos, passaram a ser uma nova linha do laboratório, que teria posteriormente o pesquisador João Paulo Machado Torres como coordenador (MALM, 2010, p. 88). Explorarei mais à frente, ainda neste texto, o trabalho de Torres.

Olaf Malm dedicou-se a estudar os rios fluminenses, mas, rapidamente, expandiu suas investigações para as águas amazônicas e o complexo conteúdo socioambiental formado pelo mercúrio, o garimpo e a saúde da população ribeirinha. De 1988 a 1991, o pesquisador desenvolveu sua tese de doutorado, intitulada ‘Estudo da contaminação ambiental e humana por Mercúrio na região garimpeira de ouro do Rio Madeira, Amazônia’ (MALM, 1991). Semelhante à sua dissertação de mestrado, esse trabalho seguia o curso dos programas de pesquisa que estavam sendo explorados a comando de Pfeiffer no LREPF. Como vimos anteriormente, Malm foi um dos pesquisadores do laboratório mais engajados com a questão do mercúrio na Amazônia, participando ativamente do desenvolvimento da retorta em parceria com o Banco Goldmine, e investindo numa linha de pesquisa mais voltada para os aspectos sanitários das contaminações por metais pesados. A pesquisa na Amazônia envolveu vários momentos, como estudos nas usinas de Tucuruí, Samuel e Balbina, e parceiros internacionais, como o National Institute for Minamata Disease, do Japão, as universidades de New York e Heidelberg (MALM, 2010, p. 88).

O primeiro artigo sobre o tema do mercúrio na Amazônia com a participação de Olaf Malm foi publicado em 1989 com Pfeiffer, Lacerda, entre outros. Apresentou as análises de concentrações de mercúrio feitas pelo grupo com amostras de água, sedimentos e peixes situados em áreas de garimpagem de ouro, concluindo, por exemplo, que nas partes comestíveis de peixes consumidas localmente, as concentrações superavam em quase cinco vezes o nível recomendado para o consumo humano pela legislação brasileira (PFEIFFER et al 1989, p. 233). No ano seguinte, o mesmo grupo publicou o texto ‘Mercúrio: contaminação em terras garimpeiras’, na revista de divulgação científica *Ciência Hoje*, apresentando os achados das pesquisas que estavam sendo desenvolvidas pelo laboratório já há alguns anos naquela região, desta vez para o público não-especializado (PFEIFFER et al, 1990). O foco na correlação entre a contaminação por mercúrio no pescado, os riscos para a saúde humana, e a comunicação com grupos fora da universidade foi constitutivo da experiência do Laboratório de Radioisótopos entre as décadas de 1980 e 1990 na Amazônia, e, em especial, na trajetória

profissional de Olaf Malm.

Malm prosseguiu nos estudos sobre o mesmo tema. Em 1995, em artigo publicado na *The Science of the Total Environment* em colaboração com pesquisadores japoneses, de Minamata, ele investigou mercúrio e metilmercúrio em peixes e cabelos humanos da bacia do rio Tapajós, a partir de análises feitas em laboratórios do Brasil e do Japão, identificando os peixes e grupos humanos mais expostos ao mercúrio (MALM et al, 1995a). No mesmo ano, ele publicou com Jean Remy Guimarães e Pfeiffer trabalho sobre a simplificação de uma técnica radioquímica usada para medir taxas líquidas de metilmercúrio em sistemas aquáticos de áreas de garimpo. Além da conexão entre Malm e o trabalho metodológico de Jean Remy Guimarães sobre padronização de técnicas para estudar o processo de metilação, os pesquisadores buscaram justificar a preocupação com o potencial impacto toxicológico das emissões de mercúrio na bacia amazônica (GUIMARÃES, MALM e PFEIFFER, 1995, p. 151). Ainda em 1995, outro artigo mais panorâmico apontava, a partir de amostras de ar e de urina humana, os trabalhadores de lojas de ouro como um grupo crítico para o risco com o mercúrio, “enquanto as comunidades ribeirinhas são o grupo de risco em relação ao metilmercúrio” (MALM et al, 1995b, p. 127).

Em 1997, trabalhos de Malm com colaborações da Universidade da Flórida, nos EUA, e do National Institute for Minamata Disease (NIMD), do Japão, continuavam relatando as análises feitas das concentrações de mercúrio em peixes, cabelo humano e urina ao longo das bacias do Madeira e Tapajós, além de investigar o metilmercúrio em amostras de cabelo de diferentes grupos de ribeirinhos da Amazônia (MALM et al, 1997; KEHRIG, MALM e AKAGI, 1997). Relacionado ao esforço de entender os riscos do mercúrio e do metilmercúrio às populações humanas, Malm também iniciou, em 1997, estudos em parceria com Claudia Ferreira Calasans, da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), utilizando a planta *Tillandsia usneoides*, da família das bromélias, para estudos sobre a contaminação atmosférica do mercúrio (CALASANS e MALM, 1997). No ano seguinte, Malm publicou com Wanderley Bastos e outros um estudo sobre a avaliação dessas plantas epífitas como biomonitores para mercúrio em centros urbanos da região amazônica (MALM et al, 1998). Esses trabalhos tinham o objetivo de driblar a tarefa complexa e custosa de avaliar o mercúrio no ar urbano. Desse modo, os pesquisadores realizaram experimentos transplantando as plantas para áreas urbanizadas, para medição, apontando as vantagens desse método em relação aos instrumentos mais tradicionais (MALM et al, 1998, p. 63). Após os testes, os pesquisadores concluíram sobre os fatores responsáveis pela dispersão atmosférica pelo mercúrio e fizeram recomendações práticas ligadas às formas de funcionamento das lojas de

ouro (MALM et al, 1998, p. 64).

Ainda em 1998, outros trabalhos sobre o metilmercúrio em peixes e amostras de cabelos humanos também foram publicados. Em um deles, em parceria com Hirokatsu Akagi, do NIMD, além dos pesquisadores do LREPF Helena Kehrig, Jean Remy e João Paulo Machado Torres, o grupo de Malm estudou amostras do reservatório hidrelétrico de Balbina, na Amazônia, região de intensa atividade pesqueira, utilizando novas técnicas de extração de material.²⁹⁸ Apesar de não se tratar de uma investigação sobre uma área de garimpo, o trabalho concluiu ser a atividade garimpeira “a principal fonte de mercúrio liberado no meio ambiente” (KEHRIG et al, 1998, p. 84). Nesse mesmo ano, Olaf Malm publicou o trabalho ‘Mineração de ouro como fonte de exposição ao mercúrio na Amazônia brasileira’, no qual traçou um panorama da questão do mercúrio e do garimpo, estabelecendo marcos relacionados à própria história da atuação do Laboratório de Radioisótopos sobre o tema. Mencionando a utilização da amálgama em processos de mineração há pelo menos 4.500 anos, e o período de 1550 a 1880 como importante na história da liberação de mercúrio no meio ambiente, Malm resume os últimos anos de trabalho do grupo do Instituto de Biofísica na Amazônia, correlacionando, a mineração de ouro com os altos níveis de exposição humana ao mercúrio: “Os resultados disponíveis documentam um impacto considerável nas concentrações ambientais de mercúrio e a ocorrência frequente de níveis de exposição humana que podem levar a efeitos adversos para a saúde” (MALM, 1998, p. 73).

Nesse mesmo contexto, como já abordado, grupos distintos de pesquisadores iniciavam outras abordagens para a questão do mercúrio na Amazônia, dedicadas em enxergar o problema a partir de outra escala. Elas acabaram por relativizar o impacto do garimpo (LECHLER et al, 2000). A controvérsia criou divisões no grupo em relação a seus parceiros internacionais, como relatado no depoimento de Jean Remy Guimarães, e acabou, de alguma forma, por ampliar a atuação de Malm, que passou a investir mais em pesquisas sobre outros organismos não-humanos e a redirecionar sua atividade de pesquisa no início dos anos 2000.

A partir disso, ele participou de programas como o PROMER (Programa Mercúrio), rede nacional criada em 2001 para monitoramento permanente dos níveis de mercúrio na Amazônia Legal e no Pantanal, que visava elucidar o ciclo biogeoquímico do mercúrio em ambientes aquáticos, “identificando fontes de emissão regionais e globais” (BARBOSA, JARDIM e MALM, 2001, p. 174), mas também publicou trabalhos sobre metilmercúrio e

²⁹⁸ Nesse trabalho os pesquisadores utilizaram um cromatógrafo gasoso (GC) com detector de captura de elétrons (ECD).

mercúrio em organismos estuarinos do Rio de Janeiro (KEHRIG et al, 2001), estudos sobre contaminação de peixes e suas implicações para outras espécies de vida silvestre pouco estudadas (URYU et al, 2001), e um trabalho sobre a distribuição do mercúrio e metilmercúrio em hamsters neonatos que haviam sido dosados com metilmercúrio durante a vida fetal (OLIVEIRA, MALM e GUIMARÃES, 2001). Ele manteve, portanto, o trabalho com mercúrio, garimpo e a região Amazônica, sempre demarcando o risco de contaminação humana, ao mesmo tempo em que buscou explorar outras vertentes desses mesmos trabalhos. A longo prazo, o trabalho contínuo de Malm, trouxe desdobramentos importantes, como o surgimento de pesquisas com cetáceos (KEHRIG et al, 2004), em colaboração com José Lailson Brito Junior, da UERJ, tornando-se essa uma outra linha de pesquisa do LREPF, até trabalhos mais inovadores, como a análise do nível de mercúrio em tecidos de ariranhas (*Pteronura brasiliensis*) da região do Rio Negro, no Pantanal (DIAS FONSECA, MALM e WALDEMARIN, 2005), e estudos da contaminação de mercúrio em pássaros, na região de Honório Gurgel, no Rio de Janeiro (IBCCF UFRJ, 2022)²⁹⁹.

Expor dessa forma alguns dos caminhos tomados por Malm, expressivos de uma parcela importante das atividades desenvolvidas no Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca, ilustra algumas transformações ocorridas no interior daquele coletivo. A trajetória científica de Malm, assim como as outras que comentarei a seguir, evidentemente não pode ser tratada em sua totalidade nesse texto. Apresentei aqui um pequeno recorte, mostrando como esse cientista explorou alguns temas que faziam parte do programa de pesquisa de Pfeiffer, mas que ainda não tinham sido investigados em profundidade, como o caso dos rios Paraíba do Sul e Guandu, a exposição humana ao mercúrio e metilmercúrio na Amazônia, e, posteriormente, o trabalho envolvendo outros animais em relação a esses poluentes. O cientista conseguiu, ao fim, conciliar de forma bastante peculiar saúde humana e outras dinâmicas ecológicas. Isso é nítido em seu currículo, no qual existem, num mesmo ano de trabalho, por exemplo, artigos sobre a avaliação cognitiva de crianças ribeirinhas expostas ao metilmercúrio (FONSECA, TORRES e MALM, 2007), e concentrações de cádmio no boto-franciscana (*Pontoporia blainvillei*) (DORNELES et al, 2007). Todos esses aspectos, por mais distantes que pareçam, ainda eram feitos dentro de um laboratório que tinha os radioisótopos no nome e na identidade. Essa identidade, entretanto, transformou-se

²⁹⁹ Na palestra de Malm mencionada no início deste subtópico, o cientista comenta sobre a tentativa de desenvolver um projeto de pesquisa com essa temática, impossibilitado devido a dificuldades envolvendo à exposição não ao mercúrio, mas à criminalidade da região de Honório Gurgel (IBCCF UFRJ, 2022). Malm comenta que um pesquisador desistiu de um possível projeto de doutorado sobre o tema devido a esses problemas.

grandemente e de forma progressiva.

Um aspecto não devidamente abordado até aqui refere-se à nucleação de grupos de pesquisa, guiada, dentre outras coisas, pela padronização de metodologias de laboratório. Um dos participantes do grupo cuja trajetória permite tratar desse tópico de forma bem ilustrativa é Wanderley Rodrigues Bastos, que também foi parte das grandes transformações ocorridas no Laboratório de Radioisótopos.

Nascido na cidade do Rio de Janeiro em 1959, Wanderley Rodrigues Bastos formou-se inicialmente como técnico em química, e aos dezoito anos, passou a estagiar no Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica/UFRJ:

Então comecei trabalhar cedo, família pobre, aquela coisa de trabalhar e estudar etc. e me encantei bastante com estudar poluentes. Na época, tinha a linha de pesquisa com traçadores radioativos trabalhando com radioisótopos. Aí eu conheço o Jean Remy, Luiz Drude de Lacerda, e tantos outros aí. E, em seguida, eu fui fazer biologia. Eu achei, bora... um aprendizado de técnico em química eu vi que a biologia poderia me ajudar um pouco. E aí, na mesma perspectiva, consegui na época ser contratado pela UFRJ.³⁰⁰

Assim, com uma entrada pela via da química, Bastos dividiu-se entre estudar biologia e atuar como técnico de laboratório, já contratado pela UFRJ. Em razão disso, optou por graduar-se no curso noturno de biologia da Fundação Técnico Educacional Souza Marques, no qual se formou em 1986. “Terminei o curso e depois continuei trabalhando. Aí, logo em seguida também, surge mais uma outra situação que hoje não tem mais, que era aquelas avaliações internas que você podia passar de nível médio, que era a minha situação naquele momento, para nível superior. E como eu já era biólogo, então eu rapidamente passei e continuei”³⁰¹. Apesar da oportunidade de progredir de carreira, através de um concurso interno da universidade, Bastos não quis sair do Laboratório de Radioisótopos, no qual já se encontrava muito integrado. “E, (...) com o nome do laboratório que se mantém até hoje como radioisótopos e tal, mas começou ali a despontar uma linha que me interessou ainda mais, que era de traçadores estáveis, comandada pelo professor Wolfgang Pfeiffer, que foi meu orientador e etc.”³⁰² A ligação de Wanderley Bastos com Pfeiffer foi marcante em sua trajetória. Em 2007, já como professor da UNIR, em Rondônia, ele batizou o laboratório que coordenava como Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer (LABIOGEOQ). A história desse laboratório também é um desdobramento direto do que

³⁰⁰ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³⁰¹ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³⁰² BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

venho narrando até aqui.

Wanderley Bastos participou ativamente, ainda como técnico, dos trabalhos iniciais sobre metais pesados do grupo. Contribuiu, por exemplo, com a tese de doutorado de Luiz Drude de Lacerda, realizada entre 1980 e 1983 em Sepetiba, fazendo todas as idas de campo com ele, com quem também aprendeu muito de biologia. Bastos acompanhou ainda todo o processo do início dos estudos na Amazônia com o mercúrio. É nesse ponto que sua trajetória toma contornos mais importantes para a história da expansão do Laboratório de Radioisótopos e de suas atividades. Em 1994, ano em que iniciou seu mestrado, realizado no LREPF sob orientação de Olaf Malm, foi inaugurado um laboratório de mercúrio na UNIR, posteriormente chamado de Laboratório de Geoquímica, a partir de uma colaboração com o Imperial College de Londres, apoio financeiro da Comunidade Europeia³⁰³ e apoio técnico do IBCCF e do Departamento de Geoquímica da UFF. O objetivo era expandir os estudos sobre a contaminação por mercúrio, sobretudo na bacia hidrográfica do Rio Madeira. Dentro do mesmo programa, além do laboratório de Porto Velho, como já mencionado anteriormente, outro laboratório também seria estruturado, na Fundação Esperança (FE), em Santarém-PA³⁰⁴.

Aí vem o Olaf, o professor Olaf que hoje é professor lá do grupo, vem e começa a fazer o mestrado, fez o doutorado. O Olaf vai para fora também fazer o sanduíche no doutorado. Com isso começa a fazer links com a União Europeia, que na época não era ainda a União Europeia, era comunidade Europeia. E aí, ele quando volta para o Brasil ele articula com o Wolfgang, que era o orientador dele, e aí eles conseguem aprovar um projeto gigante financiado pela União Europeia com participação de um monte de pesquisadores do Imperial College, da Universidade de Odense, na Dinamarca e tal. E aí qual era o objetivo maior desse projeto? Era de a gente estruturar laboratórios na Amazônia que pudessem estudar a questão do mercúrio. Então eles bancaram um recurso para montar três grandes laboratórios... Com habilidade ou com expertise para quantificar níveis de mercúrio. A ideia era que esses laboratórios ficassem aptos a esse tipo de análise, especificamente só mercúrio, para estudar o problema no Amazônia³⁰⁵.

O trabalho de mestrado de Wanderley Bastos teve um forte conteúdo técnico de química, e foi uma peça importante na constituição dos laboratórios na região amazônica. Intitulado ‘Métodos de digestão utilizando microondas para determinação automatizada de

³⁰³ O Projeto Mercúrio (Nº B75041/I/93/15) estudaria a contaminação por Hg pela mineração de ouro nas bacias dos rios Tapajós e Madeira, na Amazônia Brasileira, sendo uma das etapas a montagem dos laboratórios, e a outra a capacitação técnica dos pesquisadores locais (BASTOS, 1997).

³⁰⁴ Hoje em dia, esse laboratório faz parte de um campus da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

³⁰⁵ Neste trecho do depoimento, Bastos menciona que o projeto financiado pela União Europeia montaria três laboratórios, mas as referências de sua própria dissertação, de 1997, indicam apenas a criação de dois. BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Mercúrio em amostras ambientais e humanas: Implantação de laboratórios e avaliação da qualidade analítica' (BASTOS, 1997), a pesquisa de Bastos foi realizada num contexto no qual não se tinha o domínio completo de análise para mercúrio. Havia a necessidade de se padronizar métodos e sua formação como técnico em química foi fundamental para isso. A dissertação de Bastos foi um estudo ambiental e humano, no qual ele analisou amostras de água, sedimentos, peixe e amostras humanas, sobretudo cabelo e urina. “Então eu desenvolvi um método analítico para a quantificação de mercúrio nesses compartimentos, tanto para estudar o ambiente como para estudar a contaminação em humanos. Tanto é, que vários desses métodos até hoje são usados e são citados”³⁰⁶. A inovação do trabalho de Wanderley Bastos consistiu na utilização do micro-ondas nas preparações analíticas em laboratório. “Micro-ondas já existia para esquentar comida em casa”³⁰⁷, mas não era utilizado nas práticas experimentais do grupo.

Para poder analisar amostras, nesse período, era necessário fazer a sua solubilização, ou seja, dissolvê-las através da separação de moléculas. Com o método de Bastos utilizando micro-ondas, esse procedimento que podia levar até semanas com os métodos tradicionais, foi adiantado para vinte minutos.³⁰⁸ Apesar do nome e da analogia com o eletrodoméstico, o micro-ondas de Bastos só foi possível devido ao grande projeto para criação dos laboratórios na Amazônia. Essa conexão pode ser visualizada na apresentação da dissertação de mestrado: “Este trabalho teve como principal objetivo implantar laboratórios de ponta na determinação de Hg na Amazônia. Para isso, desenvolveu-se métodos de preparação de amostras ambientais e humanas utilizando-se de técnicas mais recentes” (BASTOS, 1997, p. ix). A história e os desdobramentos específicos da implantação dos laboratórios na UNIR e na FE, demandaria um estudo à parte, dado os interessantes arranjos envolvendo agências financiadoras internacionais, grandes instituições científicas e a formação de novos núcleos de pesquisa em regiões estratégicas e afastadas dos grandes centros urbanos. Para os propósitos deste trabalho, é importante destacar como a trajetória científica de Wanderley Rodrigues Bastos derivou dos desdobramentos do LREPF, que a partir de 1986 iniciou os trabalhos na Amazônia. Sua atuação foi imprescindível para o sucesso da montagem dos laboratórios amazônicos e a nucleação de novos grupos de cientistas e para o próprio desenvolvimento dos estudos com o mercúrio:

Todo mundo ganhou um micro-ondas desse que eu falei, ganhou

³⁰⁶ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³⁰⁷ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³⁰⁸ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

espectrômetro, um espectrofotômetro para determinação de mercúrio e mais os outros apetrechos de laboratório para preparar esse monte de amostra. E a gente treinou a garotada das universidades de lá de Santarém, na época a UFPA, e aqui em Porto Velho, da UNIR, da Federal de Rondônia. Eram universidades ainda muito... A UFPA, muito melhor estruturada, embora lá em Belém. Ali em Santarém era também muito deficiente. Tinha problema de energia. Essa região aqui sempre foi muito complicada. Aí no final de noventa... Isso a coisa foi decolando. Estudo, Amazônia. Amazônia é a palavra-chave. Muito tempo que a Amazônia é a palavra-chave em todos os aspectos³⁰⁹.

Outro resultado desses grandes investimentos foi o aumento na qualificação de pesquisadores, como no caso da UNIR. Ari Ott e Ene Glória, personagens que marcam o início dos trabalhos do LREPF na Amazônia, concluíram seus doutorados em decorrência da questão do mercúrio, sendo Ott o primeiro reitor doutor da UNIR. No final dos anos noventa, Wanderley Rodrigues Bastos consolidou, de certa forma, esse processo, ao mudar-se do Rio de Janeiro para Porto Velho, tornando-se professor da UNIR. Todo esse processo foi um desdobramento do projeto financiado pela União Europeia. Com a qualificação desses pesquisadores locais, Ene Glória, por exemplo, também se tornou reitor da UNIR, e a cooperação com a UFRJ se manteve. Entre 1998 e 1999, Wolfgang Pfeiffer e Ene Glória submeteram projeto de pesquisa ao CNPq com o objetivo de conferir autonomia ao que já estava estruturado em Rondônia. O projeto contemplaria também uma bolsa de pesquisador visitante, que foi dada a Wanderley Bastos. Como Bastos ainda era técnico contratado da UFRJ, foi necessário conseguir uma licença para que o cientista pudesse se mudar, a princípio temporariamente, para Rondônia:

Eu não vim para Amazônia com o objetivo de ficar, eu vim com o objetivo de voltar, mas aí como essa bolsa de pesquisador visitante ela era por até três anos, o Ene já era reitor ele tentou me convencer, e acabou conseguindo, deu ficar um pouco mais, só que eu tinha o desafio de conseguir a liberação na UFRJ³¹⁰.

Assim, Wanderley Bastos trabalhou como pesquisador visitante na UNIR de 1999 até 2002, inicialmente recebendo bolsa do CNPq. Em 2002, ele tornou-se finalmente professor da instituição, da qual posteriormente atingiu o cargo de Professor Titular. Desde 1999, Bastos coordena o laboratório criado em 1994 (a partir de 2007 rebatizado de Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer - LABIOGEOQ). Em 2000, esse laboratório foi ampliado para o estudo de outros contaminantes ambientais, além do mercúrio,

³⁰⁹ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³¹⁰ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

estabelecendo parcerias com instituições de Rondônia, como o Instituto de Criminalística de Rondônia, e universidades do Brasil todo, incluindo a própria UFRJ³¹¹. Atualmente, o laboratório mantém seu escopo de pesquisa, mas também se dedica ao estudo de poluentes inorgânicos e orgânicos, como o DDT.

Wanderley Bastos continuou trabalhando com o objetivo de “aumentar a malha de estudos aqui pela região para gente tentar avançar um pouco mais e, conseqüentemente, formar pessoas para formar massa crítica na região, esse era o objetivo principal”. Nesse processo, ele manteve a ponte com o Laboratório de Radioisótopos, dando base a um fluxo de estudantes e jovens pesquisadores. A própria trajetória científica individual de Bastos, para além de sua atuação como professor e orientador, reflete a continuidade dessas trocas entre Rio de Janeiro e Rondônia. No período que Bastos havia recentemente iniciado como pesquisador visitante na UNIR, entre 1999 e 2000, Luiz Drude de Lacerda incentivou-o a ingressar no doutorado. No depoimento de Bastos, o cientista relata que ficou entre o Departamento de Geoquímica da UFF, no qual trabalharia diretamente com Drude, e o LREPF. Acabou, ao fim, por fazer seu doutoramento de fato no Laboratório de Radioisótopos, sob orientação de Pfeiffer, de 2000 a 2004. “E aí fiz minha tese, cem por cento dela em Rondônia. E aí eu quis gerar um diagnóstico na bacia do Madeira todo. Eu montei três longas expedições. Três expedições de mais de vinte dias, cada uma, para fazer uma equipe monstruosa com barcos, aqueles barcos amazônicos muito legal³¹²”.

Nesse sentido, o doutorado de Bastos parece ter sido disputado entre Luiz Drude de Lacerda e Wolfgang Pfeiffer, ainda que todos trabalhassem de forma colaborativa. Nesse contexto, como vimos, já existiam vários grupos atuando na Amazônia, com equipes multidisciplinares e abordagens contrastantes, como no caso da ênfase ou não no garimpo como causa principal da contaminação por mercúrio, o foco no desmatamento, a saúde humana daquelas populações, dentre outros. Bastos menciona em seu depoimento o grupo de canadenses que trabalhava com Jean Remy; o grupo de geoquímica, com Pfeiffer e Drude de Lacerda; Malm estudando a bacia do Madeira; Wilson Jardim, da UFSCar; o estadunidense Bruce Forsberg, que trabalhou no INPA; outros grupos do INPA que estudavam a bacia do Rio Negro. Ele diz ainda como todos estavam focados no garimpo, seguindo as balizas da tese de Malm, mas que depois os estudos se desdobraram para os solos amazônicos³¹³.

³¹¹ A UENF (Universidade Estadual do Norte Fluminense), com seu Laboratório de Ciências Ambientais, também faz parte do processo de nucleação de grupos do LREPF, a partir da atuação de Wolfgang Pfeiffer.

³¹² BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CA AE: 47237621.3.0000.5241.

³¹³ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CA AE: 47237621.3.0000.5241.

Foi assim até que “começou-se a levantar a lebre”, nas palavras de Bastos, referindo-se à já mencionada controvérsia sobre o real impacto do garimpo como fonte da contaminação pelo mercúrio:

Começaram também a mostrar que “Opa, parece que está vindo... Tem um mercúrio aí de origem natural, de deposição ao longo da existência e deposição nessa região que, no momento que você retira a floresta, esse mercúrio acaba entrando no ecossistema aquático e tal e vai sofrendo os processos, e contaminando os peixes,” e por aí vai³¹⁴.

Como vimos, o problema maior estaria no desmatamento, que traria à tona o mercúrio depositado ao longo dos anos na região, o que não minimizava o papel do garimpo na liberação do metal no meio ambiente. Trabalhos com o de Bastos também exemplificam como existiam outros problemas, e, conseqüentemente, outras configurações de pesquisa dentro desse sistema experimental:

[...] e nessa época só se falava em garimpo. Quando eu começo a minha tese, no meu desenho amostral da minha tese era tanta informação que ainda não se tinha, e eram dúvidas da região que o meu objetivo não era saber a origem do mercúrio, o meu objetivo era tentar entender dentro dessa bacia quais eram os compartimentos que apresentavam níveis de mercúrio acima do que a legislação [permitia], e o quanto disso poderia estar chegando até a população. Então eu estava querendo entender a dinâmica biogeoquímica do mercúrio³¹⁵.

Nesse sentido, o trabalho de Bastos conectava abordagens mais biogeoquímicas, como os de Luiz Drude de Lacerda, com aqueles com foco maior na população humana da região:

Então eu fiz essa expedição em mil e cem quilômetros de rio. Eu coletei solo de vinte em vinte quilômetros, por isso que eu estou te falando que a gente fez... Isso foi solo, o sedimento do fundo do rio, coletei algumas plantas, aquelas plantas flutuantes, e muito peixe. Muito peixe, porque essa bacia aqui é extremamente... É a bacia mais, com maior diversidade de peixe do mundo, tem mais de mil espécies aqui na bacia do Madeira³¹⁶.

Uma vez que parecia não haver “humanos tão comedores de peixe como os humanos ribeirinhos isolados da Amazônia³¹⁷”, o objetivo principal da tese de doutorado de Bastos foi entender a dinâmica biogeoquímica do mercúrio nesses diversos compartimentos, inclusive na transferência do mercúrio do peixe para a população (BASTOS, 2004). Por ser um poluente global, apesar de não ser um elemento essencial para processos metabólicos, a OMS

³¹⁴ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³¹⁵ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³¹⁶ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³¹⁷ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

considera normal ou aceitável “um valor até sete partes por milhão³¹⁸” de mercúrio encontrado no cabelo humano. Em sua tese, Bastos chegou a encontrar valores altamente expressivos de 180 partes por milhão (ppm), e relatou várias comunidades com médias de 60 partes por milhão (ppm), ou seja, concentrações quase dez vezes maiores que as recomendadas pela OMS.

Atualmente, após mais de três décadas de pesquisas sobre mercúrio na Amazônia, o grupo de Rondônia, comandado por Bastos, ainda possui algumas perguntas não respondidas:

Será que de fato esse mercúrio não está causando efeito nessa população? Será? Porque a gente tem vários neurotoxicologistas que já estiveram por aqui e não conseguiram ver o que é a clássica doença de Minamata. Que é os sintomas que caracterizam a doença. Essa é a primeira coisa. Será que eles não viram por que ainda não conseguiram ir a testes mais apurados assim ou nós temos alguma coisa antagonista, alguma condição em termos de cultura alimentar que está preservando essa população? Eu acredito um pouco mais nisso, até porque a gente tem uma linha aí do selênio que é um elemento químico essencial e que, do ponto de vista bioquímico, ele reage antagonicamente a essa molécula de metilmercúrio. Então isso pode estar acontecendo. Mas assim, eles têm níveis de mercúrio que é pelo menos o dobro disso que eu te falei, e isso há vinte anos, está sempre na mesma ordem de grandeza que a gente está sempre monitorando. E, no entanto, a gente não vê nenhum, vamos dizer assim, resultado nessa população em termos de saúde que a gente possa atribuir ao mercúrio. Isso é uma interrogação que a gente precisa responder. Ela é positiva, porque graças a Deus a neurotoxicidade não se manifestou. Aquela coisa de quarenta anos atrás de que uma nova Minamata surgiu na Amazônia, graças a Deus caiu por terra, ninguém mais fala nisso. Então... E isso é uma verdade também lá na bacia do Tapajós, não é uma prerrogativa aqui da Bacia do Madeira³¹⁹.

Após toda essa exposição, podemos perceber como os radioisótopos parecem não ter acompanhado, ao menos na prática, os múltiplos desdobramentos das pesquisas de cientistas ligados ao LREPF. De fato, o trabalho de Wanderley Rodrigues Bastos, desde o seu início, foi muito pouco relacionado aos radioisótopos, dado que sua entrada no IBCCF, como estagiário, ainda em 1979, já ocorreu na transição para o estudo com metais pesados. Apesar disso, os radioisótopos parecem nunca ter deixado de marcar a identidade dos pesquisadores formados no laboratório:

O que eu aprendi de radioisótopos naquele laboratório é impressionante como hoje isso me ajuda muito nas aulas de biofísica. Eu dou muita ênfase a Biofísica das radiações que é radiações ionizantes e puxo muito para o lado dos traçadores radioativos. Uso muito o exemplo do Jean com mercúrio duzentos e três, que é muito específico para um estudo. Então assim, radioisótopos para mim é, embora não trabalhe com ele, mas está no meu

³¹⁸ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241

³¹⁹ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

sangue³²⁰.

No depoimento acima, é nítida a tentativa de correlacionar de alguma forma os radioisótopos com seu trabalho na Amazônia. Isso evidencia como esses elementos impactaram as transformações ocorridas na pesquisa biológica e ambiental realizada pelo grupo. Apesar de não integrarem diretamente sistemas experimentais específicos, os radioisótopos foram responsáveis por proporcionarem a criação do ambiente original, interdisciplinar e internacionalizado do Laboratório de Radioisótopos desde o seu início, e, devido a esse histórico, mantiveram-se importantes, de alguma forma, para a coesão do grupo. Dito isso, este é um momento pertinente deste texto para apresentar mais outros dois exemplos de pesquisadores do Laboratório de Radioisótopos que ilustram outros desdobramentos dos radioisótopos no grupo do Instituto de Biofísica, tanto no caso dos organoclorados, com João Paulo Machado Torres, quanto nos metais pesados e metaloides na Baía de Sepetiba, com Valéria Magalhães.

João Paulo Machado Torres nasceu em 1965, na cidade de Niterói-RJ. Seu pai, o médico e professor Mário Torres, era de Niterói, e sua mãe, de Manaus, no Amazonas, filha de um desembargador, e que migrou para Niterói para acompanhar os irmãos que foram estudar medicina. Vindo de uma família com condições socioeconômicas favoráveis, Torres desde criança teve contato com temas científicos através de seus pais, tendo acesso a assinatura de revistas como a *National Geographic*, e, ao mesmo tempo, devido à região de origem de sua mãe, conhecendo um Brasil pouco conhecido pela maioria. Em seu depoimento para esta tese, ele menciona que, na década de 1970, pessoas da sua ‘camada social’ já estavam inteiradas das questões ecológicas que se colocavam. Desde jovem, Torres foi enveredando para as ciências. Relata que, na adolescência, sua mãe se apaixonou pelo tema dos neutrinos, o que também acabou o influenciando. Torres era tão engajado a ponto de entrar para a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) ainda durante o segundo grau. João Paulo optou por seguir os passos de seu pai, ingressando na faculdade de medicina. Depois de concluir o ciclo básico das disciplinas biomédicas e estagiar em laboratório e hospital, desistiu do curso e optou por cursar Ciências Biológicas na UFRJ, onde adentrou em 1985. Durante a nova graduação, estagiou na Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/Fiocruz) com Fernando Dias de Ávila Pires, estudando ecologia sob uma perspectiva médica.

³²⁰ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

A outra parte de sua formação foi preenchida por trabalhos já no Laboratório de Radioisótopos. Para licenciar-se em biologia, em 1989, e graduar-se em biologia com habilitação em ecologia, em 1990, Torres estudou, com Pfeiffer, respectivamente o tema dos metais pesados em amostras biológicas em geral, e metais pesados em peixes da bacia do Rio Paraíba do Sul. Com isso, emendou um mestrado também pelo Instituto de Biofísica, sob orientação de Pfeiffer, em que estudou a ‘Ocorrência e distribuição de metais pesados no Rio Paraibuna em Juiz de Fora, MG’, trabalho defendido em 1992. Assim, desde o início de sua presença no Laboratório de Radioisótopos, Torres fez parte da linha de pesquisa com metais pesados, na leva de jovens biólogos que começaram a adentrar no LREPF ainda no início dos anos 1980. Seu contato prático com os radioisótopos foi, desta forma, semelhante ao de Wanderley Bastos: “Aí os traçadores radioativos passaram a ser apenas as questões de ensinar ou de estudar para poder dar aula e acompanhar o desenvolvimento, principalmente, do que a gente chamava na época o uso do Radioisótopo em Medicina e Biologia³²¹”. Apesar disso, o próprio cientista demarca o papel não apenas didático ou acessório dos radioisótopos, mas também a sua relação direta com a emergência dos trabalhos sobre metais pesados, e, conseqüentemente, com a formação de uma ecologia de ecossistemas no Brasil:

E aí, por que os radioisótopos eram importantes no Instituto de Biofísica na virada dos oitenta para o noventa? Porque eles adaptaram a metodologia dos radioisótopos, que foi usada no inventário de Angra dos Reis, para a poluição convencional por metais. Então eu meio que vivi um tempo onde muitos estudos eram feitos, e aliás, encomendados pela Eletronuclear ou pelas grandes companhias siderúrgicas. Que acabou levando a gente a constituir o que o professor Luiz Drude de Lacerda, que também é uma referência para mim, falava “olha, esses caras inventaram a ecologia de ecossistemas sem saber”³²².

É nesse sentido que, apesar de um certo distanciamento do trabalho direto com os radioisótopos por parte das novas gerações de pesquisadores do LREPF, existe uma continuidade da influência deles em uma série de atividades do grupo. No trabalho de graduação, no qual avaliou metais pesados em peixes do rio Paraíba do Sul, Torres foi bolsista da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Porém, seu trabalho não envolvia radiação. Este é um exemplo de como os radioisótopos estavam de alguma forma inseridos nas trajetórias científicas mais diversas.

Seu trabalho de mestrado, como já citado acima, focou em corpos hídricos distintos daqueles comumente estudados pelo grupo: o rio Paraibuna e o córrego das Três Pontes,

³²¹ TORRES, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³²² TORRES, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

ambos situados no município de Juiz de Fora, em Minas Gerais. A justificativa de seu trabalho estava na sabida condição crítica da região, afetada pela contaminação por metais pesados oriundos de atividades de metalurgia não ferrosa.

Como área-controle, Torres analisou amostras diversas em regiões do rio Paraíba do Sul sem a presença de indústrias. Os resultados indicaram intensa contaminação por cádmio e zinco dos sedimentos de fundo de todo o trecho do rio Paraíba à jusante do córrego das Três Pontes. A presença desses metais na coluna d'água era forte apenas nas áreas mais próximas da fonte de contaminantes. Em se tratando dos resultados para peixes e rãs, não foram encontrados, em excesso, metais de risco à saúde humana nas partes comestíveis desses animais. A análise de solos agricultáveis identificou a presença de cádmio em concentrações superiores àquelas então consideradas seguras, mas apenas hortaliças como o repolho e a couve possuíam níveis próximos daqueles preocupantes para a saúde humana (TORRES, 1992, p. v). O objetivo principal do trabalho de Torres foi aprofundar o que se conhecia a respeito do impacto ambiental causado pela indústria beneficiadora de minério de zinco na região estudada, e, com isso, fornecer subsídios técnicos para que os órgãos responsáveis do governo pudessem agir e controlar a situação.

Apesar de não se tratar de uma região priorizada pelo grupo do Instituto de Biofísica, como era o caso das baías de Guanabara, Sepetiba ou da região de Angra dos Reis, a pesquisa de mestrado de Torres encaixou-se perfeitamente no programa de estudos com metais pesados. Sua tese de doutorado, por outro lado, marcou alguns dos novos rumos tomados pelo grupo do LREPF. Desenvolvida entre 1994 e 1998, e intitulada 'Ocorrência de micropoluentes orgânicos (organoclorados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) em sedimentos fluviais e solos tropicais', sob orientação de Olaf Malm, a tese de Torres, semelhante ao caso de Wanderley Bastos, foi também resultado direto de um grande projeto de cooperação científica internacional financiado pela Comunidade Europeia, com os holandeses. A parceria, estabelecida inicialmente por intermédio de Olaf Malm, com o Instituto de Agrobiologia do Ministério da Agricultura da Holanda, permitiu a montagem de um laboratório especializado na pesquisa com micropoluentes orgânicos em amostras ambientais dentro do IBCCF (TORRES, 1998).

O projeto de pesquisa buscava mapear a origem de alguns compostos, em especial os hidrocarbonetos. Para tanto, inicialmente usavam métodos cromatográficos com radiação ultravioleta, e depois passaram a trabalhar com cromatografia líquida e detecção de fluorescência, a partir de um detector de fonte selada com o radioisótopo níquel-63. Torres relata ter feito um estágio de bolsa 'sanduíche' nas instituições holandesas que participavam

do projeto, em Gröningen e Wageningen, mas menciona também que, no IBCCF, já se tinham as condições necessárias para a realização das análises, seja através da adaptação de técnicas radioativas ou da colaboração com outras instituições brasileiras. Muitos ensaios que depois eram utilizados para calcular as meias-vidas dos compostos poluentes trabalhados por Torres eram feitos, por exemplo, em parceria com o Centro de Radioisótopos do Instituto Biológico de São Paulo:

Então ali a gente aprendia certas coisas para melhorar o que a gente fazia no Brasil, mas o Brasil fazia tudo. A gente tinha o cromatógrafo com o níquel 63. A gente tinha as estruturas de extração feitas em, como se fosse uma readaptação de um laboratório que tinha sido voltado para radônio, que a gente ocupou o espaço, que não tinha mais a questão do radônio, e construiu uma pequena, uma capela de exaustão para fazer os extratos. Mas ao mesmo tempo eu dependia dos ensaios, principalmente com o DDT marcado com carbono 14, mas que era feito em São Paulo independentemente, mas a gente conhecia a galera por conta dos cursos da Agência de Energia Atômica. Então valores que a radioecologia nos diziam para meia-vida, depois a gente usava aqui na modelagem, por exemplo da meia-vida do DDT na área principal que a gente estudou, que foi o Pau da Fome, aqui por causa da Leishmaniose, e o Rio Tapajós, por causa do DDT da Malária. Enquanto um grupo ia estudar mercúrio com os radioisótopos para as incubações da metilação do mercúrio, porque a hora que o mercúrio fica mil vezes mais tóxico, o grupo também coletava para os micropoluentes que deram origem a esta tese [...]³²³.

Nesta tese, infelizmente não será possível dar conta da história do Centro de Radioisótopos do Instituto Biológico de São Paulo (IB-SP). Em 1974, um programa de cooperação entre o governo do estado de São Paulo, a CNEN, a AIEA e a FAO/ONU, com o apoio também do CENA/Esalq-USP, iniciou a implementação de um Centro de Radioisótopos no IB-SP. O objetivo do programa era, sobretudo, desenvolver estudos com elementos radiomarcados para o trabalho com resíduos de pesticidas em produtos agrícolas. A ênfase nos problemas relacionados com os chamados defensivos agrícolas, ou agrotóxicos, foi a prioridade do programa. É nesse sentido que o Centro de Radioisótopos está relacionado com o projeto de pesquisa do qual João Paulo Machado Torres e outros pesquisadores do IBCCF faziam parte, já na década de 1990. Em sua tese de doutorado, Torres estudou as áreas da bacia dos rios Paraíba do Sul e Guandu. Ao longo do trabalho, o cientista determinou concentrações de inseticidas organoclorados, as bifenilas policloradas (PCBs) e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), em sedimentos de fundo de várias ETAs da região. A pesquisa de Torres concluiu que, ao menos naquele momento, os níveis de

³²³ TORRES, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

pesticidas eram baixos (TORRES, 1998, p. v).

É possível perceber como existia, no caso dos trabalhos com os organoclorados, uma grande circulação de técnicas, que caminhavam entre os radioisótopos (para alguns ensaios, marcações, ou como componentes de certos instrumentos científicos), ainda utilizados, a metodologia adaptada dos metais pesados, e a nova diversidade de compostos poluentes a ser estudada. Apesar de uma distância cada vez maior da centralidade dos radioisótopos para os novos sistemas experimentais constituídos no LREPF, ainda no final da década de 1990, é possível identificar alguns de seus rastros nessas novas dinâmicas de pesquisa. O que não parece ocorrer atualmente: “São as questões ecológicas da dinâmica da floresta que nos interessa no momento atual. Nós não precisamos mais dos radioisótopos, como eu falei, porque hoje em dia a gente tem a espectrometria de massa fazendo traçadores de isótopos de carbono, nitrogênio, que são marcadores da cadeia alimentar”³²⁴.

Por fim, mencionarei agora um último exemplo de trajetória científica ligada à história do Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca. Abordarei a seguir, como venho fazendo, alguns aspectos do trabalho de Valéria Freitas de Magalhães, outro caso de uma bióloga que se inseriu ainda na década de 1980 no LREPF, foi orientada por Wolfgang Pfeiffer, e desenvolveu trabalhos com metais pesados, mas também com metaloides como o arsênio, estabelecendo, novamente, outras possibilidades para a pesquisa naquele laboratório. Nascida no ano de 1965 na cidade de Belo Horizonte-MG, Valéria Freitas de Magalhães mudou-se para o Rio de Janeiro em 1969 com seus pais, um engenheiro e uma pedagoga, onde fez toda a sua formação escolar. Antes de iniciar sua graduação em ciências biológicas na Universidade Santa Úrsula (USU), em 1982, Magalhães teve uma rápida passagem pelo curso de arquitetura. De acordo com o depoimento de Valéria Magalhães, a USU, instituição católica criada em 1939 e que era comandada por uma congregação de madres ursulinas, possuía uma ênfase forte em seu curso de biologia. Inclusive, a madre superiora da instituição possuía formação em História Natural. Além disso, muitos dos pesquisadores do Instituto Oswaldo Cruz (IOC) que, durante a ditadura, em 1970, foram compulsoriamente aposentados, no que ficou conhecido como Massacre de Manginhos³²⁵, passaram a dar aula na USU.

³²⁴ TORRES, entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³²⁵ Mais ou menos um mês antes do decreto de criação da Fiocruz, especificamente no dia 01/04/1970, oito pesquisadores do IOC foram cassados pelo regime militar. Dois dias depois, outros dois pesquisadores também foram compulsoriamente aposentados pela ditadura. Foram eles: Haity Moussatché, Herman Lent, Moacyr Vaz de Andrade, Augusto Cid de Mello Perissé, Hugo de Souza Lopes, Sebastião José de Oliveira, Fernando Braga Ubatuba, Tito Arcoverde Cavalcanti de Albuquerque, Masao Goto e Domingos Arthur Machado Filho. A reintegração desses cientistas cassados à Fiocruz ocorreu apenas em 1986, com o processo de redemocratização.

Quando Magalhães fez sua graduação, vários desses pesquisadores ainda eram professores da instituição, como Hugo de Souza Lopes, que dava aulas de entomologia, Domingos Arthur Machado Filho, que ministrava aulas de protozoologia, e Herman Lent, que era professor de helmintologia.

Procurando estágios em diferentes instituições Valéria Magalhães, ainda durante a graduação, estagiou por dois meses, no período de férias, no Laboratório de Radioecologia de Furnas. Pouco tempo depois, em 1985, esse laboratório, foi completamente destruído por uma forte tempestade que atingiu Angra dos Reis. A tromba d'água chegou a matar cinco pessoas e deixar 300 desabrigadas, além de destruir o laboratório, que contava com equipamentos avaliados em 2 milhões de dólares. Nos jornais, as notícias apontavam o prejuízo financeiro da perda do laboratório para Furnas, mas mencionavam que o acidente não acarretaria problemas à população. “Ele era utilizado para o controle ambiental da CNAAA e media nas algas, peixes, sedimentos, plantas e outros elementos os efeitos residuais dos despejos da usina” (TROMBA D'ÁGUA..., 1985, p. 13). Valéria Magalhães também estagiou na UFRJ, onde fez iniciação científica estudando macroalgas, sob orientação de Gilberto José Pereira Mitchell, no Laboratório Integrado de Ficologia do Instituto de Biologia da UFRJ. Naquela ocasião, ela estabeleceu um contato próximo com a professora Yocie Yoneshigue-Valentin, pesquisadora do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), instituto ligado à Marinha do Brasil e situado em Arraial do Cabo-RJ. Foi através de Yocie Valentin que a jovem pesquisadora foi incentivada a ingressar no mestrado. Formando-se em 1986, no ano seguinte Magalhães iniciou sua dissertação de mestrado no curso de Biociências Nucleares da UERJ, criado por Roberto Alcântara Gomes no final da década de 1970:

e lá era assim, era bem diferente, a gente fazia um... você não precisava entrar com orientação nem nada, né. Aí a Yocie é que falou “vai procurar o professor Wolfgang Pfeiffer lá do Instituto de Biofísica”, e foi aí que eu vim. Depois de já ter uma carga bastante grande de... de... de... como se diz... informação sobre radionuclídeos, radioisótopos, que eu não tive nada disso na faculdade. E quem nos deu aula foram professores lá do IRD, né, do Instituto de Radioproteção e Dosimetria... então assim... eram físicos que nos davam aula. Então era assim... foi muito difícil, muito difícil, mas assim...³²⁶

Embora a cientista tivesse uma primeira experiência num laboratório de radioecologia, ligado a uma usina nuclear, como podemos perceber, seu interesse inicial residia mesmo no estudo das macroalgas e nas dinâmicas ambientais relacionadas a elas. Foi nesse sentido que Magalhães buscou apoio em Pfeiffer, dado que o curso de Biociências Nucleares possuía uma

³²⁶ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAEE: 47237621.3.0000.5241.

ênfase maior em radiação, sobretudo em estudos radiobiológicos, como vimos no capítulo 2 desta tese. Mesmo sendo aluna da UERJ, Valéria Magalhães foi orientada por Pfeiffer, do LREPF-UFRJ, e teve como coorientador Jean Remy, que nessa época era pesquisador do IRD. Assim, a cientista desenvolveu em sua dissertação um trabalho envolvendo tanto os radioisótopos quanto as macroalgas, temas bastante próximos a dissertação de Jean Remy (GUIMARÃES, 1982), mas também os metais pesados, tema de grande interesse para Pfeiffer. Em 1991, Valéria Magalhães defendeu seu mestrado, intitulado ‘Estudo da incorporação de metais pesados em uma espécie de alga marinha (*Padina gymnospora*) da Baía de Sepetiba através da utilização de traçadores radioativos’ (MAGALHÃES, 1991). Durante o mestrado, a cientista foi bolsista da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN):

E assim a gente fez a minha dissertação de mestrado, toda na parte de traçador radioativo. Com macroalgas e poluentes, né. Então assim, eu tinha, na verdade né, escolhi os três poluentes mais críticos da Baía de Sepetiba, uma macroalga que era muito comum na época. Então fazia as coletas dessa macroalga, colocava num... num aquário junto com esses radionuclídeos, que era o zinco, o chumbo e o cromo, e aí via aonde eles iam parar. Se paravam dentro da alga, ou se paravam... não paravam dentro da alga. Então fazia uma cinética né. Naquela época era... não tinham tantas tecnologias avançadas pra gente fazer, mas usava, enfim, o contador gama, então eu aprendi muita coisa em relação a isso...e... dava aula prática de metodologia de radioisótopos aqui... né... que o Wolf dava as aulas teóricas e eu dava as aulas práticas e era uma delícia, adorava³²⁷.

A escolha para trabalhar com algas deu-se pela familiaridade de Valéria Magalhães com esses organismos desde a sua iniciação científica. Sua dissertação, nesse sentido, seguiu os parâmetros críticos estabelecidos pelo trabalho de Luiz Drude de Lacerda para a Baía de Sepetiba em sua tese (1983), mas também trouxe para o esquema a ser aplicado a abordagem com as algas:

Aí tinha, é... o material particulado em suspensão, que é a parte abiótica mais crítica... e os moluscos, que eram os animais mais críticos, porque eles absorviam todos esses metais né [...] Na verdade, assim... a gente usou... quando a gente trabalhava na Baía de Sepetiba, a gente pegava essas informações, né. Então, assim... Tanto é que eu trabalhei com algas, mas trabalhei com cromo, chumbo e zinco. Né, que eu peguei e puxei a informação dele, então... essas informações que são importantes né³²⁸.

No desenvolvimento de seu mestrado, as idas a campo em Sepetiba eram geralmente

³²⁷ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³²⁸ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

bastante esporádicas, dado que os metais são elementos estáveis. Coletas de algas, água e outras amostras eram feitas, entretanto, geralmente na companhia de Cláudia Ferreira Calasans, orientanda de Olaf Malm, Dario Pires de Carvalho, Carlos Eduardo de Rezende e, eventualmente, seu orientador, Wolfgang Pfeiffer. O acesso relativamente fácil às coletas foi um aspecto importante no trabalho em Sepetiba. Apesar disso, a principal justificativa da manutenção dos trabalhos na região, ainda em meados da década de 1990, era a grande quantidade de rejeitos que aqueles corpos d'água recebiam dos parques industriais da região:

Então era, não só rejeito industrial, rejeito orgânico, então ela tem de um tudo lá né... Então, ela... tem rios importantes que desaguam na Baía de Sepetiba que são rios extremamente poluídos né, como o Guandu. Um deles é o Guandu, né... mas tem outros, e... e... tinha na época a Ingá, que é uma indústria lá na Ilha da Madeira, né, que era a principal responsável pela quantidade de zinco e cádmio que tinha na Baía de Sepetiba, né. E, é dela que vinha o zinco, o cádmio, o arsênio, o cromo vinha do... do rio que passa pela Casa da Moeda... então assim... tinha várias coisas, então...³²⁹

No doutorado, desenvolvido entre 1991 e 1996, também sob orientação de Pfeiffer, porém dessa vez já pelo IBCCF-UFRJ, ou seja, vinculada como aluna ao LREPF, Valéria Magalhães trabalhou com a ‘Padronização para medidas de arsênio em amostras ambientais: o caso da Baía de Sepetiba, RJ’ (MAGALHÃES, 1996). O arsênio também era um poluente despejado pela indústria Ingá em Sepetiba, com a diferença de ser um metaloide, e não um metal pesado, ou seja, possuía características intermediárias entre os metais e os não-metais. Magalhães visava padronizar uma nova técnica de análise para o arsênio, ainda inexistente. Em sua fábrica, a Ingá utilizava óxido de arsênio em uma das reações necessárias para a formação de lingotes de zinco, e muitos dos rejeitos desse processo poderiam ser encontrados nos efluentes da indústria. O arsênio também era utilizado no processo de produção química, para purificação do minério. Diferentemente de seu mestrado, em sua pesquisa de doutorado Magalhães não trabalhou com nenhum organismo daquele ecossistema, mas apenas com partes abióticas, como o sedimento particulado e as águas, buscando seguir a trajetória desses elementos (MAGALHÃES, 1996). Os resultados da pesquisa de Magalhães indicaram níveis de arsênio bastante elevados (de até 360mg kg⁻¹), acima dos níveis naturais (10mg kg⁻¹). “Estes resultados indicam remobilização de arsênio em direção à Baía de Sepetiba. A alta disponibilidade deste metaloide no ecossistema pode causar danos à biota local e provavelmente também à população local” (MAGALHÃES e PFEIFFER, 1995, p. 175).

De acordo com o depoimento de Valéria Magalhães, os trabalhos desenvolvidos pelo

³²⁹ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Laboratório de Radioisótopos na Baía de Sepetiba não tiveram repercussão midiática, diferentemente do caso do mercúrio na Amazônia. É possível, no entanto, encontrar entre a documentação de Wolfgang Pfeiffer analisada nesta tese, processos iniciados no início de 1996 envolvendo diferentes autoridades políticas demandando a cooperação do LREPF para o estabelecimento de análises ambientais na Baía de Sepetiba. Em 13 de fevereiro de 1996, chuvas fortes acabaram inundando um dique da Companhia Mercantil e Industrial Ingá, em Itaguaí-RJ, provocando o vazamento de pelo menos 50 milhões de litros d'água e lama contaminados com metais pesados na Baía de Sepetiba. O vazamento tóxico foi tratado pela FEEMA, que em notícia de 25 de fevereiro não descartava uma interdição à Ingá caso fosse comprovado um alto grau de contaminação (FEEMA..., 1996, p. 30). O secretário municipal de Meio Ambiente da cidade de Itaguaí, Ademar Quintela, afirmou ao *Jornal do Brasil* que caso reformas para a sustentação do dique não fossem realizadas, a prefeitura de Itaguaí interditaria a indústria, que já estava solicitando a liberação de uso de um outro terreno para a construção de um aterro sanitário.

Dois dias depois da notícia mencionada, Wolfgang Pfeiffer, enquanto chefe do LREPF, recebeu uma correspondência do secretário de governo da prefeitura de Itaguaí, Osvaldo Agostinho Novo, solicitando em nome do prefeito Benedito Amorim a colaboração do laboratório³³⁰.

A amostragem, tanto em termos dos itens coletados, quanto a quantidade, foi elaborada pela própria prefeitura, que mencionou também que as coletas tiveram participação de pessoas da comunidade local e técnicos com experiência em monitoramento ambiental ligados a ONGs. A carta também mencionou o apoio da Comissão Permanente de Meio Ambiente da Assembleia Legislativa do Rio de Janeiro (ALERJ), e frisava que, mesmo já existindo um histórico de trabalhos do LREPF na região, as análises solicitadas seriam fundamentais para que a prefeitura de Itaguaí pudesse “tomar as providências legais para evitar que em um futuro próximo os danos se tornem irreversíveis”³³¹. No mesmo dia, uma outra correspondência, dessa vez da comissão mencionada da ALERJ, assinada pelo deputado Carlos Minc, pelo prefeito de Itaguaí e pelo presidente da Associação Defensores da Terra, reforçava a solicitação enviada à Pfeiffer. “O objetivo deste trabalho é o de detectar agressões de metais pesados ao ecossistema e de fundamentar medidas e providências para

³³⁰ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

³³¹ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

descontaminá-lo e restaurá-lo”³³².

No dia 3 de março de 1996, Pfeiffer respondeu às solicitações mencionando que o Laboratório de Radioisótopos iria montar uma força-tarefa para colaborar com a situação na Baía de Sepetiba. “Todas as demais atividades do laboratório foram suspensas, dando prioridade máxima ao assunto em pauta”³³³. No dia 8 de março Pfeiffer retornou ao deputado Carlos Minc com o resultado das primeiras amostras, para zinco e cádmio, com uma nota explicativa³³⁴. Ele confirmou o que já era sabido desde 1983, ou seja, que os níveis de metais eram de fato superiores aos valores permitidos pela legislação vigente (Ministério da Saúde, 1977), a partir da tabela de Concentrações Máximas Permissíveis para consumo humano, e ponderou que os metais deveriam ser analisados em suas dinâmicas no ecossistema, onde atuavam em sinergia com várias atividades que degradavam o ambiente, como lançamento de esgoto e efluentes industriais, aterros clandestinos e destruição dos manguezais, todos eles contribuindo para a destruição da fauna e flora marinhas³³⁵.

Os resultados da análise dos sedimentos também foram enviados aos deputados da Comissão de Meio Ambiente da ALERJ. Poucos dias depois, em 24 de março de 1996, um informe do *Jornal do Brasil* noticiou que a presença dos metais era muito maior que o normal admitido devido à dragagem de areia e poluição com lixo químico (AREIA..., 1996, p. 6).

Em decorrência dessa notícia, em 22 de maio, o Ministério Público Federal solicitou a Pfeiffer a cópia integral dos resultados das análises das amostras retiradas da Baía de Sepetiba. Pfeiffer situou o procurador a respeito do trabalho que estava sendo feito e informou que a nota publicada no *Jornal do Brasil* não era de autoria dos pesquisadores do LREPF, “contendo inclusive imperfeições.”³³⁶

Após o episódio do vazamento da Ingá na Baía de Sepetiba, o LREPF recebeu várias outras solicitações, como pedido de 1996 da Comissão de Defesa do Meio Ambiente da ALERJ, solicitando levantamento de dados a respeito da situação do abastecimento de água

³³² Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

³³³ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

³³⁴ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

³³⁵ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

³³⁶ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

potável no estado do Rio de Janeiro.³³⁷ No ano seguinte, surgiram pedidos para pesquisar sobre possíveis danos ambientais ocasionados pela ampliação do porto de Sepetiba e sobre a situação do rio Cabuçu-Piraquê. Neste caso, Pfeiffer respondeu que sua equipe “não trabalha nas Bacias Hidrográficas aferentes à Baía de Sepetiba, mas se restringe ao espelho de água da mesma”, não possuindo, dessa forma, os dados demandados. Em 31 de março de 2000, veio novo pedido para auxiliar “na avaliação das condições ambientais das águas e lodo do fundo da Baía de Guanabara com vistas a averiguar os impactos do óleo derramado por duto da Petrobrás, em 18 de janeiro de 2000³³⁸”.

Com esses exemplos, podemos verificar que os trabalhos na Baía de Sepetiba tiveram repercussão midiática e política. Entretanto, as trocas entre entidades públicas e o LREPF possuíram certas especificidades, como a necessidade de uma resposta rápida e pragmática, uma leitura simplista de causa e efeito, e muitas vezes a dificuldade, por parte das autoridades, em compreender os próprios limites de atuação do laboratório chefiado por Pfeiffer. No contexto do vazamento da Ingá, em 1996, Valéria Magalhães concluía sua tese de doutorado estabelecendo uma nova técnica de análise de poluentes, como o arsênio. O exemplo da trajetória científica de Valéria Magalhães, em contraste com o que foi exposto acima, mostra como novos objetos científicos ainda surgiam, em meio a problemas de ordem socioambiental, ampliando mais as linhas de pesquisa do laboratório, e, ao mesmo tempo, se distanciando da lógica inicial de buscar a origem do problema em uma única fonte industrial, medindo sua carga e descrevendo o efeito. Após seu doutorado, por exemplo, Valéria Magalhães passou a trabalhar com a pesquisadora Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo no Núcleo de Pesquisas em Produtos Naturais (hoje Instituto de Pesquisas em Produtos Naturais – IPPN/UFRJ), e depois voltou ao IBCCF, quando Azevedo foi transferida. Em 2002, Valéria Magalhães passou no concurso para professora no IBCCF, onde se encontra atualmente. Nesse contexto de pós-doutorado e ingresso na carreira profissional, Valéria Magalhães passou a trabalhar com cianobactérias, incluindo também a região da Baía de Sepetiba. Em 2003, já vinculada ao Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias (LETC), do IBCCF, Valéria Magalhães, juntamente com Sandra Azevedo e outros autores, publicou um artigo sobre as microcistinas, hepatotoxinas de cianobactérias, e a sua bioacumulação em peixes e crustáceos da Baía de Sepetiba:

³³⁷ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

³³⁸ Correspondências–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

Aí a gente fez todo esse levantamento dessas microalgas lá na Baía de Sepetiba, parte de toxicidade, aí a gente coletou essas algas, a gente coletou... no final lá em Sepetiba mesmo né, o camarão, siri, então... a gente viu que esses organismos já estavam contaminados com essas toxinas de cianobactérias. Então assim, eu fui deixando a Baía de Sepetiba devagarzinho...³³⁹

Esses trabalhos atacavam problemas ainda não abordados por pesquisadores do IBCCF, especificamente na Baía de Sepetiba, mas acompanhavam as mudanças de abordagem de problemas ambientais, complexificando a relação entre fonte, carga e efeito, e trazendo novos agentes para o conhecimento do ecossistema (MAGALHÃES et al, 2003, p. 289).

Valéria Magalhães incorporou, desde sua tese de doutorado, novos elementos aos sistemas experimentais dos metais pesados, estudando metaloides e, depois, cianobactérias e suas toxinas, todos potenciais contaminantes do mesmo corpo d'água. Apesar de tamanha diversidade de temas e linhas de pesquisa, de acordo com o depoimento da cientista, era o metal que unia as atividades do grupo:

Então, assim, eu por exemplo nunca fui à Rondônia, nunca fui à Amazônia com eles né, porque minha área sempre foi aqui na Baía de Sepetiba. [...] Mas o que era o comum, era o metal pesado, junto com o mercúrio [...] A gente na época só tinha absorção atômica. Era muito doido, porque aí era assim... com uma técnica se analisava todos os metais, aí... a gente... é... eu fiz a técnica pra arsênio, aí já fazia arsênio lá... aí, o Wanderley é... fez a técnica pra mercúrio, aí... botou mercúrio, tudo no mesmo equipamento...³⁴⁰

Da mesma forma que os radioisótopos ou a metodologia dos parâmetros críticos anteriormente unificaram o grupo, na década de 1990, os metais pesados e o espectrofotômetro de absorção atômica que figuraram como esses elementos agregadores. Num ambiente tão original, com histórico marcado pela aplicação de técnicas físico-químicas inovadoras nas ciências da vida, e o trabalho conjunto entre químicos e biólogos, foram os objetos tecnológicos os responsáveis pela coesão do grupo. Não é por acaso que o laboratório manteve o nome de Laboratório de Radioisótopos mesmo num contexto no qual, como vimos, foram os metais pesados os protagonistas. No depoimento de Wanderley Bastos, o cientista mencionou que, desde Eduardo Penna Franca, houve tentativas de diversificar o perfil do grupo, criando uma dinâmica entre disciplinas e especialidades, “porque naquela época já começava a se falar nessas questões de interdisciplinaridade. De multidisciplinaridade. E a

³³⁹ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAEE: 47237621.3.0000.5241.

³⁴⁰ MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAEE: 47237621.3.0000.5241.

Biofísica sempre esteve à frente, sempre...³⁴¹”. A circulação de especialistas em poluição ambiental no LREPF, com diferentes formações, parece também ter sido um chamariz para jovens biólogos. Para Valéria Magalhães, os estudos na Amazônia e no meio ambiente foram grandes atrativos para mais biólogos adentrarem o grupo, que inicialmente era de maioria de químicos. “A palavra meio ambiente chama biólogo”³⁴².

Este capítulo tentou mostrar a formação de um programa de pesquisas em ecologia de ecossistemas no Brasil, surgido a partir do Laboratório de Radioisótopos do IBCCF, mas que não se restringiu apenas a esta instituição. Essa ecologia aplicada no Brasil teve o trabalho com radioisótopos em sua origem, mas avançou para além desses elementos. Esses aspectos apontam para uma conexão direta entre a história da energia nuclear, a institucionalização das ciências biológicas e a história da ecologia no Brasil. Esse histórico envolveu uma identidade profissional marcada por elementos heterogêneos, a influência da tradição e de certos privilégios existentes no Instituto de Biofísica, e a coalização de diferentes instrumentos, objetos e especialidades científicas. O incentivo e uso dos radioisótopos na pesquisa biológica levou a uma ampla exploração de campos científicos que estavam em processo inicial de formação no Brasil, como a ecologia de ecossistemas. Nesse processo, vemos, a partir das trajetórias científicas apresentadas, como os radioisótopos se transformaram dentro das dinâmicas de pesquisa do grupo, levando a diferentes caminhos e destinos, como no caso do mercúrio na Amazônia, mas também dos acidentes nucleares, dos hidrocarbonetos e agrotóxicos, das cianobactérias, dentre outros. Nesse sentido, podemos considerar a existência de uma identidade profissional moldada a partir dos radioisótopos, formada por biólogos com envolvimento em física e química, e que embora não tenham trabalhado apenas com radioisótopos, seguiram uma linha que foi historicamente estruturada a partir desses objetos.

³⁴¹ BASTOS, entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

³⁴² MAGALHÃES, entrevista [12/04/2023] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Considerações Finais

Meu objetivo nesta pesquisa foi examinar o papel dos radioisótopos na reorganização da pesquisa biológica brasileira ao longo da segunda metade do século XX. A nível global, os radioisótopos redefiniram o cenário da biologia do pós-Segunda Guerra Mundial, e esse movimento também pode ser observado no Brasil. Sua presença nas ciências da vida demarcou novas práticas e metodologias, impulsionou debates teóricos e forjou novas identidades profissionais, reconfigurando as diretrizes do fazer científico brasileiro. Os radioisótopos, como instrumentos científicos, mediaram não apenas a relação entre humanos, organismos e outros elementos, mas situaram as ciências biológicas em meio a discussões políticas, diplomáticas, sociais e ambientais em diferentes contextos.

Este trabalho investigou um recorte temporal que tem como baliza os anos de 1949 e 2007. Em 1949, foram criados tanto o Laboratório de Isótopos da Faculdade de Medicina da USP, quanto o Laboratório de Fotobiologia do Instituto de Biofísica, na Universidade do Brasil. Este ano simboliza um dos momentos mais significativos da história dos radioisótopos no Brasil, demarcando o início de uma primeira fase exploratória de seus usos em pesquisas biológicas e médicas. Por sua vez, 2007 é o ano de publicação do dossiê ‘Ecologia de micropoluentes orgânicos e metais pesados’, no periódico *Oecologia Brasiliensis* (hoje *Oecologia Australis*), organizado por cientistas do Laboratório de Radioisótopos do IBCCF. O dossiê não apenas agrupou as pesquisas que estavam sendo realizadas naquele momento pelo laboratório, como as situou historicamente. Nesse sentido, essa publicação foi escolhida como baliza final desta tese, por evidenciar de forma nítida a relação entre os radioisótopos e a emergência de novos temas na pesquisa biológica e ecológica brasileira, como os POPs (*Persistent Organic Pollutants*) e o Antropoceno.

Apesar do recorte temporal desta tese ser o ano de 1949, busquei inicialmente explorar a história da radiação no Brasil desde o fim do século XIX. No primeiro capítulo, minha análise costurou o contexto da Segunda Guerra Mundial, com o Projeto Manhattan, passando pelas políticas do átomo no imediato pós-guerra, processo que se relaciona diretamente com os primeiros trabalhos com radioisótopos no Brasil. Seguindo esse processo, apresentei a história do programa nuclear brasileiro e os debates acerca da energia nuclear no Brasil, culminando no exame de suas representações culturais e sociais mais contemporâneas, até pelo menos o acidente com o césio-137 em Goiânia-GO, em 1987. Retornando para a década de 1950, fiz uma análise do programa estadunidense Átomos para a Paz, e de suas conexões com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) do Brasil, buscando, com isso,

evidenciar alguns aspectos da circulação de radioisótopos em diferentes grupos de pesquisa como uma via importante da institucionalização das ciências no Brasil.

No segundo capítulo desta tese, fiz uma análise aprofundada de vários grupos de pesquisa e da trajetória científica de gerações de pesquisadores ligados ao estudo da radiação nas ciências da vida. O foco foi explorar a circulação de radioisótopos na pesquisa agrícola, medicina nuclear, rádio e fotobiologia. Para tanto, a análise ficou circunscrita aos cientistas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-Esalq-USP), Centro de Medicina Nuclear da Faculdade de Medicina da USP (CMN-FMUSP), Instituto de Energia Atômica (IEA-USP, hoje IPEN), Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF-UFRJ) e Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes (IBRAG-UERJ). Esses pesquisadores estabeleceram conexões com os Estados Unidos e a França, e mantiveram contato próximo entre os grupos nacionais, visando o desenvolvimento de agendas de pesquisas específicas, que foram de aplicações gerais de radioisótopos às transformações mais estruturais ocasionadas pela sua incorporação na biologia e medicina. Ao investigar essas diferentes áreas do conhecimento, busquei entender as múltiplas implicações de técnicas nucleares e a complexa formação da biologia no Brasil. Esse processo não se resume apenas à emergência de conceitos e ideias sobre a vida. Na verdade, está diretamente ligado a uma conjuntura geopolítica, interesses nacionais, colaborações entre cientistas e o surgimento de objetos, instrumentos, técnicas e metodologias que permitiram explorar novas dimensões do mundo vivo.

Em seguida, no terceiro capítulo, segui a trajetória científica e profissional do químico Eduardo Penna Franca, em especial a partir da sua chefia do Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica (IBCCF), criado em 1956. Penna Franca foi um elemento chave na consolidação de estudos com radioisótopos no Instituto de Biofísica, em especial no desenvolvimento de agendas de pesquisas em biofísica ambiental e radioecologia que, a partir de seu grupo, culminaram em diversos estudos de ecologia de ecossistemas. Sua trajetória ligou o contexto de disseminação da ideologia de átomos pacíficos e maior incentivo à aplicação de radioisótopos nas ciências à formação de um programa de ecologia de ecossistemas que não se restringiu às metodologias radioisotópicas e nem ao Instituto de Biofísica. No quarto capítulo da tese, assim, analisei não apenas a história do grupo de ecólogos formados a partir de Penna Franca, mas também o processo de nucleação de novos grupos de cientistas pelo Brasil, e as transformações das agendas de pesquisas que inicialmente tiveram como ponto de partida os radioisótopos.

Ao seguir os radioisótopos, esta tese evidencia não apenas como se deu a sua aplicação imediata em distintos grupos de pesquisas, que tiveram esses objetos como

propulsores de seu surgimento e desenvolvimento, mas também demonstra a forte influência da energia nuclear no processo de institucionalização das ciências no Brasil. Procurei demonstrar que a consolidação de estudos biomoleculares e ecossistêmicos no Brasil, representados a partir de diferentes disciplinas científicas e agendas de pesquisa, foi, dentre outras coisas, resultado da incorporação dos radioisótopos na pesquisa biológica brasileira, processo que se deu através das transformações ocorridas no campo da biologia no pós-guerra e da forte relação com a questão nuclear no país. A emergência dos radioisótopos, a atuação de agências internacionais e o amplo debate sobre o tema da energia nuclear, não só fomentou, como em muitos casos determinou o horizonte de possibilidades de ciências como a ecologia e a biologia.

Analisando a formação de grupos e a trajetória de cientistas ao longo da tese, foi possível perceber que o contato com os radioisótopos produziu identidades profissionais marcadas pela relação entre biologia, química e física, pela ideia de novidade promovida pelos aparatos tecnológicos, e pela participação desses cientistas em debates públicos. Esses debates envolveram os riscos diretos da radiação, mas também a poluição e contaminação por metais pesados e a devastação de diferentes ecossistemas brasileiros. Defendo, assim, que a expertise necessária para participar desses amplos debates em curso nas últimas décadas do século XX, ou mesmo para sugeri-los, foi construída no histórico de pesquisas com os radioisótopos na biologia.

Num primeiro momento, entre as décadas de 1940 e 1960, a história dos radioisótopos no Brasil envolveu de modo amplo a sua circulação e suas diversas formas de aplicação, na esteira dos primeiros esforços do programa nuclear brasileiro e da criação de instituições de financiamento de pesquisas como o CNPq, a CAPES e a CNEN, além da forte influência norte-americana e do aparato desenvolvido nas primeiras décadas da Guerra Fria. Num segundo momento, a partir de meados da década de 1960 até o início da década de 2000, essa história ganha outras características. Não sendo mais exatamente uma novidade em termos de aplicações científicas, os radioisótopos adquirem um papel mais estrutural para algumas ciências.

Foi em meio à emergência de centrais nucleares, suas expectativas e seus acidentes, das considerações acerca dos fenômenos ligados à radioatividade natural no Brasil, e por outro lado, da investigação dos mecanismos moleculares evidenciados pelo estudo da interação entre radioisótopos e radiação UV em modelos bacterianos e animais experimentais, que um amplo debate foi propiciado acerca dos riscos mutagênicos das radiações, artificiais ou naturais, e do funcionamento de processos intracelulares e metabólicos antes pouco

conhecidos. Já na década de 1990, os estudos de ecologia aplicada passaram a desenvolver análises sobre o tema da poluição, sobretudo em ecossistemas aquáticos, e os estudos de genética de microrganismos e radiobiologia adentraram, ainda com a utilização dos radioisótopos, na era da genômica. Todos esses pontos, além de serem desdobramentos da circulação e penetração dos radioisótopos na pesquisa biológica fundamental ao longo da segunda metade do século XX, também indicam contornos epistemológicos, institucionais e sociais da biologia brasileira nesse período.

Referências

Fontes

Artigos científicos

A MENINA Rosalina. **O Brazil-Médico**, v. 14, n. 46, p. 1, 8 de dezembro de 1900.

AÇÃO DOS raios X sobre as plantas. **O Brazil-Médico**, v. 50, n. 7, p. 147-148, 15 de fevereiro de 1936.

ACCORSI, Walter Radamés. Contribuição para o Estudo Biológico e Ecológico das Podostemonaceae do Salto de Piracicaba. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 1, p. 59-106, 1944.

ALBE-FESSARD, D; CHAGAS FILHO, C. Action d'une substance curarisante sur la décharge électrique de *l'Electrophorus electricus* (L). **Comptes Rendu de la Société de Biologie**, v. 145, p. 248-250, 1951.

ALTAMIRANO, M., *et al.* Electrical Activity in Electric Tissue. III. Modifications of Electrical Activity by Acetylcholine and Related Compounds. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 16, p. 449-463, 1955.

ANDRADE, João Carlos de, *et al.* The Fate of Mercury Released from Prospecting Areas (“Garimpos”) Near Guarinos and Pilar de Goiás (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 60, n. 3, p. 293-303, 1988.

APOSTOLI, G. Um caso muito grave de dermatite, consecutiva a duas aplicações dos raios X – Patogenia e tratamento. **O Brazil-Médico**, v. 11, n. 29, p. 259-260, 1 de agosto de 1897.

ARZOLLA, José Dal Pozzo; HAAG, H. P.; MALAVOLTA, Eurípedes. Estudos sobre alimentação mineral do cafeeiro: VIII. Estudo da absorção e da translocação do radiozinc no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 19, p. 35-52, 1962.

ARZOLLA, José Dal Pozzo; HAAG, H. P.; MALAVOLTA, Eurípedes. Nota preliminar sobre a absorção e a translocação do radiozinc no cafeeiro (*Coffea arabica*) cultivado em solução nutritiva. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 12-13, p. 113-120, 1956.

ASTON, S. R., *et al.* Mercury in lake sediments: a possible indicator of technological growth. **Nature**, v. 241, p. 450-451, 1973.

AZCUE, José Maurício Pena, *et al.* Heavy Metals in Foods from the Paraíba do Sul River Valley, Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 1, p. 250-258, 1988b.

AZCUE, José Maurício Pena, *et al.* Heavy metals in drinking waters from the Paraíba do Sul – Guandu River System, Rio de Janeiro State, Brazil. **Water Science and Technology**, v. 19, p. 1181-1183, 1987.

AZCUE, José Maurício Pena, *et al.* Heavy metal removal by different water treatment plants, in Rio de Janeiro state, Brazil. **Environmental Technology Letters**, v. 9, p. 429-436, 1988a.

BARCINSKI, Marcello, *et al.* Cytogenetic Investigation in a Brazilian Population Living in an Area of High Natural Radioactivity. **American Journal of Human Genetics**, v. 27, p. 802-806, 1975.

BARROCAS, Paulo Rubens Guimarães; WASSERMAN, Julio Cesar de Faria Alvim. O mercúrio na Baía de Guanabara: uma revisão histórica. **Geochimica Brasiliensis**, v. 9, n. 2, p. 115-127, 1995.

BARUKI, S., *et al.* Avaliação da técnica de perfusão pela radiografia. **Annaes da Academia Brasileira de Ciências**, v. 27, XXVIII, 1955.

BIDONE, Edison Dausacker, *et al.* Fish contamination and human exposure to mercury in Tartarugalzinho River, Amapá State, Northern Amazon, Brazil. A screening approach. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 97, p. 9-15, 1997.

BRIEGER, F. G. Considerações sobre o mecanismo da evolução. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 1, p. 177-211, 1944b.

BRIEGER, F. G. Estudos experimentais sobre a origem do milho. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 1, p. 225-278, 1944a.

BRITTO, Victor de. Contribuição ao estudo do tratamento do cancro. **O Brazil-Médico**, v. 18, n. 15, p. 143-145, 15 de abril de 1904.

CALASANS, Claudia Ferreira; MALM, Olaf. Elemental mercury contamination survey in a chlor-alkali plant by the use of transplanted Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (L.). **The Science of the Total Environment**, v. 208, p. 165-177, 1997.

CALDAS, Luiz Renato. Photobiology and Photochemistry in a virgin land. **Photochemistry and Photobiology**, v. 26, p-1-2, 1977.

CALDAS, Luiz Renato. Um pigmento nas águas negras. A violaceína no combate à doenças. **Ciência Hoje**, v. 11, n. 64, p. 55-57, 1990.

CALDAS, Luiz Renato; CONSTANTIN, T. Courbe de survie de levures haploides soumises aux rayons U. V. **Compt. Rend. Acad. Sci.**, v. 232, p. 2356, 1951.

CALDAS, Luiz Renato; GOMES, Roberto Alcântara; ELIAS, Cezar Antonio. Características da lise não produtiva provocada por um fago estafilocócico em cepas lisogênicas de *Staph. albus*. **Ciência e Cultura**, v. 159, p. 599, 1965a.

CALDAS, Luiz Renato; GOMES, Roberto Alcântara; ELIAS, Cezar Antonio. Inhibition par la streptomycine de la multiplication d'un phage staphylococcique tempéré. **Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris**. v. 159, p. 599, 1965b.

CANELAS, Horacio M.; CARVALHO, Nelson de; ROCHA, Arnaldo Gama da. Effect of corticotropin on the absorption of vitamin B12 in the subacute combined degeneration of the spinal cord. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 23, n. 2, p. 75-81, 1965a.

CANELAS, Horacio M.; CARVALHO, Nelson de; ROCHA, Arnaldo Gama da. Vitamin B12 in the pathogenesis of subacute combined degeneration of the spinal cord. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 23, n. 4, p. 253-260, 1965b.

CANELAS, Horacio M.; CARVALHO, Nelson de; ROCHA, Arnaldo Gama da. Metabolism of fat in subacute combined degeneration of the spinal cord. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 24, n. 1, p. 1-6, 1966.

CANELAS, Horacio M.; PINTO, João Teixeira; SCHNAIDER, José. Absorção da vitamina B12 nas mieloses funiculares. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 19, n. 1, p. 1-10, 1961.

CARVALHO, C. E. V.; LACERDA, Luiz Drude de; GOMES, M. P. Heavy metal contamination of the marine biota along the Rio de Janeiro coast, SE-Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 57-58, p. 645-653, 1991.

CARVALHO, C. E. V., *et al.* Seasonal variation of particulate heavy metals in the Lower Paraíba do Sul River, R.J., Brazil. **Environmental Geology**, v. 37, n. 4, p. 297-302, 1999.

CARVALHO, Damasceno. Raios violetas e ultravioletas. **O Brazil-Médico**, v. 36, n. 1, p. 8, 7 de janeiro de 1922.

CASTILHOS, Zuleica Carmen; BIDONE, Edison Dausacker; LACERDA, Luiz Drude de. Increase of the Background Human Exposure to Mercury Through Fish Consumption due to Gold Mining at the Tapajós River Region, Pará State, Amazon. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 61, p. 202-209, 1998.

CATANI, R. A.; PEREZ, J. T.; BERGAMIN FILHO, H. A separação do Cálcio de Estrôncio mediante o emprego de Resina Trocadora de Íons e de Estrôncio Radioativo Sr-89. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 20, p. 25-31, 1963.

CHAGAS FILHO, Carlos; CALDAS, Luiz Renato; ELIAS, Cezar Antonio. Lethal effect of peroxydes on certain bacterial systems. **Annaes da Academia Brasileira de Ciências**, v. 29, n. 1, p. 39-51, 1957.

CHAGAS FILHO, Carlos, *et al.* Fixação de um curare radioativo nas células. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 27, n. 4, p. 54, 1955.

CHAGAS FILHO, Carlos, *et al.* A Study of the Specificity of the Complex Formed by Gallamine Triethiodide with a Macromolecular Constituent of the Electric Organ. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 75, p. 251-259, 1958.

CLARCK, Leonard B.; BUMP, Gardiner. X-rays and the Reproductive Cycle in Ring-Necked Pheasants. **Biological Bulletin**, v. 87, n. 2, p. 134-137, 1944.

COLLI, Walter. Jose Carlos da Costa Maia (1937-1994). **Ciência e Cultura**, v. 47, n. 5-6, p. 96-97, 1995.

COUCEIRO, Antonio. Aspectos da utilização do fósforo por alguns órgãos de camundongos tratados com P32. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 4, p. 87, 1944a.

COUCEIRO, Antonio. Deposição do radiofósforo em tecidos ósseo e dentário demonstrada pela técnica autográfica. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 41, n. 3, p. 541-545,

1944b.

CROCOMO, Otto Jesu; MENARD, Louiz Neptune. Estudo sobre a distribuição do S³⁵ em cafeeiro (*Coffea arábica* L., Bourbon). **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 18, p. 169-181, 1961.

CRUTZEN, Paul; STOERMER, Eugene. The “Anthropocene”. **Global Change Newsletter**, v. 41, p. 17-18, 2000.

CURSO sobre radioisótopos. **Correio da Manhã**, v. 3, n. 38, p. 8, 10 de abril de 1964.

DA AÇÃO dos raios ultravioletas sobre o crescimento. **O Brazil-Médico**, v. 40, n. 25, p. 324-325, 19 de junho de 1926.

DIAS FONSECA, Fabrizio Rafael; MALM, Olaf; WALDEMARIN, Helen Francine. Mercury levels in tissues of Giant otters (*Pteronura brasiliensis*) from the Rio Negro, Pantanal, Brazil. **Environmental Research**, v. 98, n. 3, p. 368-371, 2005.

DODSWORTH, Toledo. Curiosos efeitos dos raios X sobre as articulações traumatizadas. **O Brazil-Médico**, v. 25, n. 14, p. 131-133, 8 de abril de 1911.

DODSWORTH, Toledo. Os raios-X em cardiopatologia. **O Brazil-Médico**, v. 26, n. 32, p. 327-330, 22 de agosto de 1912.

DORNELES, Paulo Renato, *et al.* Cadmium concentrations in franciscana dolphin (*Pontoporia blainvillei*) from South Brazilian Coast. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 55, n. 3, p. 179-186, 2007.

DOS RAIOS X no ponto de vista médico-cirúrgico. **O Brazil-Médico**, v. 11, n. 13, p. 118, 1 de abril de 1897.

DR. C. S. A descoberta do professor Rontgen. Photographia através dos corpos opacos. **O Brazil-Médico**, v. 10, n. 9, p. 83-84, 1 de março de 1896.

DREW, Robert; EISENBUD, Merrill. The Pulmonary Dose from ²²⁰Rn Received by Indigenous Rodents of the Morro do Ferro, Brazil. **Radiation Research**, v. 42, n. 2, p. 270-281, 1970.

ELIAS, Cezar Antonio; CALDAS, Luiz Renato. Antagonisme entre le formiate et la restauration induite par la catalase en microorganismes irradiés. **Annaes da Academia Brasileira de Ciências**, v. 25, p. 277, 1953.

ESTON, Verônica Rapp de, *et al.* Noções gerais sobre o emprego dos radioisótopos em medicina e biologia. **Revista de Medicina - FMUSP**, v. 46, n. 4, p. 141-198, 1962.

FELZENSZWALB, Israel; SARGENTINI, N. J.; SMITH, Kendrick C. Escherichia Coli Radc Is Deficient In The RecA-Dependent Repair Of X-Ray Induced Dna Strand Breaks. **Radiation Research**, v. 106, p. 166-170, 1986.

FELZENSZWALB, Israel; SMITH, N. S. Kendrick. Characterization Of A New Radiation Sensitive Mutant Escherichia Coli K-12 Radc. **Journal of Cellular Biology**, v. 78, p. 234, 1983.

FIGUEIRA, Rubens C. L.; CUNHA, Ieda I. L.. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. **Química Nova**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 1998.

FISZMAN, Marlene; PFEIFFER, Wolfgang Christian; CARBONELL, Nilce. Análise de Cr⁶⁺ e Cr³⁺ em Amostras Ambientais: Problemas Técnicos na Escolha da Metodologia de Análise. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 53, n. 2, p. 303-308, 1981.

FISZMAN, Marlene; PFEIFFER, Wolfgang Christian; LACERDA, Luiz Drude de. Comparison of methods used for extraction and geochemical distribution of heavy metals in bottom sediments from Sepetiba Bay, R. J.. **Environmental Technology Letters**, v. 5, n. 12, p. 567-575, 1984.

FONSECA, Marlon de Freitas; TORRES, João Paulo Machado; MALM, Olaf.. Interferentes ecológicos na avaliação cognitiva de crianças ribeirinhas expostas a metilmercúrio: o peso do subdesenvolvimento. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, p. 277-296, 2007.

FOWLER, S. W.; HEYRAUD, M.; LA ROSA, J. Factors affecting methyl and inorganic mercury dynamics in mussels and shrimp. **Marine Biology**, v. 46, p. 267-276, 1978.

FREITAS, Ana Cristina dos Santos, *et al.* Strontium-85 bioaccumulation by *Sargassum spp.* (Brown Seaweed) and *Galaxaura marginata* (Calcareous Seaweed). **The Science of the Total Environment**, v. 75, p. 225-233, 1988.

FREITAS, Lafayette. A radioterapia no tratamento das linfomatoses e dos linfomas tuberculosos. **O Brazil-Médico**, v. 24, n. 1, p. 7-9, 1 de janeiro de 1910.

FRÓES, João. Roentgendatilosopia onicográfica. **O Brazil-Médico**, v. 33, n. 10, p. 73-74, 8 de março de 1919.

FRÓES, João. Sinopse dos trabalhos efetuados em 1911 na Cadeira de Clínica Médica sob a direção. **O Brazil-Médico**, v. 26, n. 26, p. 263-268, 8 de julho de 1912.

FROTA MOREIRA, M., *et al.* Ação das radiações UV sobre a pele. **Annaes Academia Brasileira de Ciências**, v. 27, X, 1955.

GALL, Norman. Atoms for Brazil, dangers for all. **Bulletin of the Atomic Scientists**, v. 32, n. 6, p. 5-48, 1976.

GARNAULT, Paulo. Instruções para a pesquisa do radium e dos minerais radioativos no Brasil. **O Brazil-Médico**, v. 19, n. 22, p. 211-212, 8 de junho de 1905.

GIBBS, Ronald J. Mechanisms of Trace Metal Transport in Rivers. **Science**, v. 180, n. 4081, p. 274-280, 1973.

GOMES, Frederico Pimentel; MALAVOLTA, Eurípedes. Aspectos Matemáticos e Estatísticos da Lei de Mitscherlich. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 6, p. 193-229, 1949.

GOMES, Frederico Pimentel; MALAVOLTA, Eurípedes. Pesquisas sobre a análise estatística de experiências de adubação com o auxílio da Lei de Mitscherlich. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 8, p. 1-14, 1951.

GRAÇA, von Dollinger da. O estado atual da “terapêutica do câncer”. **O Brazil-Médico**, v. 43, n. 45, p. 1358-1362, 9 de novembro de 1929.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée. Bioaccumulation of ^{137}Cs and ^{60}Co by a tropical marine teleost *Epinephelus sp.*. **The Science of the Total Environment**, v. 120, p. 205-212, 1992b.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée; IKINGURA, J.; AKAGI, H.. Methyl mercury production and distribution in river water-sediment systems investigated through radiochemical techniques. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 124, p. 113-124, 2000.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée; LACERDA, Luiz Drude de; TEIXEIRA, V. L.. Concentrações de metais pesados em algas bentônicas da Baía da Ribeira, Angra dos Reis, com sugestão de espécies monitoras. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 42, n. 3, p. 553-557, 1982.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée; MALM, Olaf; PFEIFFER, Wolfgang Christian.. A simplified radiochemical technique for measurements of net mercury methylation rates in aquatic systems near goldmining areas, Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 175, p. 151-162, 1995.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée, *et al.* Mercury net methylation in five tropical flood plain regions of Brazil: high in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils. **The Science of the Total Environment**, v. 261, p. 99-107, 2000b.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée, *et al.* Hg methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake in the Pantanal floodplain, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 213, p. 165-175, 1998.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée, *et al.* Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. **The Science of the Total Environment**, v. 261, p. 91-98, 2000a.

HACON, Sandra, *et al.* Mercury exposure through fish consumption in the urban área of Alta Floresta in the Amazon Basin. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 58, p. 209-216, 1997a.

HACON, Sandra, *et al.* Risk assessment of mercury in Alta Floresta. Amazon basin – Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 97, p. 91-105, 1997b.

HARGREAVES, Alberto B. Acetylcholinesterase response to ultraviolet radioation and its relation with sulphhydryl groups. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 57, n. 1, p. 41-51, 1955.

HENSHAW, P. S.; FRANCIS, D. S. The effect of X-rays on Cleavage in *Arbacia* Eggs: Evidence of Nuclear Control of Division Rate. **Biological Bulletin**, v. 70, n. 1, p. 28-35, 1936.

HEVESY, George. The Absorption and Translocation of Lead by Plants: A Contribution to the Application of the Method of Radioactive Indicators in the Investigation of the Change of Substance in Plants. **The Biochemical Journal**, v. 17, n. 4-5, p. 439-445, 1923.

HYLANDER, Lars Daniel, *et al.* Relationship of mercury with aluminum, iron and manganese oxy-hydroxides in sediments from the Alto Pantanal, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 260, p. 97-107, 2000a.

HYLANDER, Lars Daniel, *et al.* Fish mercury concentration in the Alto Pantanal, Brazil: influence of season and water parameters. **The Science of the Total Environment**, v. 261, p. 9-20, 2000b.

II CONGRESSO Nacional dos Núcleos Italianos de Radio-Biologia. **O Brazil-Médico**, v. 50, n. 40, p. 873, 3 de outubro de 1936.

INSTITUTO “Arnaldo Vieira de Carvalho”. **O Brazil-Médico**, v. 35, n. 20, p. 305, 26 de novembro de 1921.

INSTITUTO de Radium de Belo Horizonte. **O Brazil-Médico**, v. 41, n. 5, p. 106, 29 de janeiro de 1927.

INSTITUTO de Radium. **O Brazil-Médico**, v. 34, n. 12, p. 195, 20 de março de 1920.

JAPENGA, J., *et al.* Organic micropollutants in the Rio de Janeiro Coastal region, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 75, p. 249-259, 1988.

JARDIM, Wilson de Figueiredo. Contaminação por mercúrio: fatos e fantasias. **Ciência Hoje**, v. 7, n. 41, p. 78-79, 1988.

JOLIOT, Frederic; CURIE, Irène. Artificial Production of a New Kind of Radio-Element. **Nature**, v. 133, p. 201-202, 1934.

KEHRIG, H. A., *et al.* Total mercury, methylmercury and selenium in livers and muscle of different fishes and a marine mammal from a tropical estuary - Brazil. **RMZ. Materials and Geoenvironment**, v. 51, p. 1111-1114, 2004.

KEHRIG, Helena A.; MALM, Olaf; AKAGI, H. Methylmercury in hair samples from different riverine groups, Amazon, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 97, p. 17-29, 1997.

KEHRIG, Helena do Amaral, *et al.* Methylmercury and Total Mercury in Estuarine Organisms from Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 8, p. 275-279, 2001.

KEHRIG, Helena do Amaral, *et al.* Methylmercury in Fish and Hair Samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. **Environmental Research**, v. 77, p. 84-90, 1998.

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; FISZMAN, M.. O papel de *Paspalum vaginatum* na disponibilidade de cromo para as cadeias alimentares estuarinas. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 39, n.4, p. 985-989, 1979.

LACERDA, Luiz Drude de. Amazon mercury emissions. **Nature**, v. 374, p. 20-21, 1995.

LACERDA, Luiz Drude de. Biogeoquímica de contaminantes no Antropoceno. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 297-301, 2007.

LACERDA, Luiz Drude de. Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. **Química Nova**, v. 20, n. 2, p. 196-199, 1997a.

LACERDA, Luiz Drude de. Evolution of mercury contamination in Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 97, p. 247-255, 1997c.

LACERDA, Luiz Drude de. FREIXO, João L.; COELHO, Simone M.. The effect of *Spartina alterniflora* Loisel on trace metals accumulation in inter-tidal sediments. **Mangroves and Salt Marshes**, v. 1, p. 201-209, 1997.

LACERDA, Luiz Drude de. Global mercury emissions from gold and silver mining. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 97, p. 209-221, 1997b.

LACERDA, Luiz Drude de. Heavy metal pollution in soil and plants of the Irajá River area in Guanabara Bay. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 42, n. 1, p. 89-93, 1982.

LACERDA, Luiz Drude de. Mangrove Wood Pulp, an Alternative Food Source for the Tree-Crab *Aratus pisonii*. **Biotropica**, v. 13, n. 4, p. 317, 1981.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Trace metals in fluvial sediments of the Madeira River watershed, Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 97-98, p. 525-530, 1990.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Editorial: Mangroves in the Anthropocene: From local change to global challenge. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, p. 01-04, 2022.

LACERDA, Luiz Drude de; ITTEKKOT, V.; PATCHINEELAM, S. R.. Biogeochemistry of Mangrove Soil Organic Matter: a Comparison Between *Rhizophora* and *Avicennia* Soils in South-eastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 40, p. 713-720, 1995.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Size and metal concentration in the mangrove mussel *Mytella guyanensis* (Mollusca: Bivalva) from Baía de Sepetiba, Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, v. 31, n. 2, p. 333-335, 1983.

LACERDA, Luiz Drude de; MARINS, Rozane Valente. Anthropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: The impact of gold mining. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 58, p. 223-229, 1997.

LACERDA, Luiz Drude de; PFEIFFER, Wolfgang Christian. Mercury from gold mining in the Amazon environment – an overview. **Química Nova**, v. 15, n. 2, p. 155-160, 1992.

LACERDA, Luiz Drude de; PFEIFFER, Wolfgang Christian; FISZMAN, Marlene. Níveis naturais de metais pesados em sedimentos marinhos da Baía da Ribeira, Angra dos Reis. **Ciência e Cultura**, v. 34, p. 921-927, 1982.

LACERDA, Luiz Drude de; PFEIFFER, Wolfgang Christian; FISZMAN, Marlene. Mineral distribution and ecological role of a recently formed halophyte community in Guanabara Bay. **Tropical Ecology**, v. 23, n. 2, p. 162-169, 1983.

LACERDA, Luiz Drude de; PFEIFFER, Wolfgang Christian; FISZMAN, Marlene. Intertidal beach sands as monitors for heavy metal pollution in coastal water bodies. **Environmental Technology Letters**, v. 6, p. 123-128, 1985.

LACERDA, Luiz Drude de; PFEIFFER, Wolfgang Christian; FISZMAN, Marlene. Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, S. E. Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 65, p. 163-173, 1987.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Mercury dispersal in water, sediments and aquatic biota of a gold mining tailing deposit drainage in Poconé, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 55, p. 283-294, 1991a.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Mercury Contamination in the Madeira River: Amazon-Hg Inputs to the Environment. **Biotropica**, v. 21, n. 1, p. 91-93, 1989.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Mercury distribution in sediment profiles from lakes of the high pantanal, Mato Grosso State, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 14, 91-97, 1991b.

LATARJET, Raymond; CALDAS, Luiz Renato. Restoration induced by catalase in irradiated microorganisms. **The Journal of General Physiology**, v. 35, n. 3, p. 455-470, 1952.

LATARJET, Raymond; CALDAS, Luiz Renato. Restoration induced by catalase in irradiated microorganisms. **The Journal of General Physiology**, v. 35, n. 3, p. 455-470, 1952.

LATARJET, Raymond, *et al.* Chemical restoration in irradiated microorganisms. **British Journal of Radiology (BJR)**, v. 313, p. 54-56, 1954.

LATARJET, Raymond; ELIAS, Cezar Antonio; BUU-HOY, Nguyen Phúc. Productions d'une mutation bactérienne par des cancerigènes hydrosolubles. **Compt. Rend. Séances Soc. Biol.**, CXLIII, p. 776, 1949.

LEAL, Miguel Archanjo Muniz; PENNA FRANCA, Eduardo. Limites de distâncias de detecção de carajumos *Biomphalaria glabrata* marcados com Sr-85, usando como absorvedores o ar, a água e areia. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 79, n. 2, p. 227-231, 1984.

LEAL, Miguel Archanjo Muniz; PENNA FRANCA, Eduardo. Marcação de caramujos *Biomphalaria glabrata* por radionuclídeos para trabalhos em campo. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 77, n. 1, p. 1-8, 1982.

LEAL, Miguel Archanjo Muniz; PENNA FRANCA, Eduardo. Padronização da técnica de marcação de caramujos *Biomphalaria glabrata* com radioestrôncio. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 77, n. 2, p. 121-129, 1982.

LECHLER, P. J., *et al.* Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? **The Science of the Total Environment**, v. 260, p. 87-96, 2000.

LEDERMAN, Manuel. The Early history of radiotherapy: 1895-1939. **Radiation Oncology, Biology, Physics**, v. 7, n. 5, p. 639-658, 1981.

LEI, Wayne, *et al.* Distribution and Mobilization of Cerium, Lanthanum and Neodymium in the Morro do Ferro Basin, Brazil. **Chemical Geology**, v. 55, p. 313-322, 1986.

LIMA, Fausto W.; PIERONI, Rômulo R. Paper Chromatographic Separation of Components of Rosa Bengal Labelled with Iodine-131. **Nature**, n. 4692, p. 1065, 1959.

LIMA, N. R. W., *et al.* Temporal and spatial variability in Zn, Cr, Cd and Fe concentrations in oyster tissues (*Crassostrea brasiliana* Lamarck, 1819) from Sepetiba Bay, Brazil. **Environmental Technology Letters**, v. 7, p. 453-460, 1986.

LINSALATA, Paul, *et al.* An Assessment of Soil-to-Plant Concentration Ratios for Some Natural Analogues of the Transuranic Elements. **Health Physics**, v. 56, n. 1, p. 33-46, 1989.

LINSALATA, Paul, *et al.* Th, U, Ra and Rare Earth Element Distributions in Farm Animal Tissue from an Elevated Natural Radiation Background Environment. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 14, n. 3, p. 233-257, 1991.

MAGALHÃES, Valéria Freitas de, *et al.* Microcystins (cyanobacteria hepatotoxins) bioaccumulation in fish and crustaceans from Sepetiba Bay (Brasil, RJ). **Toxicon**, v. 42, p. 289-295, 2003.

MAGALHÃES, Valéria Freitas de; PFEIFFER, Wolfgang Christian. Arsenic concentration in sediments near a metallurgical plant (Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 52, p. 175-181, 1995.

MALAVOLTA, Eurípedes. Estudos químico-agrícolas sobre o enxofre (Tese de Livre Docência de Química Agrícola - USP). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 9, p. 39-135, 1952.

MALAVOLTA, Eurípedes. Noções sobre a alimentação das orquídeas. **Revista de Agricultura**, p. 251-258, palestra realizada no dia 19 de agosto de 1953.

MALAVOLTA, Eurípedes; CARLTON, A. B. Nota preliminar sobre a distribuição do radiozinco no tomateiro. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 10, p. 121-126, 1953.

MALAVOLTA, Eurípedes; DELWICHE, C. C.; BURGE, W. D. (Nota n.º 2) Fixação do dióxido de carbono e fosforilação em *Nitrobacter agilis*. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 17, p. 351-356, 1960.

MALAVOLTA, Eurípedes; PELLEGRINO, D. Estudos sobre a distribuição do radiozinco no tomateiro (*Lycopersicum esculentum*). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 11, p. 77-86, 1954.

MALLAS, J.; BENEDICTO, N.. Mercury & gold mining in the Brazilian Amazon. **Ambio**, v. 15, p. 248-249, 1986.

MALM, Olaf. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**, v. 77, p. 73-78, 1998.

MALM, Olaf, *et al.* Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 175, p. 141-150, 1995a.

MALM, Olaf, *et al.* An assessment of Hg pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 175, n. 2, p. 127-140, 1995b.

MALM, Olaf, *et al.* Use of epiphyte plants as biomonitors to map atmospheric mercury in a gold trade center city, Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 213, p. 57-64, 1998a.

MALM, Olaf, *et al.* Follow-up of mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira and Tapajós basins, Amazon, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 97, p. 45-51, 1997.

MALM, Olaf, *et al.* Transport and availability of heavy metals in the Paraíba do Sul-Guandu River System, Rio de Janeiro State, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 75, p. 201-209, 1988.

MALM, Olaf, *et al.* Heavy metal concentrations and availability in the bottom sediments of the Paraíba do Sul-Guandu river system, RJ, Brazil. **Environmental Technology Letters**, v. 10, p. 675-680, 1989.

MARTINELLI, Luiz A., *et al.* Nutrient fluxes in some Rondonia Rivers, Madeira Basin. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 2, p. 761-773, 1988a.

MARTINELLI, Luiz A., *et al.* Mercury Contamination in the Amazon: A Gold Rush Consequence. **Ambio**, v. 17, n. 4, p. 252-254, 1988b.

MENCK, Carlos Frederico Martins, *et al.* Damages induced in λ phage DNA by enzyme-generated triplet acetone. **Mutation Research**, v. 165, n. 1, p. 9-14, 1986.

MENCK, Carlos Frederico Martins; MENEGHINI, Rogerio. Recovery in the survival capacity of ultraviolet-irradiated 3T3 mouse cells at G0 cannot be solely dependent on the excision of pyrimidine dimers. **Mutation Research**, v. 96, n. 2-3, p. 273-280, 1982.

MENEGHINI, Rogerio; LEITÃO, Alvaro Augusto da Costa. Obituary Roberto Alcântara Gomes (1941-1991). **Mutation Research**, v. 266, p. 61-62, 1992.

MOORE, W. G. The effects of X-rays of fertility in *Drosophila melanogaster* treated at different stages in development. **Biological Bulletin**, v. 62, n. 3, p. 294-305, 1932.

MULLER, Hermann Joseph. The production of mutations by x-rays. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 14, n. 9, p. 714-726, 1928.

MULLER, Hermann Joseph. Types of visible variations induced by X-rays in *Drosophila*. **Journal of Genetics**, v. 22, n. 3, p. 299-334 1930.

MULLER, Hermann Joseph; PAINTER, T. S. The cytological expression of changes in gene alignment produced by X-rays in *Drosophila*. **The American Naturalist**, v. 63, n. 686, 1929.

NRIAGU, Jerome O., *et al.* Mercury pollution in Brazil. **Nature**, v. 356, p. 389, 1992.

O INSTITUTO do Radium de Minas. **O Brazil-Médico**, v. 34, n. 52, p. 875, 25 de dezembro de 1920.

OBRESHKOVE, Vasil; KING, J. The effect of X-rays on the gaseous metabolism of a cladoceran. **Physiological Zoology**, v. 5, n. 3, p. 457-471, 1932.

OLIVEIRA, Ricardo Bezerra de; MALM, Olaf; GUIMARÃES, Jean Remy Davée. Distribution of Methylmercury and Inorganic Mercury in Neonate Hamsters Dosed with Methylmercury During Fetal Life. **Environmental Research**, v. 86, n. 1, p. 73-79, 2001.

PASCHOA, Anselmo. Lições de Tchernobyl: os alimentos importados. **Ciência Hoje**, v. 6, n. 32, p. 36-37, 1987.

PENNA FRANCA, Eduardo. Review of Brazilian Investigations in Areas of High Natural Radioactivity. Part II: International Exposure and Cytogenetic Survey. International Symposium on Areas of High Natural Radioactivity. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, p. 29-48, 1975.

PENNA FRANCA, Eduardo, *et al.* Status of investigations in the Brazilian areas of high natural radioactivity. **Health Physics Pergamon Press**, v. 11, p. 699-712, 1965.

PENNA FRANCA, Eduardo; CHAGAS FILHO, Carlos. Exame preliminar da radioatividade na castanha do Pará, amêndoas e amendoim. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 30, n. 4, p. 58, 1958.

PENNA FRANCA, Eduardo; DODSON, Richard W. The Effect of Cyanide on the Rate of the Thallous-Thallic Exchange Reaction. **Journal of the American Chemical Society**, v. 77, n. 9, p. 2651-2653, 1955.

PENNA FRANCA, Eduardo, *et al.* Radioactivity of Brazil Nuts. **Health Physics**, v. 14, n. 2, p. 95-99, 1968.

PENNA FRANCA, Eduardo; FREITAS, O. Gomes de. Radioactivity of Biological Materials from Brazilian Areas Rich in Thorium Compounds. **Nature**, v. 197, n. 4872, p. 1062-1063, 1963.

PENNA FRANCA, Eduardo; GOMES, O.; SANTOS, P. The absorption and distribution of radium and thorium in rat. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 36, 1964.

PENNA FRANCA, Eduardo; MUSACCHIO, Mariza. Captação de rádio-iôdo por culturas de tiróides de embrião de galinha. **Anais de Academia Brasileira de Ciências**, v. 33, n. 3 e 4, p. 46, 1961.

PENNA FRANCA, Eduardo; PACI, Clotilde. Preparo de filmes-suporte para microscópio eletrônico. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 50, p. 35-47, 1952.

PENNA FRANCA, Eduardo, *et al.* Aplicabilidade da análise pelos parâmetros críticos, usualmente empregada para instalações nucleares, no controle da poluição do ambiente marinho por metais pesados. **Ciência e Cultura**, v. 36, n. 2, p. 215-219, 1984.

PENNA FRANCA, Eduardo; PINTO COELHO, Aristides. Determinação de Estrôncio-90 em Ossos de Recém-Nascidos. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 31, n. 1, p. 49-52, 1959.

PESSOA, Samuel; PEREIRA, Jayme. Contribuição para o estudo da ação fotodinâmica da eosina. **O Brasil-Médico**, v. 43, n. 5, p. 117-118, 2 de fevereiro de 1929.

PETTIJOHN, David; HANAWALT, Philip. Evidence for repair-replication of ultravioleta

damaged DNA in bacteria. **Journal of Molecular Biology**, v. 9, n. 2, p. 395-410, 1964.

PFEIFFER, Wolfgang Christian; FISZMAN, Marlene; CARBONELL, N.. Fate of chromium in a tributary of the Irajá river, Rio de Janeiro. **Environmental Pollution**, v. 1, p. 117-126, 1980.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Chromium in water, suspended particles, sediments and biota in the Irajá river estuary. **Environmental Pollution**, v. 4, p. 193-205, 1982.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Heavy metal pollution in the Paraíba do Sul river, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 58, p. 73-79, 1986.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Mercúrio: contaminação em terras garimpeiras. **Ciência Hoje**, v. 11, p. 10-12, 1990.

PFEIFFER, Wolfgang Christian; LACERDA, Luiz Drude de. Mercury inputs into the Amazon region, Brazil. **Environmental Technology Letters**, v. 9, p. 325-330, 1988.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Metais pesados no pescado da Baía de Sepetiba, estado do Rio de Janeiro RJ. **Ciência e Cultura**, v. 37, n. 2, p. 297-302, 1985.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Mercury concentrations in inland waters of gold mining areas in Rondônia, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 87-88, p. 233-240, 1989.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Environmental fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. **Environmental Reviews**, v. 1, p. 26-37, 1993.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Mercury in the Madeira River ecosystem, Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 38, p. 239-245, 1991.

PFEIFFER, Wolfgang Christian; PENNA FRANCA, Eduardo. Análise por ativação de flúor e estrôncio em dentes com fótons de alta energia (12 MeV). **Ciência e Cultura**, v. 23, n. 6, p. 63, 1971.

PFEIFFER, Wolfgang Christian; PENNA FRANCA, Eduardo. Measurement of Fluoride Uptake and Release in Teeth by Activation Analysis. **Journal of Dental Research**, v. 53, n. 3, p. 641-647, 1974.

PFEIFFER, Wolfgang Christian, *et al.* Measurements of Environmental Radiation Exposure Dose Rates at Selected Sites in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 53, n. 4, p. 683-691, 1981.

PHOTOGRAPHIAS de Roentgen. **O Brazil-Médico**, v. 10, n. 38, p. 342, 8 de outubro de 1896.

PIZA JR, S. de Toledo. Cinco novas espécies de phásmidas do Brasil. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 1, p. 43-58, 1944.

POSSIBILIDADE da aplicação dos raios de Rontgen ao tratamento das moléstias infectuosas. **O Brazil-Médico**, v. 10, n. 17, p. 146, 1 de maio de 1896.

RAPP de ESTON, Veronica, *et al.* Urinary Excretion of Amino Acids in Diffuse Hepatic Necrosis. **Gastroenterology**, v. 29, n. 1, p. 71-81, 1955.

REJUVENESCIMENTO pelo radium. **O Brazil-Médico**, v. 38, n. 11, p. 183, 20 de setembro de 1924.

RIBEIRO, Carlos da Costa, *et al.* Radiobiological Aspects and Radiation Levels Associated With the Milling of Monazite Sand. **Health Physics**, v. 28, n. 3, p. 225-231, 1975.

RIBEIRO, Lourival. A Radiologia no Rio de Janeiro (notas para sua história), 1896-1900. **Revista da Divisão Nacional de Tuberculose**, v. 15, n. 60, p. 341-362, 1971.

RICHARDS, A. The effect of X-Rays on the rate of cell division in the early cleavage of Planorbis. **Biological Bulletin**, v. 27, n. 2, p. 67-96, 1914.

ROCHA, Ismael da. O xiphopago do Brazil. **O Brazil-Médico**, v. 14, n. 30, p. 1, 8 de agosto de 1900.

ROULET, M.; GUIMARÃES, Jean Remy Davée; LUCOTTE, M. Methylmercury production and accumulation in sediments and soils of an Amazonian floodplain – Effect of seasonal inundation. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 128, p. 41-60, 2001.

ROULET, M., *et al.* Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. **Chemical Geology**, v. 165, p. 243-266, 2000b.

ROULET, M., *et al.* Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 112, p. 297-313, 1999.

ROULET, M., *et al.* Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 261, p. 43-59, 2000a.

ROULET, M., *et al.* The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 223, p. 1-24, 1998.

RUDOLPH, Max. Estudos sobre a digestão de animais, no estômago de serpentes, com os raios X. **O Brazil-Médico**, v. 37, n. 3, p. 33-35, 20 de janeiro de 1923.

RUNNER, G. A. Effect of Röntgen rays on the tobacco, or cigarette, beetle and the results of experiments with a new form of Röntgen tube. **Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 11, p. 383-388, 1916.

SCHOENHEIMER, Rudolf; RITTENBERG, David. Deuterium as an indicator in the study of intermediary metabolism. **Science**, v. 82, n. 2120, p. 156-157, 1935.

SETUBAL, J. C., *et al.* The genome sequence of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. **Nature (London)**, v. 406, p. 151-157, 2000.

SILVA FILHO, E. V., *et al.* Geochemical Characterization of Rain Water Particulate Material on a Coastal Sub-Tropical Region in SE-Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 9, n. 5, p. 482-486, 1998.

SIOLI, Harold. Das wasser in Amazonasgebiet. **Forschung Fortschritt**, v. 26, p. 274-280, 1950.

SMELLIE, John, *et al.* Testing Safety Assessment Models Using Natural Analogues in High Natural-Series Groundwaters. The Second Year of the Poços de Caldas Project. **Materials Research Society Symposium Proceedings**, v. 127, p. 863-870, 1989.

SNYDER, Laurence. The effect of X-Rays on the fertility of rats. **The American Naturalist**, v. 59, n. 660, 1925.

SOBRE um caso de sopor palustre curado pelos raios X. **O Brazil-Médico**, v. 33, n. 25, p. 197, 21 de junho de 1919.

SOUZA ARAÚJO, Heraclides Cesar de. O granuloma venereum e a roentgenterapia. **O Brazil-Médico**, v. 29, n. 26, p. 201-202, 8 de julho de 1915.

STRANDSKOV, H. H. Certain physiological effects of X-rays on *Euplanaria dorotocephala*. II. Regeneration. **Physiological and Biochemical Zoology**, v. 10, n. 1, p.14-20, 1937.

TABAK, Salomão, *et al.* Rádio no cactus “*Cereus triangularis*”. **Ciência e Cultura**, v. 21, n. 2, p. 6, 1969.

TAKAHASHI, Catarina Satie. Cytogenetical Studies on the Effects of High Natural Radiation Levels in *Tityus bahiensis* (Scorpiones, Buthidae) from Morro do Ferro, Brazil. **Radiation Research**, v. 67, n. 2, p. 371-381, 1976.

TORRES, João Paulo Machado, *et al.* Ecologia de micro-poluentes orgânicos e metais pesados. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, s. p., 2007.

TRATAMENTO da leishmaniose externa pelo radium. **O Brazil-Médico**, v. 40, n. 2, p. 24,10 de julho de 1926.

TRINDADE, Helena A., *et al.* Atmospheric Concentration of Metals and Total Suspended Particulates in Rio de Janeiro. **Environmental Science & Technology**, v. 15, n. 1, p. 84-89, 1981.

TYRRELL, Rex M.; LEY, Ronald D.; WEBB, Robert B. Induction of Single-Strand Breaks (Alkali-Labile Bonds) in Bacterial and Phage DNA by Near UV (365 nm) Radiation. **Photochemistry and Photobiology**, v. 20, n. 5, p. 395-398, 1974.

TYRRELL, Rex M.; WEBB, Robert B. Reduced dimer excision in bacteria following near ultraviolet (365 nm) radiation. **Mutation Research**, v. 19, n. 3, p. 361-364, 1973.

TYRRELL, Rex. Luiz Renato Carneiro da Silva Caldas (1929-1991). **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 13, p. 3-4, 1992.

URYU, Yumiko, *et al.* Mercury Contamination of Fish and Its Implications for Other Wildlife of the Tapajós Basin, Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 15, n. 2, p. 438-446, 2001.

VALSECHI, Octavio. O processo Melle-Boinot de fermentação na Sociedade de Usinas de Açúcar Brasileira, de Piracicaba. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 1, p. 139-156, 1944.

VAN WEERELT, Margaretha; PFEIFFER, Wolfgang Christian; FISZMAN, Marlene. Uptake and Release of ^{51}Cr (VI) and ^{51}Cr (III) by Barnacles (*Balanus sp.*). **Marine Environmental Research**, v. 11, p. 201-211, 1984.

VASCONCELLOS, Edmundo. O esofagograma no cão normal e no megaesôfago experimental. **O Brasil-Médico**, v. 48, n. 12, p. 215, 24 de março de 1934.

VOGT, E. Esterilização das fêmeas dos animais por meio da insulina. **O Brasil-Médico**, v. 41, n. 50, p. 1329, 10 de dezembro de 1927.

Notícias de jornais

300 INTELLECTUAIS lançam manifesto: apoio à Revolução. **Diário Carioca (RJ)**, 1º de abril de 1965, p. 3.

ADEMI vê a energia solar como uma boa alternativa. **Jornal do Commercio**, 21 de novembro de 1980, p. 6.

ÁGUA do Rio terá flúor a partir de janeiro de 77. **Jornal do Brasil**, 18 de janeiro de 1976, p. 13.

APLICAÇÃO de radioisótopos à medicina: cursos promovidos pelo Instituto de Biofísica – Terão início em julho próximo. **Correio da Manhã (RJ)**, p. 10, 6 de junho de 1956.

AREIA suspeita. **Jornal do Brasil**, 24 de março de 1996, p. 6.

AS EXPLOSÕES atômicas e o tempo. **A Noite**, v. 43, n. 14.975, 4 de abril de 1955, p. 5.

ASSOCIAÇÕES Culturais e Científicas. **Correio Paulistano (SP)**, 7 de junho de 1949, p. 7.

CAETANO, Maria do Rosário. Pesadelo 137, a tragédia do cézio no cinema. **Correio Braziliense**, 27 de abril de 1989, p. 5.

COLLOR fecha poço para teste nuclear. **Jornal do Brasil**, 19 de setembro de 1990, p. 1.

CORREIO DA MANHÃ. Curso de Atualização no Instituto de Biofísica. **Correio da Manhã**, 31 de maio de 1957.

CORREIO DA MANHÃ. Fantástico engenho de destruição. **Correio da Manhã (RJ)**, Ano XLV, n. 1557, p. 1, 7 de agosto de 1945.

CORREIO PAULISTANO. ‘Bomba atômica’, a mais poderosa do mundo, está sendo empregada contra o território japonês. **Correio Paulistano (SP)**, Ano XCII, n. 27414, p. 1, 7

de agosto de 1945.

DIRETORES estudam modificação de currículo escolar. **Correio da Manhã (RJ)**, 28 de julho de 1966, p. 7.

ECOLOGIA do ouro. **Jornal do Brasil**, 30 de agosto de 1990, p. 19

ENGENHEIRO defende uso da biodigestão. **Jornal do Commercio**, 15 de outubro de 1980, p. 7.

ESSENCIALIDADE Nuclear. **Jornal do Commercio**, 11 de junho de 1980, p. 6

ESTRÔNCIO 90 no leite distribuído às crianças. Em pequena quantidade, porém, o perigoso elemento radioativo não constitui problema. **Jornal do Brasil (RJ)**, p. 11, 3 de abril de 1957.

FALTA de verba ameaça pesquisas científicas. **Jornal do Commercio (RJ)**, 30 de outubro de 1991, p. 14.

FEEMA avalia dano ecológico. **Jornal do Brasil**, 25 de fevereiro de 1996, p. 30.

FRANCO, José; SILVA, Eugênio. Chove Estrôncio em Minas. **O Cruzeiro (RJ)**, p. 53-56, 4 de abril de 1959.

GARIMPO vai ter campanha contra uso de mercúrio. **Jornal do Brasil**, 27 de setembro de 1991, p. 7.

GOVERNO nega uso nuclear para buraco aberto no Pará. **Jornal do Brasil**, 09 de agosto de 1986, p. 13

IMEDIATO desenvolvimento da Energia Atômica para fins pacíficos. **Tribuna da Imprensa**, v. 7, n. 1.683, 11 de julho de 1955, p. 8.

JANSEN, Roberta. Aparelho evita contaminação por mercúrio. **O Estado de São Paulo**, 25 de setembro de 1993, p. 21.

JORNAL DO BRASIL. Aberto um campo inteiramente novo de investigações científicas. **Jornal do Brasil (RJ)**, p. 7, 7 de agosto de 1945.

JORNAL DO BRASIL. Um famoso cientista que não acredita na “V-3”. **Jornal do Brasil (RJ)**, p. 7, 7 de outubro de 1944.

KERIGAN, John. Serão intensificadas as experiências com energia nuclear. **Tribuna da Imprensa**, v. 7, n. 1.695, 25 de julho de 1955, p. 3.

LEI para fluoretação obrigatório das águas de abastecimento do país. **O Globo**, 28 de abril de 1970, p. 8.

LINGUANOTTO, Daniel. O Brasil e os átomos. Nosso caminho para o futuro. **Revista Manchete**, n. 301, ano 5, p. 62. – Rio de Janeiro – 25 de janeiro de 1958.

LYRA, Jorge; LUIZ, Walter. Um passo à frente na medicina. **O Cruzeiro**, v. 29, n. 2, p. 24-26, 1956.

MORGADO, Valdir. Empresário candidato do PT financia filme. **Correio Braziliense**, 27 de abril de 1989, p. 5.

MUSEU de Arte Moderna. **Diário da Noite (SP)**, 9 de abril de 1952, p. 9.

NA ERA ATÔMICA: Indiferente o governo ante as pesquisas com isótopos radioativos. **Correio da Manhã (RJ)**, 07 de junho de 1956, p. 3.

NECROLOGIA. **Correio Paulistano**, 9 de abril de 1948, p. 1.

O JORNAL. “Atomb” – nova arma de Hitler. **O Jornal (RJ)**, Ano XXVI, n. 9497, sem página, 4 de outubro de 1944.

O JORNAL. Atirada na base de Hiroshima a primeira bomba atômica. **O Jornal (RJ)**, Ano XXVII, n. 7753, p. 1, 7 de agosto de 1945.

O MUNDO deve conhecer a guerra atômica. **A Noite**, v. 44, n. 15.087, 15 de agosto de 1955, p. 4.

PDS defende pleito direito. **Jornal do Commercio**, 24 de janeiro de 1980, p. 12.

PESQUISADOR inventa destilador de mercúrio. **O Estado de S. Paulo**, 07 de fevereiro de 1990, s. p..

POLUIÇÃO é tema na Sta. Úrsula. **Jornal do Brasil**, 11 de janeiro de 1979, p. 24.

POPULAÇÃO entra em pânico com notícia de vazamento em Angra. **Jornal do Brasil**, 10 de outubro de 1986, p. 9.

PROFESSOR americano dará um curso sobre radioisótopos. **Correio da Manhã (RJ)**, p. 15, 5 de junho de 1956.

PROFESSORES felicitam Revolução em manifesto. **Jornal do Brasil (RJ)**, 1º de abril de 1965, p. 5.

QUÍMICO... **O Globo**, 22 de março de 1973, p. 6.

RATIFICA a Rússia na ONU sua disposição de continuar as conversações com os EE.UU. **Correio Paulistano**, v. 101, n. 30.205, 25 de setembro de 1954, p. 1.

RENAN, Paulo. Abrigo Nuclear, de Roberto Pires: O fim do mundo, na visão futurista baiana. **Jornal do Brasil**, 18 de janeiro de 1981, p. 6.

SABÓIA descarta bomba atômica. **Diário do Pará (PA)**, 20 de agosto de 1986, p. 6.

SENADO aprova projeto para fluoretação da água nos reservatórios. **O Globo**, 17 de março de 1973, p. 11.

TODOS fabricarão bombas atômicas. **A Noite**, v. 44, n. 15.083, 10 de agosto de 1955, p. 4.

TROMBA D'ÁGUA mata cinco e desabriga 300 em Angra. **Jornal do Brasil**, 1º de março de 1985, p. 13.

TURFA, nova alternativa energética. **Jornal do Commercio**, 14 de abril de 1980, p. 9.

Livros e manuais

ABREU, Manoel de. **Contribuição ao estudo radiológico do mediastino na criança**. Rio de Janeiro: Canton & Beyer, 1930.

ABREU, Manoel de. **Novos estudos de radiologia vascular**. Rio de Janeiro: Canton & Beyer, 1927.

ANDREN, A. W.; NRIAGU, J. O. The Global Cycle of Mercury. In: NRIAGU, J. O. (ed.). **The Biogeochemistry of Mercury in the Environment**. Amsterdam: Elsevier North Holland, p. 1-22, 1979.

ARGENTIÈRE, R. **Átomos para Paz**. São Paulo: Edições PINCAR, 1957.

BONZOGO, Jean-Claude J., *et al.* **Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, p. 135-156, 2004.

BOTARO, Daniele; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Volume II. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.

BOYLE, R. W.. The biogeochemistry of mercury. In: **Effects of Mercury in the Canadian Environment**. National Research Council of Canadá, Ottawa, Canadá, p. 28-49, 1979.

BRAZIL: Atoms for peace. Rio de Janeiro: CNEN, 1959.

CALDAS, Luiz Renato; ALCÂNTARA GOMES, Roberto. Restaurações Celulares. In: FREIRE-MAIA, Newton. **Radiogenética humana**. São Paulo: Edgar Blücher/Editora da USP, 1972.

CARSON, Rachel. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1969 [1962].

COOPER, John. A. D. **Curso de Metodologia de Radioisótopos**. Instituto de Biofísica, Universidade do Brasil. Rio de Janeiro, 1956.

DUURSMA, Egbert K. Preface. In: LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* **Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, p. v-vi, 2004.

EBINGHAUS, Ralf, *et al.* **Mercury contaminated sites**: characterization, risk assessment, and remediation. Berlin, Germany: Springer, 1999.

EISENBUD, Merrill. **An Environmental Odyssey**: People, Pollution, and Politics in the Life of a Practical Scientist. Seattle and Washington: University of Washington Press, 1990.

FREIRE, G. S. S., *et al.* Geochemistry of Continental Shelf Sediments of the Ceará Coast, North-Eastern Brazil. In: LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* **Environmental Geochemistry in**

Tropical and Subtropical Environments. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, p. 365-377, 2004.

FREIRE-MAIA, Ademar; FREIRE-MAIA, Newton. **Efeitos genéticos das radiações no homem.** São Paulo: Editora Hucitec/UNESP-Marília, 1982.

FREIRE-MAIA, Newton; PAVAN, Crodowaldo. **Introdução ao Estudo da Drosófila.** Separata de CULTUS, v. 1, n. 5 [1949], São Paulo, 1950.

GOMES, Roberto Alcântara; CALDAS, Luiz Renato. **Introdução à Radiobiologia.** 2º fascículo: Ação Biológica das Radiações. Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1969.

GUILHERME, Olympio. **O Brasil e a Era Atômica:** livro negro dos acordos de minerais atômicos firmados entre o Brasil e os Estados Unidos. Rio de Janeiro: Editorial Vitória, 1957.

GUIMARÃES, Jean Remy. **Terra em transe:** crônicas de um planeta em risco. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2012.

HOLLAENDER, Alexander. Introdução. In: PAVAN, Crodowaldo; CUNHA, Antônio Brito da. (org.) **A energia atômica e o futuro do homem.** São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968, p. 5-7.

KJERFVE, B. ; Lacerda, L.D. ; DIOP, S. E. . **Mangrove Ecosystem Studies in Latin America and Africa.** Paris: UNESCO, v. 1, 1997, 349p.

LACERDA, Luiz Drude de (ed.). **Mangrove Ecosystems: Function and Management.** Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2002.

LACERDA, Luiz Drude de; KJERFVE, Björn. Conservation and Management of Latin American Mangroves. In: SALOMONS, Wim, *et al* (eds.). **Perspectives on Integrated Coastal Zone Management.** Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, p. 183-194, 1999.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* Sepetiba Bay: A Case Study of the Environmental Geochemistry of Heavy Metals in a Subtropical Coastal Lagoon. In: LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* **Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, p. 293-318, 2004.

LACERDA, Luiz Drude de; SALOMONS, Wim. **Merúrio na Amazônia:** Uma Bomba Relógio Química? Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992.

LACERDA, Luiz Drude de; SALOMONS, Wim. Mercury Contamination from New World Gold and Silver Mine Tailings. In: EBINGHAUS, Ralf, *et al.* **Mercury contaminated sites:** characterization, risk assessment, and remediation. Berlin, Germany: Springer, p. 73-87, 1999.

LACERDA, Luiz Drude de; SALOMONS, Wim. **Mercury from Gold and Silver Mining:** A Chemical Time Bomb? Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.

LACERDA, Luiz Drude de; SALOMONS, Wim. **Mercury in the Amazon:** a Chemical Time Bomb? Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment, Haren, 1991.

LEITÃO, Alvaro Augusto da Costa. Alvaro Augusto da Costa Leitão – Entrevistadores: Wanderley de Souza, Daniele Botaro. In: BOTARO, Daniele; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Volume II. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2017, p. 21-34.

LEITÃO, Álvaro Augusto da Costa. Carlos Chagas Filho e a rádio e fotobiologia no Brasil. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de (org.). **Recordações de Carlos Chagas Filho**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2010.

LEITÃO, Alvaro. Luiz Renato Carneiro da Silva Caldas. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2013a, p. 151-160.

LEITÃO, Alvaro. Roberto Alcântara Gomes. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2013b, p. 161-168.

LINDEBOOM, Han. Preface. In: CROSSLAND, Christopher J., *et al.* **Coastal Fluxes in the Anthropocene: The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, p. v-ix, 2005.

LYSSENKO, Trofim Denisovich. **A Herança e sua variabilidade**. Rio de Janeiro: Editorial Vitória Limitada, sem data.

MACEDO, Paulo. **Radiologia das fraturas e corpos estranhos dos maxilares**. Rio de Janeiro: Muniz, 1943.

MACHADO, Wilson; LACERDA, Luiz Drude de. Overview of the Biogeochemical Controls and Concerns with Trace Metal Accumulation in Mangrove Sediments. In: LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* **Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, p. 319-334, 2004.

MALAVOLTA, Eurípedes; CROCOMO, Otto. Radioisótopos em Agricultura. In: PAVAN, Crodowaldo; CUNHA, Antônio Brito da. (org.) **A energia atômica e o futuro do homem**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.

MALM, Olaf. Dos isótopos instáveis como traçadores em pesquisa biomédica à ecologia dos poluentes persistentes e saúde humana. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de (org.). **Recordações de Carlos Chagas Filho**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, p. 83-89, 2010.

MALM, Olaf; PFEIFFER, Wolfgang Christian; BOTARO, Daniele. Eduardo Penna Franca. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2013, p. 169-190.

MEADOWS, Donella H., *et al.* **Limites do crescimento**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1972.

MONOD, Jacques. **O Acaso e a Necessidade**: Ensaio sobre a filosofia natural da biologia moderna. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 1971.

MORGAN, Thomas Hunt, *et al.* **The Mechanism of Mendelian Heredity**. New York: Henry Holt and Company, 1915.

MORIARTY, F.. **Pollutants and Animals**: A Factual Perspective. London: George Allen and Unwin Ltd., 1974.

PATTI, Carlo (org.). **O programa nuclear brasileiro**: uma história oral. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 2014a.

PAVAN, Crodowaldo; CUNHA, Antônio Brito da. (org.) **A energia atômica e o futuro do homem**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.

PENNA FRANCA, Eduardo. **Manual de Biofísica, Fascículo VI**: Metodologia de Radio-Isótopos e Suas Aplicações em Biologia e Medicina. Rio de Janeiro: Universidade do Brasil - Instituto de Biofísica, 1961.

PFEIFFER, Wolfgang Christian. In: BOTARO, Daniele; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Volume II. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, p. 291-301, 2017.

PIERONI, Rómulo Ribeiro. **Metodologia y aplicaciones clinicas de los radioisotopos**. São Paulo: Instituto de Energia Atômica (IEA), 1959.

PONDÉ, Adriano; SILVEIRA, José. **Do Forsell-Berg em radiologia gástrica**. Rio de Janeiro: B. Frères, 1931.

RIBEIRO, Carlos Costa. A importância de Carlos Chagas Filho na criação do Laboratório de Radioisótopos e em minha vida profissional. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de (org.). **Recordações de Carlos Chagas Filho**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, p. 67-81, 2010.

SALOMONS, Wim, *et al.* **Coastal Fluxes in the Anthropocene**: The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, p. 145-200, 2005.

SALOMONS, Wim, *et al.* (eds.). **Perspectives on Integrated Coastal Zone Management**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, p. 183-194, 1999.

SANTOS, Marcello Damy de Souza. As radiações como fonte de energia para o homem. In: PAVAN, Crodowaldo; CUNHA, Antônio Brito da. (org.) **A energia atômica e o futuro do homem**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968, p. 24-58.

SCHRÖDINGER, Erwin. **O que é vida?** O aspecto físico da célula viva seguido de *Mente e matéria* e *Fragmentos Autobiográficos*. São Paulo: Editora UNESP Cambridge University Press, 1997[1944].

SILVEIRA, José. **Sobre as formas anátomo-clínicas da tuberculose pulmonar nos negros da Bahia**. Salvador: Artes Gráficas da Escola de Artífices da Bahia, 1939.

SOUZA, Levy de Albuquerque e. **Noções básicas elementares sobre radioisótopos**. Porto Alegre: Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Comerciantes, 1958.

STIGLIANI, W. M. (ed.). **Chemical Time Bombs: Definition, Concepts, and Examples**. International Institute for Applied Systems Analysis, A-2361, Laxenburg, Austria, 1991.

TABARELLI, Marcelo, *et al.* **PELD-CNPq – Dez anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Brasil: Achados, Lições e Perspectivas**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2013.

Fontes arquivísticas

ANNUAL REPORT to the United States Atomic Energy Commission. Project: Radioactivity Studies. Co-investigators: Merrill Eisenbud, Theodore Kneip. Institute of Environmental Medicine – **New York University Medical Center**. Contract Number: AT (30-1) 3086. October 1, 1967.

ANNUAL REPORT to the United States Atomic Energy Commission. Project: Radioactivity Studies. Co-investigators: Merrill Eisenbud, McDonald Wrenn. Institute of Environmental Medicine – **New York University Medical Center**. Contract Number: AT (30-1) 3086, September 1, 1968.

ATIVIDADE desenvolvida em 1966. **Centro de Medicina Nuclear – CMN**. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1966.

ATIVIDADE desenvolvida em 1967. **Centro de Medicina Nuclear – CMN**. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1967.

ATIVIDADE desenvolvida em 1968. **Centro de Medicina Nuclear – CMN**. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1968.

ATIVIDADE desenvolvida em 1969. XXº aniversário da Fundação. **Centro de Medicina Nuclear – CMN**. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1969.

BARRETO, Paulo M. C.; SIMÕES, Evaldo. **Relatório Final da Equipe de Rastreamento Aéreo da cidade de Goiânia**. Comissão Nacional de Energia Nuclear, outubro de 1987 – BR 8816891 INIS-BR-1005.

CALDAS, Luiz Renato Carneiro da Silva. **Curriculum vitae**. [entre 1980 e 1990].

CALDAS, Luiz Renato. Radiobiological study of the lysogenic systems of *Staph. albus*. **IAEA Technical Reports**, series 28, 1964, p. 57.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Relatório de Atividades. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1968a.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Relatório de Atividades. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1968b.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Relatório de Atividades. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1975.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Relatório de Atividades. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1976.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Relatório de Atividades. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1968-1977.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Relatório de Atividades – 1983 e informações de 1980 a 1982. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1983.

CENTRAIS NUCLEARES – Panorama mundial. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) – INF./1, 1962.

CENTRO de Medicina Nuclear. Atividade desenvolvida em 1969. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1969.

CENTRO de Medicina Nuclear: primeiros doze anos de atividades (1949-1961). Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1961.

CENTRO de Medicina Nuclear: primeiros doze anos de atividades (1949-1961). Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1961.

CENTRO de Medicina Nuclear: relatório de atividades – Período de 1955 a 1962. Faculdade de Medicina de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1962.

CERVellini, A., *et al.* **Preliminary studies on the water economy in “cerrados”.** Boletim Científico. BC-008. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 03 de dezembro de 1972.

CHAGAS FILHO, Carlos. **Laboratório de Biofísica.** Faculdade Nacional de Medicina. Universidade do Brasil. Rio de Janeiro, 1942.

CNEN. Relatório anual – 1985. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1985.

CNEN. Relatório anual - CNEN 1980. Autarquia vinculada ao Ministério das Minas e Energia, 1980.

CNEN. Relatório anual da Comissão Nacional de Energia Nuclear – 1970. Ministério das Minas e Energia, 1970.

CNEN. Relatório anual. Comissão Nacional de Energia Nuclear, Ministério de Minas e Energia, 1966.

CNEN. Relatório de Atividades 1995-1996. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1996, p. 71.

CNEN: Átomos, fonte de vida. Comissão Nacional de Energia Nuclear, s.d.

CORRESPONDÊNCIAS–Wolfgang Christian Pfeiffer-Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca-IBCCF-UFRJ.

COSTA, J. J. da Serra. **Processos de inferência de parâmetros.** Programa de Irradiação de Alimentos. 1971. GB. 07/71.

COSTA, J. J. da Serra. **Processos de Inferência de Parâmetros**. Programa de Irradiação de Alimentos. 1972.

COUCEIRO, Antonio, *et al.* Vitamina "A" e metabolismo da tireoide. In: Primeira reunião conjunta das Sociedades de Biologia do Brasil. **Contribuição do Instituto de Biofísica, Universidade do Brasil**. Rio de Janeiro, 1947, p. 15-16.

CROCOMO, O. J.; BASSO, L. C. **Radioisótopos em Bioquímica**. Boletim Didático. BD-014. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 18 de dezembro de 1973.

DE AZEVEDO, H. L. P., *et al.* **Selection of bioindicators for 90-Sr among the benthic marine algae from the Saco do Piraquara de Fora, Angra dos Reis, Rj (Preliminary Results)**. p. 253-254. Meeting on Radiological Protection and Dosimetry, Proceedings. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. CENTRECON, Itaipava – Rio de Janeiro, Brasil. March 21-26, 1983. INIS – BR – 86. BR8307688-BR8307770.

DIAS FILHO, Manoel. **Programa Brasileiro de Irradiação de Alimentos**. 1973. T-01-GB-00-001.

FERRAZ, E. S. B.; ZAGATTO, E. A. G.; NASCIMENTO, V. F. **Melhoria das condições estatísticas de contagem na determinação de cloro em folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em análise por ativação com nêutrons térmicos**. Boletim Científico. BC-029. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 12 de abril de 1975.

FERRAZ, E. S. Barros. **Estudo da evotranspiração real através da medida de umidade do solo por moderação de nêutrons**. Boletim Científico. BC-005. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 25 de setembro de 1972.

FONSECA, H., *et al.* **Efeito da radiação gama (^{60}Co) nas propriedades organolépticas e nutritivas do feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Mulatinho)**. Boletim Científico. BC-018. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 10 de maio de 1974.

GOUVEA, V. A., *et al.* **Preliminary Study of the Fouling Organisms in the Saco do Piraquara de Fora CNAAB, Angra dos Reis, Rj**. p. 266-267. Meeting on Radiological Protection and Dosimetry, Proceedings. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. CENTRECON, Itaipava – Rio de Janeiro, Brasil. March 21-26, 1983. INIS – BR – 86. BR8307688-BR8307770.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée.; PENNA FRANCA, Eduardo. **Radionuclide Bioaccumulation by Seaweeds from the Angra dos Reis Region**. p. 255-256. Meeting on Radiological Protection and Dosimetry, Proceedings. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. CENTRECON, Itaipava – Rio de Janeiro, Brasil. March 21-26, 1983. INIS – BR – 86. BR8307688-BR8307770.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée; WINTER, M. **Environmental Monitoring of the Angra Reactor Site**. Program and Results for Unit 1, Monitoring Period 1982-1984. Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD, Rio de Janeiro. Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 1986.

GUSMAN, A. B.; ANDO, A.; FERRAZ, E. S. B. **Radiosensibilidade em sementes**. Boletim Didático. BD-017. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 23 de janeiro de

1975.

HACON, Sandra de Souza, *et al.* **Seminário Riscos e Consequências do Uso do Mercúrio.** Rio de Janeiro: FINEP, 1990.

ICPR Publication 26. Recommendations of the ICRP. The International Commission on Radiological Protection. Oxford/New York/Toronto/Sydney/Frankfurt: Pergamon Press, 1977.

IV CURSO de Introdução à Radiobiologia. Instituto de Biofísica da Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro, MEC. Em convênio com a Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, Estado da Guanabara, Boletim de 1964.

KIRCHER, Edgar; CRUZ, Eloy S. da. **Usina Nuclear de Angra – Programa de Controle Ambiental.** X Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – Curitiba, Paraná, 1989. BR9533250 – INIS – BR – 3528.

LABORATÓRIO de Isótopos. Primeiro lustro de atividades (18 de Novembro de 1949 a 31 de Dezembro de 1954). Universidade de São Paulo, 1954.

LAMM, C. G. **Proteção radiológica e segurança em trabalhos com radiações ionizantes.** Boletim Didático. BD-009. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 30 de outubro de 1972.

MALM, Olaf, *et al.* Heavy metal monitoring by the critical pathway analysis in the Paraíba do Sul River (P. S. R.) Rio de Janeiro State, Brazil. In: **International Conference Heavy Metals in the Environment**, volume 1, Athens, p. 230-232, 1985.

MANUAL do garimpeiro. Orientação para o uso do azougue. Conselho Estadual de Meio Ambiente, CONSEMA, Porto Velho-RO, 1986.

MASSA, Maria Helena Lunas de Mello, *et al.* **Influência da irradiação sobre a composição química dos alimentos.** Programa de Irradiação de Alimentos. 1973. T-09-GB-03-003.

MASSA, Maria Helena Lunas de Mello; FAGUNDES, Carmen Célia Lima; CRUZ, Maria Helena Lopes da. **Efeitos da irradiação sobre arroz e trigo.** Programa de Irradiação de Alimentos. 1971. T-09-GB. 03-001.

MATSUI, E.; SALATI, E.; FERRAZ, E. S. B. **Medida da variação natural da relação D/H em amostras de água.** Boletim Científico. BC-001. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 1 de julho de 1971.

MENDONÇA, A. H., *et al.* **Pre-Operational Environmental Monitoring of the Angra Nuclear Power Plant Site-Program.** p. 249-250. Meeting on Radiological Protection and Dosimetry, Proceedings. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. CENTRECON, Itaipava – Rio de Janeiro, Brasil. March 21-26, 1983. INIS – BR – 86. BR8307688-BR8307770.

MHFM-TEXT-**Medicina Nuclear** – centro, s.d. Centro de Medicina Nuclear-FMUSP.

MHFM-TEXT-**Medicina Nuclear 2**, s.d. Centro de Medicina Nuclear-FMUSP.

NÓBREGA, Armi W. da; LEÃO, José Luiz B. **Medidas preliminares dos níveis ambientais**

de radiação na região de Itaorna (Angra dos Reis). Monitoração Ambiental – Agosto/1976 – Dezembro/1977 – DIMOP – Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), 1977.

O INSTITUTO de Biofísica – 1982-1983. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – Centro de Ciências da Saúde, 1983.

O INSTITUTO de Biofísica (1946-1971). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1971.

O INSTITUTO de Biofísica da Universidade do Brasil até dezembro de 1959. Instituto de Biofísica, Universidade do Brasil. Rio de Janeiro, 1960.

O PROGRAMA Nacional de Energia Nuclear. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1959.

OLIVEIRA, Airton de; CAMARA, Ranilson M. **Recuperação de ouro em placas mercurizadas.** Relatório de acompanhamento de testes (06 e 07/09/90). Porto Velho-RO: Ministério da Infraestrutura, 1990.

PEDRINI, A. G.; PEREIRA, M. A. S. **Composition of the Marine Macroflora in the Saco do Piraquara de Fora, CNAAA, Angra dos Reis, RJ.** p. 270-271. Meeting on Radiological Protection and Dosimetry, Proceedings. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. CENTRECON, Itaipava – Rio de Janeiro, Brasil. March 21-26, 1983. INIS – BR – 86. BR8307688-BR8307770.

PENNA FRANCA, Eduardo. **Memorial.** Concurso (Professor Titular) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Setor de Radiobiologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 1992.

PERSANO, Sagramor C. Mello; SILVA, Constância Pagano Gonçalves da. Montagem de um recinto blindado para produção de proteínas marcadas com iodo-131. **Publicação IEA (Informação)**, n. 61, p.1-9, 1978.

PFEIFFER, Wolfgang Christian. **Memorial.** Concurso (Professor Titular) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Setor de Biofísica Ambiental – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 1994.

PFEIFFER, Wolfgang Christian. Trânsito do cromo em ecossistemas aquáticos. In: **I Seminário Sobre Poluição Por Metais Pesados, 1979.** Brasília-DF: Ministério do Interior, Secretaria Especial do Meio-Ambiente-SEMA, Secretaria Adjunta de Ciência e Tecnologia-SACT, p. 29-37, 1980.

PIERONI, R. R.; ABRÃO, A.; LIMA, F. W. Improved urinary excretion test for assay of vitamin B-12 tagged with cobalto-60. **Publicação IEA**, n. 6, p. 1-13, 1958.

PIERONI, Rômulo Ribeiro, *et al.* Absorção intestinal da vitamina B-12 (Co-60) em gastrectomizados. **Publicação IEA**, n. 27, p. 1-16, 1959.

PINTO COELHO, Aristides. **Técnicas de Radiobioquímica.** Instituto de Biofísica da Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro. Trabalho publicado para os cursos de “Introdução à radiobiologia” sob o patrocínio da Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN. Rio de Janeiro, 1961.

PRADO, L. Cintra do.; PIERONI, Rômulo Ribeiro. O Instituto de Energia Atômica e o II P.A.G.E. Resumo das sugestões e comentários. **Publicação IEA (Série “Informações”)**, n. 3, p. 1-31, 1962.

PRADO, Luiz Cintra do. **Pontos essenciais de um programa de energia nuclear para o Brasil**. Comissão Nacional de Energia Nuclear: Rio de Janeiro, agosto de 1964.

PRIMEIRA memória sobre o Instituto de Biofísica. Universidade do Brasil. Rio de Janeiro, 1948.

REICHARDT, K. **Evaporação da água do solo**. Boletim Científico. BC-004. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 17 de agosto de 1972.

RELATÓRIO anual de 1988. Instituto de Radioproteção e Dosimetria, IRD. Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, 1988, p. 43.

RELATÓRIO ANUAL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Ministério das Minas e Energia. 1974.

RELATÓRIO de atividades do Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura – CNENA/ESALQ-USP. Piracicaba-SP, 1962.

RELATÓRIO de atividades do Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura – CNENA/ESALQ-USP. Piracicaba-SP, 1963.

RELATÓRIO de atividades do Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura – CNENA/ESALQ-USP. Piracicaba-SP, 1964.

RELATÓRIO de atividades do Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura – CNENA/CENA/ESALQ-USP. Piracicaba-SP, 1967.

RIBEIRO, Uriel da Costa. **Panorama Atual do Emprego da Energia Nuclear**. Conferência pronunciada na Escola Superior de Guerra. Ministério das Minas e Energia: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 14 de maio de 1968.

ROSSI, C.; CROCOMO, O. J. **Metabolismo de arginina – ^{14}C em girassol**. Boletim Científico. BC-010. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 28 de julho de 1973.

SALATI, E., *et al.* **Estudo preliminar das concentrações de O^{18} e D em águas do nordeste brasileiro**. Boletim Científico. BC-002. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 4 de novembro de 1971.

SGRILLO, R. B., *et al.* **Técnica para estudos ecológicos da mosca cubana *Lixophaga diatraea* Towns com uso de traçador radioativo**. Boletim Científico. BC-046. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 1977.

SILVA, Constância Pagano Gonçalves da. Produção de radioisótopos na Divisão de Radioquímica do Instituto de Energia Atômica. **Publicação IEA**, n. 159, p. 1-21, 1968.

SIQUEIRA, Newton de. **Levantamento bibliográfico do valor nutritivo do milho irradiado**. Programa de Irradiação de Alimentos. 1971. T-09-GB-01-001

THE RADIOLOGICAL Accident in Goiânia. International Atomic Energy Agency – IAEA. STI/PUB/815. Vienna-Austria, 1988.

VENDRAMIM, J. D.; ANDO, A. **Influência do teor de umidade na radiosensitividade em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Boletim Científico. BC-037. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 12 de setembro de 1975.

VETERE, M. I. de C. **Taxonomic Survey of the Bottom Fish Fauna in the Vicinity of CNAAA, Angra dos Reis.** p. 272-274. Meeting on Radiological Protection and Dosimetry, Proceedings. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. CENTRECON, Itaipava – Rio de Janeiro, Brasil. March 21-26, 1983. INIS – BR – 86. BR8307688-BR8307770.

VOLPI, C. A.; SILVA, A. J. Caubit da; CUNHA, M. L. da. **Furnas Experience on Licensing of Nuclear Power Plant Angra I.** FURNAS, 1980.

WHO, Environmental Health Criteria nº 1, Mercury. World Health Organization: Geneva, 1976.

WIENDL, F. M. **A desinfestação de grãos e produtos armazenados por meio de radiações ionizantes.** Boletim Didático. BD-018. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 03 de dezembro de 1975a.

WIENDL, F. M. **Mortalidade e reprodução de *Sitophilus zeamais* Mots. em macarrão e milho irradiado.** Boletim Científico. BC-039. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 20 de novembro de 1975b.

WIENDL, F. M., *et al.* **Mortalidade e reprodução de *Sitophilus zeamais* Mots. em arroz irradiado.** Boletim Científico. BC-015. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 15 de março de 1974.

WIENDL, F. M.; BOVI, O. A.; ARTHUR, V. **Esterilização e efeitos letais da radiação gama em adultos e ovos de *Sitotroga cerealella* (Olivier).** Boletim Científico. BC-028. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 28 de abril de 1975.

WIENDL, F. M.; LINK, D. **Influência da umidade, temperatura e radiação gama sobre a biologia de *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann) (Coleoptera, Bruchidae) em feijão.** Boletim Científico. BC-019. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 20 de junho de 1974.

WIENDL, F. M.; PACHECO, J. M. **Marcação de ovos de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) através de esperma radioativo (³²P).** Boletim Científico. BC-034. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 30 de junho de 1975.

WIENDL, F. M.; WALDER, J. M. M. **Perception of gamma radiation by adults of *Sitophilus zeamais* Mots.** Boletim Científico. BC-031. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 20 de maio de 1975.

Teses e dissertações

ABELIN, Neusa Maria Alves. **Estudo do eixo hipotálamo-hipofiso-tireoideano pela infusão de TRH em portadores de doença de chagas.** Dissertação (Mestrado em Ciências)

– Instituto de Biociências de Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. Publicação IEA, n. 77, 1978.

ACHANDO, Setsuko Sato. **Desenvolvimento de técnicas de medida de andrógenos plasmáticos testosterona (T), dihidrotestosterona (DHT), androstenediona (A) e dehidroepiandrosterona (DHEA), por radioimunoensaio e sua aplicação ao estudo de um defeito de síntese adrenocortical (21-hidroxilase).** Tese (Doutorado em Ciências – Fisiologia) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. Publicação IPEN, n. 6, 1980.

AMARAL, Eliana Corrêa da Silva. **Comportamento do ^{226}Ra no ambiente aquático da região da mina de urânio, Poços de Caldas, MG.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica). Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1979.

AMARAL, Eliana Correa da Silva. **Modificação da exposição à radiação natural devido a atividades agrícolas e industriais numa área de radioatividade natural elevada no Brasil.** Tese (Doutor em Ciências – Biofísica). Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, IBCCF. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 1992.

ARZOLLA, José Dal Pozzo. **Contribuição ao estudo da absorção e da translocação do radiozínco no cafeeiro (*Coffea arábica* L.).** Tese (Doutorado em Química Biológica). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP. Piracicaba-SP, 1955.

BARBÉRIO, José Carlos. **Teor de iodo em vegetais alimentícios (Análise por ativação com nêutrons).** Tese (Doutorado em Farmácia e Bioquímica) – Faculdade de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1966.

BARCINSKI, Marcello. **Investigação citogenética em populações brasileiras submetidas à irradiação crônica.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Biofísica). Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 1974.

BARRETO, A. L. B. **The effect of X-ray exposure on metabolism.** School of Hygiene and Public Health, John Hopkins University, sem data.

BASTOS, Wanderley Rodrigues. **Métodos de digestão utilizando microondas para determinação automatizada de Hg em amostras ambientais e humanas: implantação de laboratórios e avaliação da qualidade analítica.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho/Centro de Ciências da Saúde – Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

BASTOS, Wanderley Rodrigues. **Ocorrência ambiental do mercúrio e sua presença em populações ribeirinhas do Baixo Rio Madeira-Amazônia.** Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho/Centro de Ciências da Saúde – Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

BATISTA, Marcelo Cidade. **Comparação do teste da clonidina com o teste de tolerância à insulina na avaliação de pacientes com baixa estatura.** Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/USP, São Paulo, 1986.

BORGHI, Vânia Caira. **Contribuição ao conhecimento das alterações do eixo hipotálamo-hipofise-tireóideo na hipoproteinemia experimental em ratos wistar albinos (*Rattus***

norvegicus albinus). Tese (Doutorado em Ciências – Fisiologia) – Instituto de Biociências de Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. Publicação IEA, n. 86, 1978.

BRUGNARA, Miriam. **Influência dos sedimentos marinhos na distribuição dos principais radionuclídeos do efluente da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 1976.

CALDAS, Luiz Renato. **Estudo radiobiológico do sistema lisogênico do *Staphylococcus albus*.** Aspectos da replicação viral; efeitos da estreptomicina. Tese (Livre Docência de Física Biológica). Faculdade Nacional de Medicina da Universidade do Brasil. Instituto de Biofísica, Universidade do Brasil. Rio de Janeiro, 1963.

CALDAS, Luiz Renato. **Restaurações celulares após irradiação.** Instituto de Biofísica - Universidade do Brasil, Rio de Janeiro, 1960.

CROCOMO, Otto Jesu. **Estudo sobre o metabolismo de ureia- C^{14} aplicada às folhas de cafeeiro (*Coffea arábica* L.; var. Bourbon, B. Rodr., Choussy) normal e deficiente em nitrogênio.** Tese (Livre Docência da Cadeira de Química Orgânica e Biológica). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP. Piracicaba-SP, 1959.

DIAS FILHO, Manoel. **Técnica do EPR na determinação da irradiação a que foi submetido um alimento.** Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto Militar de Engenharia, 1974.

ESTON, Tede Eston de. **Contribuição ao estudo da dosimetria biológica na radiopatologia clínica.** Tese (Apresentada na Academia Brasileira de Medicina Militar). Rio de Janeiro, 1983.

FELZENSZWALB, Israel. **Estudo do efeito da redutona em células de *Escherichia coli* carenciadas.** Dissertação (Mestrado em Biociências Nucleares). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ. Rio de Janeiro, 1980.

FELZENSZWALB, Israel. **Étude de la réparation des lésions induites par les radiations ionisantes dans l'ADN – isolement et caractérisation du mutant radC d'*Escherichia coli* K12, clonage de ce gene et identification de la protéine RadC.** Tese (Doutorado em Ciências da Vida). Université Pierre et Marie Curie (Paris VI). Paris, França, 1991.

FONSECA, Maria Lucia Cavalcante Quartim. **Estudo sobre os processos de danificação e a estabilidade de duas preparações de hormônio de crescimento humano marcado com ^{125}I (hormônio de crescimento humano do National Institute of Health e do Instituto de Energia Atômica).** Dissertação (Mestrado em Fisiologia) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. Publicação IEA, n. 92, 1978.

FREITAS, Ana Cristina dos Santos. **Estudos em laboratório da interação entre I-131, Sr85, Co60 e Macroalgas da região de Angra dos Reis.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho/Centro de Ciências da Saúde – Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1986.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée. **Acumulação por algas bentônicas de radionuclídeos críticos a serem lançados no efluente líquido da Central Nuclear de Angra dos Reis.**

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica). Instituto de Biofísica – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 1982.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée. **Padronização de técnicas radioquímicas visando estudos de metilação e volatilização do Hg em sistemas aquáticos de áreas de garimpo de ouro na região amazônica.** Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho/Centro de Ciências da Saúde – Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1992a.

HIRATA, Iza Atomi Dobashi. **Fracionamento de extrato hipofisário humano, em sephadex g-100, para separação do hormônio de crescimento.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1970.

LACERDA Luiz Drude de. **Aplicação da metodologia dos parâmetros críticos no estudo da poluição por metais pesados na Baía de Sepetiba, RJ.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho – IBCCF – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1983.

LEAL, Miguel Archanjo Muniz. **Marcação radioisotópica do caramujo vetor da esquistossomose para estudos da dinâmica de população.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica). Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 1976.

LEITÃO, Álvaro Augusto da Costa. **Contribuição ao Estudo das Restaurações Celulares: Estudo do Efeito de Redutona a Nível Molecular.** Tese (Doutor em Ciências) – Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 1977.

MAGALHÃES, Valéria Freitas de. **Estudo da Incorporação de Metais Pesados em uma Espécie de Alga Marinha (*Padina gymnospora*) da Baía de Sepetiba Através da Utilização de Traçadores Radioativos.** Dissertação (Mestrado em Biociências Nucleares) Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, 1991.

MAGALHÃES, Valéria Freitas de. **Padronização para Medidas de Arsênio em Amostras Ambientais: O Caso da Baía de Sepetiba, RJ.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho-IBCCF – Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

MALM, Olaf. **Estudo da contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do Rio Madeira, Amazônia.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho-IBCCF, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

MALM, Olaf. **Estudo da poluição ambiental por metais pesados no sistema Rio Paraíba do Sul-Rio Guandu, através da análise pelos parâmetros críticos.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho-IBCCF, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1986.

MATTA, Maria Adelaide do Valle. **Radioatividade natural em alguns espécimens da biota marinha.** Dissertação (Mestre em Biociências Nucleares). Centro Biomédico da

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ. Rio de Janeiro, 1980.

MAYR, Leticia Maria. **Bioacumulação e eliminação de ^{60}Co e ^{137}Cs por *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Mollusca Bivalvia)** - Remobilização de ^{60}Co retido em sedimento marinho por atividade microbiana. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho-IBCCF, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1984.

MAYR, Letícia Maria. **Bioacumulação e eliminação de ^{60}Co e ^{137}Cs por *Anomalocardia brasiliana* (GMELIN, 1791) (Mollusca Bivalvia) (Remobilização de ^{60}Co , retido em sedimento marinho por atividade microbiana)**. Dissertação (Mestre em Ciências Biológicas – Biofísica). Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 1984.

MENCK, Carlos Frederico Martins. **Sobrevivência e sistemas de reparo em células de mamíferos**. Tese (Doutorado em Bioquímica). Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 1982.

MURAMOTO, Emiko. **Padronização do método radiobiológico para estimativa do “estimulador tireoidiano de ação prolongada” (LATS) no soro humano**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1970.

NAKAZONE, Atsuko Kumagai. **Radioimunoensaio para dosagem de hormônio de crescimento**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1970.

NICOLAU, Wilian. **A dosagem do ácido 3-metoxi-4-hidroximandélico na urina por técnica cromatográfica monodimensional**. Sua aplicação no estudo de indivíduos normais e em portadores de doença hipertensiva arterial essencial em condições basais e de hipoglicemia. Tese (Doutorado em Medicina) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1967.

NICOLAU, Wilian. **Estudo, no homem, do metabolismo do iodo com o auxílio da análise compartimental**. Tese (Concurso de livre docência em Clínica Médica) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1970.

OLIVEIRA, Regina Lúcia Batista da Costa de. **Controle da resposta celular a agentes alquilantes: mecanismo de reparação indutíveis em células de *Escherichia coli***. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Bioquímica). Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 1989.

OLIVEIRA, Regina Lúcia Batista da Costa de. **Produtos de termodegradação de sacarídeos: estudo do efeito sobre células de *Escherichia coli***. Dissertação (Mestrado em Biociências Nucleares). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ. Rio de Janeiro, 1980.

PENNA FRANCA, Eduardo. **Radioatividade na dieta dos habitantes das regiões brasileiras de elevada radiação natural**. Tese (Doutorado em Ciências – Biofísica) Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 1968.

PINTO, Heidi. **Avaliação crítica da radioiodação dos hormônios luteinizante e folículo estimulante hipofisários humanos com lactoperoxidase e sua comparação com o método clássico da cloramina-T**: aplicação na medida das gonadotrofinas séricas, no ciclo menstrual, após estímulo com fator liberador hipotalâmico. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. Publicação IEA, n. 85, 1978.

RAPP DE ESTON, Veronica. **Metabolismo do hidróxi-citrato de ítrio coloidal radioativo no rato** – Contribuição ao estudo funcional do sistema retículo-endotelial. Tese (Livre Docência de Química Fisiológica). Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, FMUSP. São Paulo, 1958

RODRIGUES PEREIRA, L. **Estudo radiocristalográfico de alguns produtos farmacêuticos**. Tese apresentada à Faculdade Nacional de Farmácia. Publicação do Instituto de Biofísica, Universidade do Brasil. Rio de Janeiro, 1953.

SHIMIZU, Takeko. **Dosagem do cortisol livre do plasma pelo método da diluição isotópica**. Dissertação (Mestre em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1971. Publicação IEA, n. 53, 1978.

SINGER, Eugenio da Mota. **Distribuição de temperatura na Baía de Piraquara de Fora, resultante da liberação do calor residual da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto em Angra dos Reis e seus possíveis efeitos ecológicos**. Dissertação (Mestre em Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1979.

STOFFEL, Maria Guadalupe. **Comportamento do ^{210}Pb no ambiente aquático da região da Mina de Urânio, Poços de Caldas, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica). Instituto de Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 1979.

TORRES, João Paulo Machado. **Ocorrência de micropoluentes orgânicos (organoclorados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) em sedimentos fluviais e solos tropicais**. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho-IBCCF, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

TORRES, João Paulo Machado. **Ocorrência e Distribuição de Metais Pesados no Rio Paraibuna, Juiz de Fora, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho-IBCCF, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1992.

VAN WEERELT, Margaretha. **Níveis de cromo no estuário do Rio Irajá (Baía da Guanabara) e incorporação experimental de ^{51}Cr em cracas (*Balanus sp.*)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biofísica) Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho-IBCCF, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1982.

Eventos, programas e relatórios

BARBOSA, Antonio Carneiro; JARDIM, Wilson de Figueiredo; MALM, Olaf. Controle e Monitoramento de Mercúrio na Amazônia Legal e no Pantanal – Programa Mercúrio (PROMER). In: VILLAS BÔAS, Roberto C.; BEINHOFF, Christian; SILVA, Alberto

Rogério da. (eds.). **Mercury in the Tapajós Basin**. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, p. 173-181, 2001.

FELZENSZWALB, Israel; BOITEUX, Serge; LAVAL, Jacques. **Molecular Cloning Of The Escherichia Coli Rad C Gene: Identification Of The Radc Protein**. In: Sixth International Conference on Environmental Mutagens. Book of Abstracts. Melbourne. p. 376, 1993.

KMUSSER. **MAPA da bacia de drenagem do Rio Amazonas com o Rio Madeira em destaque**. Digital Chart of the World, GTOPO. Licença Creative Commons CC BY-SA 3.0.

LACERDA, Luiz Drude de. **Monitoramento ambiental do mercúrio utilizando na mineração de ouro terciário**. Relatório Final do Programa Polo Noroeste, Oikos Pesquisa Aplicada Sc/Lt, Rio de Janeiro, p. 248-259, 1985.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* **Transferência de Materiais na Interface Continente-Oceano**. Relatório Executivo Final, Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza, 2008, 40p.

LACERDA, Luiz Drude de, *et al.* **Contaminação por mercúrio na Amazônia: análise preliminar do Rio Madeira, RO**. Anais do I Congresso Brasileiro de Geoquímica, n. 2, p. 295-299, 1987.

MALAVOLTA, E., *et al.* **“O uso de radioisótopos em técnicas agrícolas”**. Simpósio Radiação Ionizante e o Futuro da Espécie Humana, Anais da Academia Brasileira de Ciências, em impressão, 1967.

MENEGHINI, Rogerio, *et al.* Repair Mechanisms And Their Relations To Uv Inducibility Of Cancer. **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CURRENT TOPICS ON RADIOBIOLOGY AND PHOTOBIOLOGY**, v. II, n.2, p. 81-91, 1978.

MENEGHINI, Rogerio, *et al.* Relação Reparo-Mutagênese Em Células de Mamíferos. **ACTAS IV CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GENÉTICA**, v. 2, n.2, p. 387-393, 1980.

O BRASIL na Era Atômica. Direção: Jean Manzon. Rio de Janeiro: Atlantida Jean Manzon, [década de 1960]. 1 filme (10 minutos). Cópia do Arquivo Nacional. Fundo Comissão Nacional de Energia Nuclear. BR_RJANRIO_NN_0_FIL_6.

PAVAN, Crodowaldo, *et al* (eds.) **Mammalian Cytogenetics and Related Problems in Radiobiology**. Oxford-London-Edinburgh-New York-Paris: Pergamon Press, 1964.

PROGRAMA de Metas do Presidente Juscelino Kubitschek. Estado do Plano de Desenvolvimento Econômico em 30 de junho de 1958. Presidência da República, Serviço de Documentação: Rio de Janeiro, 1958.

RELATÓRIO da Delegação do Brasil à Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente. Volume 1, Estocolmo, 1972.

SIMPÓSIO Internacional Novas Tendências em Fotobiologia. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973.

UNIR. I Seminário sobre contaminação por mercúrio no Rio Madeira. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 1986.

Vídeos

IBCCF UFRJ. **Trajetórias em pesquisas ambientais no IBCCF e minha inserção nas últimas décadas.** 2022. (02h01m15s). YouTube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xCqJo78DIv4>. Acesso em: 03 nov. 2023.

RODA VIVA. **Contaminação Radioativa.** 1987. (02h16m06s). YouTube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fjtFXCkJXC0>. Acesso em: 06 nov. 2023.

Músicas

ATTOMICA. **Atomic Death.** In: Limits of Insanity, 1989.

MX. **Dead World.** In: Simoniactal, 1988.

RATOS DE PORÃO. **Cérebros Atômicos.** In: Descanse em Paz, 1986.

RATOS DE PORÃO. **Paranóia Nuclear.** In: Descanse em Paz, 1986.

RATOS DE PORÃO. **Poluição Atômica.** In: Crucificados pelo Sistema, 1984.

SEPULTURA. **Beneath the Remains.** In: Beneath the Remains, 1989.

SEPULTURA. **War.** In: Morbid Visions, 1986.

SP METAL. Intérpretes: Avenger, Centúrias, Vírus, Salário Mínimo. Brasil: Baratos Afins / Finland: Svart Records, c1984. 1 LP.

Entrevistas

BASTOS, Wanderley Rodrigues. Entrevista [29/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

FELZENSZWALB, Israel. Entrevista [21/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée. Entrevista 1 [27/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée. Entrevista 2 [28/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

LACERDA, Luiz Drude de. Entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

MAGALHÃES, Valéria Freitas de. Entrevista [12/04/2023] – CAAE:47237621.3.0000.5241.

MENCK, Carlos Frederico Martins. Entrevista [29/06/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

OLIVEIRA, Regina Lucia Batista Costa de. Entrevista [05/05/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

TORRES, João Paulo Machado. Entrevista [22/04/2021] – CAAE: 47237621.3.0000.5241.

Bibliografia

ACKER, Antoine. A different story in the anthropocene: Brazil's post-colonial quest for oil (1930-1975). **Past and Present**, n. 249, p. 167-212, 2020.

ACOT, Pascal. **História da ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1990.

ADAMSON, Matthew; TURCHETTI, Simone. Friends in fission: US-Brazil relations and the global stresses of atomic energy, 1945-1955. **Centaurus**, v. 63, p. 55-61, 2020.

ALARIO, Margarita; FREUDENBURG, William. Atoms for Peace, Atoms for War: Probing the Paradoxes of Modernity. **Sociological Inquiry**, v. 77, n. 2, p. 219-240, 2007.

ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

ALVARO Alberto da Mota e Silva. Verbete. FGV CPDOC. Copyright FGV 2009. Disponível em: <<http://www.fgv.br/cpdoc/acervo/dicionarios/verbete-biografico/alvaro-alberto-da-mota-e-silva>>. Acesso em: 30 de agosto de 2021.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de. **A opção nuclear: 50 anos rumo à autonomia**. Rio de Janeiro: MAST, 2006a.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de. Átomos na política internacional. **Revista CTS**, v. 7, n. 21, p. 113-140, 2012.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de. **Físicos, Mésons e Política: a dinâmica da ciência na sociedade**. São Paulo/Rio de Janeiro: Editora Hucitec/MAST, 1999.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de; MUNIZ, R.P.A. The quest for the Brazilian synchrocyclotron. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, v. 36, n. 2, p. 311-327, 2006b.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de; SANTOS, Tatiane Lopes dos. A criação da CNEN no contexto do governo JK. **Parcerias Estratégicas**, v. 14, n. 29, p. 225-236, 2009.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de; SANTOS, Tatiane Lopes dos. A dinâmica política da criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1956-1960. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 8, n. 1, p. 113-128, 2013.

ANDRADE, Edson Ramos de; BAUERMANN, Liliane de Freitas. **Introdução à Radiobiologia: conexões bioquímicas e biomoleculares**. Santa Maria: Editora UFSM, 2010.

ARAÚJO, João Paulo. **Heavy metal no Brasil: música e desenvolvimento cultural dos jovens na década de 1980**. Monografia (Graduação em História). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN: Natal, 2011.

ARAÚJO, Nilton de Almeida. **Pioneirismo e Hegemonia: a construção da agronomia como campo científico na Bahia (1832-1911)**. Tese (Doutorado em História). Programa de Pós-

Graduação em História, Universidade Federal Fluminense – UFF. Rio de Janeiro, 2010.

ARONOVA, Elena; BAKER, Karen; ORESKES, Naomi. Big Science and Big Data in Biology: From the International Geophysical Year through the International Biological Program to the Long Term Ecological Research (LTER) Network, 1957-Present. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v. 40, n. 2, p. 183-224, 2010.

ASIMOV, Isaac. **A Short History of Biology**. Garden City, New York: The Natural History Press, 1964.

AZEVEDO, Nara; FERREIRA, Luiz Otávio; ROSSI, Daiane Silveira. Mulheres no acervo de uma instituição científica: o Instituto Oswaldo Cruz (1930-1970). **Acervo**, v. 33, n. 2, p. 164-185, 2020.

BADASH, Lawrence. Becquerel's "unexposed" photographic plates. **Isis**, v. 57, n. 2, p. 267-269, 1966.

BADASH, Lawrence. Science and McCarthyism. **Minerva**, v. 38, p. 53-80, 2000.

BARCHI, Rodrigo. Depois do holocausto: encontros e diálogos entre o thrash metal e as perspectivas ecologistas em educação. **Revista de Estudios y Experiencias em Educación**, v. 17, n. 33, p. 127-142, 2018.

BARGUIL, Carmen Maria Kligman. **“O lugar e o valor da fisioterapia na terapêutica médica”**: a medicina prática nos primeiros trinta anos do século XX. Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) – Casa de Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2011.

BATISTA, Ricardo dos Santos. De Baltimore às "Lavras Diamantinas": internacionalização/interiorização da saúde na Bahia (1920-1930). **Tempo**, v. 26, n. 2, p. 431-453, 2019a.

BATISTA, Ricardo dos Santos. Educação e propaganda sanitárias: desdobramentos da formação de um sanitarista brasileiro na Fundação Rockefeller. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v.26, n.4, p. 1189-1202, 2019b.

BATISTA, Ricardo dos Santos; SILVA, Maria Elisa Lemos Nunes da Silva. A atuação de Antônio Luis Cavalcanti de Albuquerque de Barros Barreto na Reforma Sanitária da Bahia (1924-1930). **Revista Brasileira de História**, v. 40, n. 84, 313-337, 2020.

BOCKING, Stephen. Ecosystems, Ecologists, and the Atom: Environmental Research at Oak Ridge National Laboratory. **Journal of the History of Biology**, v. 28, n. 1, p. 1-47, 1995.

BOTARO, Daniele; SOUZA, Wanderley de. **Construtores do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**. Volume II. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.

BRAMWELL, Anna. **Ecology in the 20th century**. A History. New Haven and London: Yale University Press, 1989.

BURLAMAQUI, Mariana Mello; MASSARANI, Luisa; MOREIRA, Ildeu de Castro. A Ciência e a Era Atômica nos Textos de José Reis. **Revista CTS**, v. 12, n. 35, p. 91-108, 2017.

CARVALHO, Miguel Mundstock Xavier de; NODARI, Eunice Sueli; NODARI, Rubens Onofre. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 24, n. 1, p. 75-91, 2017.

CAVALCANTI, Juliana Manzoni. **A trajetória científica de Rudolf Kraus (1894-1932) entre Europa e América do Sul**: elaboração, produção e circulação de produtos biológicos. Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) – Casa de Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2013.

CHADAREVIAN, Soraya de. Mice and the Reactor: The “Genetics Experiment” in 1950s Britain. **Journal of the History of Biology**, v. 39, p. 707-735, 2006.

CHADAREVIAN, Soraya de. Portrait of a Discovery: Watson, Crick and the Double Helix. **Isis**, v. 94, n. 1, p. 90-105, 2003.

CHADAREVIAN, Soraya de; KAMMINGA, Harmke (ed.). **Molecularizing biology and medicine**: new practices and alliances, 1910s-1970s. Harwood Academic Publishers, 2005.

CHAGAS FILHO, Carlos. **Um aprendiz de ciência**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000.

CHASTAIN, Andra; LOREK, Timothy (Eds.). **Itineraries of Expertise**: Science, Technology, and the Environment in Latin America's Long Cold War. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2018.

CHERNUS, Ira. **Eisenhower's Atoms for Peace**. Texas A&M University Press: College Station, 2002.

CHRIST, Flaviane Mônica. **Garimpeiros da Amazônia (1970-2000)**. Tese (Doutorado em História) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em História, PPGH. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon-PR, 2020.

CORRÊA, Maria Letícia. **Estado e políticas públicas no setor de energia elétrica**: a implantação do Ministério das Minas e Energia (1961-1968). In: ANPUH – XXIV Simpósio Nacional de História: São Leopoldo, p. 1-8, 2007.

COSTA, Rodrigo Lourenço. **Thrash metal**: a paranoia do holocausto nuclear. Whiplash.net, 2013. Disponível em: <https://whiplash.net/materias/biografias/185963-anthrax.html>. Acesso em: 29/09/2021.

CREAGER, Angela. Atomic Tracings: Radioisotopes in Biology and medicine. In: ORESKES, Naomi; KRIGE, John (org.) **Science and Technology in the Global Cold War**. Cambridge: The MIT Press, 2014.

CREAGER, Angela. **Life Atomic**: A History of Radioisotopes in Science and medicine. Chicago/London: The University of Chicago Press, 2013.

CREAGER, Angela. Nuclear Energy in the Service of Biomedicine: The U.S. Atomic Energy Commission's Radioisotope Program, 1946-1950. **Journal of the History of Biology**, v. 39, p. 649-684, 2006b.

CREAGER, Angela; LANDECKER, Hannah. Technical matters: method, knowledge and infrastructure in twentieth-century life science. **Nature Methods**, v. 6, n. 10, p. 701-705, 2009.

CREAGER, Angela; SANTESMASES, María Jesús. Radiobiology in the Atomic Age: Changing Research Practices and Policies in Comparative Perspective. **Journal of the History of Biology**, v. 39, n. 4, p. 637-647, 2006a.

CUPERSCHMID, Ethel Mizrahy; MARTINS, Maria do Carmo Salazar. Instituto de Radium de Minas Gerais: vanguarda da radioterapia no Brasil, 1923-1935. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 21, n. 4, p. 1235-1260, 2014.

CURRY, Helen Anne. Atoms in Agriculture: A Study of Scientific Innovation Between Technological Systems. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v. 46, n. 2, p. 119-153, 2016.

DASTON, Lorraine. **Historicidade e objetividade**. São Paulo: LiberArs, 2017.

DASTON, Lorraine; GALISON, Peter. **Objectivity**. New York: Zone Books, 2007.

DAVIS, Kenneth S. The History of Radium. **Radiology**, v. 2, n. 5, p. 334-342, 1924.

DEL MASTRO, Nelida Lucia. Development of food irradiation in Brazil. **Progress in Nuclear Energy**, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999.

DELÉAGE, Jean-Paul. **Histoire de L'écologie: une science de L'homme et de la nature**. Paris: Éditions La Découverte, 1991.

DERRIDA, Jacques. **Gramatologia**. São Paulo: Perspectiva, 1999.

DESPRET, Vinciane. From Secret Agents to Interagency. **History and Theory**, v. 52, p. 29-44, 2013.

DIAS, Mateus; COSTA, Wing. Primeira separação de gêmeos siameses do mundo foi realizada em capixabas em 1900. **Gazeta Online**, publicado em 22/10/2016. Disponível em: <https://www.gazetaonline.com.br/especiais/capixapedia/2016/10/primeira-separacao-de-gemeos-siameses-do-mundo-foi-realizada-em-capixabas-em-1900-1013988395.html> [Acesso em: 15/04/2021].

DIAS, Ulisses Rodrigues. **Álvaro Alvim: o pioneiro dos Raios X no Brasil**. Dissertação (Mestrado em História) Universidade Severino Sombra, Vassouras/RJ, 2006.

DOLAN, Brian. Embodied skills and travelling savants: experimental chemistry in eighteenth-century Sweden and England. In: SIMÕES, Ana; CARNEIRO, Ana; DIOGO, Maria Paula (ed.). **Travels of Learning: A Geography of Science in Europe**. Springer-Science+Business Media, B. V., 2003.

DOROW, Patrícia Fernanda; MEDEIROS, Caroline de. (org.) **Proteção radiológica no diagnóstico e terapia**. Florianópolis: Publicações do IFSC, 2019.

DROGAN, Mara. The Nuclear Imperative: Atoms for Peace and the Development of U.S Policy on Exporting Nuclear Power, 1953-1955. **Diplomatic History**, v. 0, n. 0, p. 1-27,

2015.

DROUIN, Jean-Marc. **Reinventar a Natureza**. A ecologia e sua história. Lisboa: Editora Instituto Piaget, 1993.

DUNN, Christopher. Desbunde and Its Discontents: Counterculture and Authoritarian Modernization in Brazil, 1968-1974. **The Americas**, v. 70, n. 3, p. 429-458, 2014.

EDUARDO, Andre Gustavo de Paula; ABRAMOVICTZ, Felipe. Alegorias do arbítrio: O Pedestre (1966) em diálogo com Manhã Cinzenta (1969). **Novos Olhares**, v. 9, n. 1, p. 230-244, 2020.

ERICKSON, Paul, *et al.* **How reason almost lost its mind**: the strange career of Cold War rationality. Chicago: The University of Chicago Press, 2013.

ESQUIBEL, Maria Aparecida. Professor Carlos Chagas Filho e a eleição do *Electrophorus electricus* (L) como objeto de pesquisa: abordagens biofísicas, bioquímicas e em demais áreas. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de (org.). **Recordações de Carlos Chagas Filho**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2010, p. 17-26

ESTEVEES, Bernardo. **Domingo é dia de ciência**: história de um suplemento dos anos pós-guerra. Rio de Janeiro: Azougue Editorial, 2006.

FARIA, Rodrigo Cristino de. **Filosofia, história, astronomia**: um estudo sobre Ptolomeu. Tese (Doutorado em Filosofia) Programa de Pós-Graduação em Filosofia do Departamento de Filosofia - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo/FFLCH-USP. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

FERNANDES, Bruno Fraga. **A construção da memória ambiental e a consolidação da ecologia no Brasil (1944-1976)**. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Seropédica, 2016.

FERNANDES, Bruno Fraga. **A institucionalização da ecologia no Brasil: contribuições científicas do Museu Nacional e da Fiocruz**. In: ANPUH – XXVIII Simpósio Nacional de História: Florianópolis-SC, p. 1-16, 2015.

FERREIRA, Luiz Otávio; AZEVEDO, Nara. Sucesso e Fracasso das Faculdades de Filosofia: ciência, cientistas e universidade no Brasil, 1930-1960. **Locus: revista de história**, v. 18, n. 2, p. 283-310, 2013.

FIGUEIRÔA, Sílvia F. de M. “Uses and circulation of historical scientific instruments”. In: GRANATO, Marcus; LOURENÇO, Marta C. **Scientific instruments in the history of Science**: studies in transfer, use and preservation. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins, 2014. pp.15-32.

FIGUEIRÔA, Sílvia. **As ciências geológicas no Brasil**: uma história social e institucional, 1875-1934. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**: introdução à doutrina do estilo de pensamento e do coletivo de pensamento. Belo Horizonte: Fabrefactum Editora, 2010.

FONSECA, Dante Ribeiro da. O Garimpo de Ouro no Rio Madeira durante a década de 1980 segundo a percepção de um garimpeiro. **Afros & Amazônicos**, v. 2, n. 4, p. 36-48, 2021.

FRAGU, Philippe. How the Field of Thyroid Endocrinology Developed in France after World War II. **Bulletin of the History of Medicine**, v. 77, n. 2, p. 393-414, 2003.

FRANCIS, Toni. **Nos 103 anos de Porto Velho, G1 ouve histórias de pescadores sobre a extinta cachoeira de Teotônio**. G1, 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/nos-103-anos-de-porto-velho-g1-ouve-historias-de-pescadores-sobre-a-extinta-cachoeira-de-teotonio.ghtml>. Acesso em: 06/09/2023.

FREIRE JUNIOR, Olival. Sobre a Relação Entre Regimes Políticos e Desenvolvimento Científico: Apontamentos para um Estudo Sobre a História da C&T Durante o Regime Militar Brasileiro. **Revista de História e Estudos Culturais**, Rio de Janeiro, v.4, ano IV, n.3, pp.1-11, jul.-ago.-set. 2007.

FROTSCHER, Méri. Memórias do nazismo e da guerra em duas gerações de descendentes de alemães repatriados para o Brasil. **Fronteiras: Revista Catarinense de História**, v. 26, p. 23-49, 2015.

GANDRA, Alana. **Avaliação técnica de Angra 3 deve estar concluída até o fim deste ano**. Agência Brasil c2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-07/avaliacao-tecnica-de-angra-3-deve-estar-concluida-ate-o-fim-deste-ano>>. Acesso em: 08/09/2021.

GARCÍA-SANCHO, Miguel; MYELNIKOV, Dmitriy. Between mice and sheep: Biotechnology, agricultural science and animal models in late-twentieth century Edinburgh. **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 75, p. 24-33, 2019.

GEORGE de Hevesy - Biográfico. NobelPrize.org. Divulgação do Prêmio Nobel, 2021. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1943/hevesy/biographical/>>. Acesso em: 17 de junho de 2021.

GILMAN, Nils. The Cold War as Intellectual Force Field. **Modern Intellectual History**, p. 1-17, 2014.

GONZALEZ, Bernardo Celso de Rezende; COSTA, Silvia Maria Almeida Lima. Agricultura brasileira: modernização e desempenho. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 5, n. 10, p. 7-35, 1998.

GORDON, Ana Maria Pinho Leite. **Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – (1956-2000)** Um estudo de caso à luz da história da ciência, da tecnologia e da cultura brasileira. Tese (Doutorado em História) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2003.

GUTTERIDGE, John M. C.; HALLIWELL, Barry. Free Radicals and Antioxidants in the Year 2000: A Historical Look to the Future. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 899, n. 1, p. 136-147, 2000.

HABIB, Paula Arantes Botelho Briglia. **Agricultura e biologia na Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ (ESALQ): os estudos de genética nas trajetórias de Carlos**

Teixeira Mendes, Octavio Domingues e Salvador de Toledo Piza Jr. (1917-1937). Tese (Doutorado em História das Ciências). Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, Casa de Oswaldo Cruz – COC, Fiocruz. Rio de Janeiro, 2010.

HAMILTON, Clive. The Anthropocene as rupture. **The Anthropocene Review**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2016.

HARAWAY, Donna. Antropoceno, Capitaloceno, Plantationceno, Chthuluceno: fazendo parentes. **ClimaCom Cultura Científica**, v. 3, n. 5, p. 139-146, 2016.

HARMER, Tanya. The Cold War in Latin America. In: **The Routledge Handbook of the Cold War**. New York: Routledge, 2014.

HAUSMANN, Rudolf. **História da Biologia Molecular**. Ribeirão Preto-SP: Sociedade Brasileira de Genética, 1997.

HERMANN Joseph Muller - Biográfico. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2021. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1946/muller/biographical/>>. Acesso em: 15 de junho de 2021b.

HERMANN Joseph Muller - Fatos. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2021. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1946/muller/facts/>>. Acesso em: 16 de junho de 2021a.

HERRAN, Néstor. Spreading nucleonics: the Isotope School at the Atomic Energy Research Establishment, 1951-67. **The British Journal for the History of Science**, v. 39, n. 4, p. 569-586, 2006.

HOBSBAWM, Eric. **Era dos Extremos: o breve século XX: 1914-1991**. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

JACOB, François. **The Statue Within: An Autobiography**. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1995.

JESSEE, Emory Jerry. **Radiation ecologies: bombs, bodies, and environment during the atmospheric nuclear weapons testing period, 1942-1965**. Dissertation (Doctor of Philosophy in History) – Montana State University, Bozeman, Montana, 2013.

JOSEPH, Gilbert. What we now know and should know: bringing Latin America more meaningfully into Cold War Studies. In: JOSEPH, Gilbert; SPENSER, Daniela. (editors) **In from the Cold: Latin America's New Encounter with the Cold War**. Durham, N. C.: Duke University Press, 2008.

KAMENSKY, Andrea Paula dos Santos Oliveira; RIBEIRO, Suzana Lopes Salgado. Relações da História Oral com a História da Ciência na produção do conhecimento. In: GATTAZ, André; MEIHY, José Carlos Sebe Bom; SEAWRIGHT, Leandro (org.). **História oral: a democracia das vozes**. São Paulo: Pontocom, 2019.

KAY, Lily E. **The Molecular Vision of Life: Caltech, The Rockefeller Foundation, and the Rise of the New Biology**. New York/Oxford: Oxford University Press, 1993.

KELLER, Evelyn Fox. **Physics and the Emergence of Molecular Biology: A History of**

- Cognitive and Political Synergy. **Journal of the History of Biology**, v. 23, p. 389-409, 1990.
- KELLER, Evelyn Fox. Physics and the Emergence of Molecular Biology: A History of Cognitive and Political Synergy. **Journal of the History of Biology**, v. 23, p. 389-409, 1990.
- KOHLER, Robert. **Lords of the Fly: Drosophila Genetics and the Experimental Life**. Chicago: The University of Chicago Press, 1994.
- KRIGE, John. Atoms for Peace: Scientific Internationalism, and Scientific Intelligence. **Osiris**, v. 21, n. 1, p. 161-181, 2006.
- KRIGE, John. Concluding Remarks. In: ORESKES, Naomi; KRIGE, John (org.) **Science and Technology in the Global Cold War**. Cambridge: The MIT Press, 2014.
- KUHN, Thomas. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2013.
- LAGO, André Aranha Corrêa do. **Estocolmo, Rio, Joanesburgo: o Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas**. Brasília-DF: Funag, 2006.
- LANDECKER, Hannah. **Culturing Life: How Cells Became Technologies**. Cambridge/London: Harvard University Press, 2007.
- LARA, Jorge Tibilletti de. **A virologia no Instituto Oswaldo Cruz e a emergência da dengue como problema científico**. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e da Saúde) – Casa de Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2020.
- LAVINE, Matthew. The Early Clinical X-Ray in the United States: Patient Experiences and Public Perceptions. **Journal of the History of Medicine and Allied Sciences**, v. 67, n. 4 p. 587-625, 2012.
- LE PRESTRE, Philippe. **Ecopolítica Internacional**. São Paulo, Editora Senac, 2005.
- LEÃO, Regina Machado (org.). **Trinta anos em CENA**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1997.
- LEITÃO, Álvaro Augusto da Costa. Carlos Chagas Filho e a rádio e fotobiologia no Brasil. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de (org.). **Recordações de Carlos Chagas Filho**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2010.
- LELIEVELD, Jos. Foreword. In: CRUTZEN, Paul; BRAUCH, Hans Günter (eds.). **Paul J. Crutzen: A Pioneer on Atmospheric Chemistry and Climate Change in the Anthropocene**. Mosbach, Germany: Springer – SpringerBriefs on Pioneers in Science and Practice, p. vii-xii, 2016.
- LENOIR, Timothy; HAYS, Marguerite. The Manhattan Project for Biomedicine. In: SLOAN, Philip R. (ed.). **Controlling Our Destinies: Historical, Philosophical, Ethical, and Theological Perspectives on the Human Genome Project**. Notre Dame: University of Notre Dame Press, 2000.
- LEVI, Giovanni. Microhistoria e Historia Global. **Historia Crítica**, v. 69, p. 21-35, 2018.

LIGNANI, Leonardo de Bem. Os Debates sobre o DDT na Trajetória de Waldemar Ferreira de Almeida (1965-1973): Toxicologia dos Agrotóxicos e Articulação entre Ciência, Saúde e Ambiente. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 7, n. 3, p. 123-144, 2018.

LIGNANI, Leonardo de Bem; BRANDÃO, Júlia Lima Gorges. A ditadura dos agrotóxicos: o Programa Nacional de Defensivos Agrícolas e as mudanças na produção e no consumo de pesticidas no Brasil, 1975-1985. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 29, n. 2, p. 337-359, 2022.

LIMA, Ana Luce Girão Soares de. **Ciência e Política no Brasil**: Carlos Chagas Filho e o Instituto de Biofísica (1931-1951). Tese (Doutorado em História das Ciências) – Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, Casa de Oswaldo Cruz – COC, Fiocruz. Rio de Janeiro, 2009.

LIMA, Ana Luce Girão Soares de. **Um estudo de caso**: a criação do Instituto e Biofísica. Anais do XXVI Simpósio Nacional de História – ANPUH. São Paulo: julho de 2011.

LINDSETH, Brian Sewell. **From Radioactive Fallout to Environmental Critique**: Ecology and the Politics of Cold War Science. Dissertation (Doctor of Philosophy in Sociology - Science Studies) - University of California, San Diego, 2013.

LINHA do tempo. Furnas. Disponível em: < <https://www.furnas.com.br/subsecao/253/linha-do-tempo?culture=pt>>. Acesso em: 06/09/2021.

LINHARES, Joiada Moreira da Silva; RODRIGUES, Wanderley Bastos; MARTA, José Manoel Carvalho. Exploração aurífera artesanal e a migração de garimpeiros para o território rondoniense. **Fronteiras: Revista de História**, v. 19, n. 33, p. 43-69, 2017.

LUCAS, Clarinda Rodrigues. História da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. **Rua**, v. 5, p. 141-147, 1999.

MAIA, Carlos Alvarez. Agência material recíproca: uma ecologia para os estudos da ciência. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 24, n. 2, p. 447-464, 2017.

MAIO, Marcos Chor. Demandas globais, respostas locais: a experiência da Unesco na periferia no pós-guerra (1946-1952). In: MAIO, Marcos Chor (org.) **Ciência, política e relações internacionais**: ensaios sobre Paulo Carneiro. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz e Unesco, 2004.

MAIO, Marcos Chor; SÁ, Magali Romero. Ciência na periferia: a Unesco, a proposta de criação do Instituto Internacional da Hileia Amazônica e as origens do Inpa. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 6, p. 975-1017, 2000.

MANES, George. The Discovery of X-Ray. **Isis**, v. 47, n. 3, p. 236-238, 1956.

MANSAN, Jaime Valim. A Escola Superior de Guerra e a formação de intelectuais no campo da educação superior no Brasil (1964-1988). **Revista Brasileira de Educação**, v. 22, n. 70, p. 826-850, 2017.

MARINHA lança ao mar submarino Humaitá. ABEN. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/noticias/marinha-lanca-ao-mar-submarino-humaita>>. Acesso em: 08/09/2021.

MARINHO, Maria Gabriela S. M. C. A Fundação Rockefeller e a constituição da pesquisa e de especialidades biomédicas em São Paulo (1916-1968). In: FRANCO et al. **Uma história brasileira das doenças**, volume 7. Belo Horizonte: Editora Fino Traço, 2017.

MARTIN, Andrey Minin. **Cinema, propaganda e energia elétrica: Jean Manzon.** Grandes projetos hidrelétricos no regime militar brasileiro. In: ANPUH – 30º Simpósio Nacional de História – Recife, 2019.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Becquerel e a descoberta da radioatividade:** uma análise crítica. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

MARTINS, Roberto de Andrade. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, n. 7, p. 27-45, 1990.

MATEOS, Gisela; SUÁREZ-DÍAZ, Edna. ‘We are not a rich country to waste our resources on expensive toys’: Mexico’s version of Atoms for Peace. **History and Technology**, v. 31, n. 3, p. 243-258, 2016b.

MATEOS, Gisela; SUÁREZ-DÍAZ, Edna. **Atoms for Peace in Latin America.** Oxford Research Encyclopedia, Latin American History. Oxford University Press, 2016a.

MATEOS, Gisela; SUÁREZ-DÍAZ, Edna. Creating the need in Mexico: the IAEA’s technical assistance programs for *less developed* countries (1958-68). **History and Technology**, v. 36, n. 3-4, p. 418-436, 2021.

MAZOWER, Mark. **Continente Sombrio:** A Europa no século XX. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

McNEILL, John R.; ENGELKE, Peter. **The Great Acceleration:** An Environmental History of the Anthropocene since 1945. Cambridge, Massachusetts, London, England: The Belknap Press of Harvard University Press, 2014.

MEDHURST, Martin. Atoms for Peace and Nuclear Hegemony: The Rhetorical Structure of a Cold War Campaign. **Armed Forces & Society**, v. 23, n. 4, p. 571-593, 1997.

MËHILLI, Elidor. Technology and the Cold War. In: KALINOVSKY, Artemy; DAIGLE, Craig (eds.). **The Routledge Handbook of the Cold War.** New York: Routledge, p. 292-304, 2014.

MEINERZ, Marcos Eduardo. *Operação Odessa:* a fuga dos criminosos de guerra nazistas para a América Latina após a Segunda Guerra Mundial e os caçadores de nazistas. **Mediações**, v. 19, n. 1, p. 41-60, 2014.

MENDES, João. O “Antropoceno” por Paul Crutzen & Eugene Stoermer. **Anthropocena. Revista de Estudos do Antropoceno e Ecocrítica**, v. 1, p. 113-116, 2020.

MENDONÇA, Sonia Regina de. **A industrialização brasileira.** São Paulo-SP: Editora Moderna, 2004.

MENDONÇA, Sonia Regina de. Agronomia, agrônomos e política no Brasil (1930-1961). **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 3, n. 2, p. 126-141, 2010.

MENDONÇA, Sonia Regina de. **O Ruralismo Brasileiro (1888-1931)**. São Paulo-SP: Hucitec, 1997.

MÉTHOT, Pierre-Olivier. Writing the history of virology in the twentieth century: Discovery, disciplines, and conceptual change. **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 59, n. 1, p. 145-153, 2016.

MISSE FILHO, Michel; PAIVA, Raquel. A poluição na Baía de Guanabara e a emergência da pauta ambiental no jornal O Globo. **Reciis**, v. 14, n. 2, p. 292-306, 2020.

MOLINA, Ariel de Andrade; NORDER, Luiz Antonio Cabello. A contribuição de Frederico Carlos Hoehne (1882-1959) para o pensamento agroambiental brasileiro. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, p. 70-80, 2014.

MOLINA, Rodrigo Sarruge. **Agro, ditadura e universidade: ESALQ-USP e a modernização conservadora (1964 a 1985)**. Campinas-SP: Autores Associados, 2022.

MOREIRA, Ildeu de Castro. A ciência, a ditadura e os físicos. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 4, p. 48-53, 2014.

MOSLEY, Stephen. Environmental History of Air Pollution and Protection. In: AGNOLETTI, Mauro; NERI SERNERI, Simone. (eds.). **The Basic Environmental History**. Switzerland: Springer International Publishing, p. 143-169, 2014.

MOTTA, Rodrigo Patto Sá. Universidades, ditadura e cultura política. **Interseções**, v. 16, n. 1, pp.69-89, 2014.

MURPHY, Michael; O'NEILL, Luke (org.) **"O que é vida?" 50 anos depois**. Especulações sobre o futuro da biologia. São Paulo: Editora UNESP e Cambridge University Press, 1997.

NASCIMENTO, Cássius Klay; BRAGA, João Pedro. Aspectos históricos da visita de Marie Sklodowska Curie a Belo Horizonte. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1888-1891, 2011.

NELSON, Craig Doyle. **Nuclear bonds: Atoms for Peace in the Cold War and in the non-western world**. Thesis (Degree Master's of Arts) – Graduate School of the Ohio State University. History Graduate Program, 2009.

NUNES, Romão da Cunha; CAFÉ, Marcos Barcellos; STRINGHINI, José Henrique; DAMASCENO, Adilson Donizeti. A história e a importância do periódico científico: Anais da Escola de Agronomia e Veterinária da UFG. **Revista UFG**, v. 13, n. 13, p. 136-139, 2012.

OATSVALL, Neil. Atomic Agriculture: Policymaking, Food Production, and Nuclear Technologies in the United States, 1945-1960. **Agricultural History**, v. 88, n. 3, p. 368-387, 2014.

OLIVEIRA, Amélia de Jesus. História e filosofia da ciência na obra de George Sarton. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 9, n. 1, p. 126-138, 2016.

ORESQUES, Naomi; KRIGE, John (org.) **Science and Technology in the Global Cold War**.

Cambridge: The MIT Press, 2014.

OSADA, Neide Mayumi; COSTA, Maria Conceição da. A construção social de gênero na Biologia: preconceitos e obstáculos na biologia molecular. **Cadernos Pagu**, v. 27, p. 279-299, 2006.

PÁDUA, José Augusto. Brazil in the History of Anthropocene. In: ISSBERNER, Liz-Rejane; LENA, Philippe (Eds.). **Brazil in the Anthropocene: Conflicts between Predatory Development and Environmental Policies**. London: Routledge, 2017.

PAGOTTO, Érico Luciano. **Greenwashing: os conflitos éticos das propagandas ambientais**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Mudanças Sociais e Participação Política – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo – EACH-USP. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PATTI, Carlo (org.). **O programa nuclear brasileiro: uma história oral**. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 2014.

PATTI, Carlo. **The origins of the Brazilian nuclear programme, 1951-1955**. *Cold War History*, v. 15, n. 3, p. 1-21, 2014b.

PAULA, Dilma Andrade de; CORRÊA, Maria Letícia. A Central Elétrica de Furnas e o desenvolvimentismo no Brasil (1952-1965). **América Latina em la historia económica**, v. 21, n. 2, p. 145-167, 2014.

PFEIFFER, Ulrike Julie Maria. **Uma vida dia a dia**. São Paulo: Scortecci, 2016.

PIRES, Murilo José de Souza; RAMOS, Pedro. O termo modernização conservadora: sua origem e utilização no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 3, p. 411-424, 2009.

PRÊMIO Nobel de Química de 1943. NobelPrize.org. Divulgação do Prêmio Nobel, 2021. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1943/summary/>>. Acesso em: 18 de junho de 2021.

PUGLIESE, Gabriel. **Sobre o “Caso Marie Curie”**. A radioatividade e a subversão do gênero. São Paulo: Alameda, 2012.

RADER, Karen. **Making mice: Standardizing animals for American biomedical research, 1900-1955**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2004.

RAMOS, Pedro; PIACENTE, Fabrício J. O Instituto Agrônomo de Campinas: sua criação, importância e um pouco de sua história. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 15, n. 2, p. 365-392, 2016.

RANGEL, Marcio Ferreira. **Um entomólogo chamado Costa Lima: a consolidação de um saber e a construção de um patrimônio científico**. Tese (Doutorado em História das Ciências). Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde – Casa de Oswaldo Cruz – COC, Fiocruz. Rio de Janeiro, 2006.

RASMUSSEN, Nicolas. **Picture control: the Eletron Microscope and the Transformation of Biology in America, 1940-1960**. Stanford University Press, 1997.

RHEINBERGER, Hans-Jörg. **An Epistemology of the Concrete: Twentieth-Century Histories of Life**. Durham (North Carolina): Duke University Press Books, 2010.

RHEINBERGER, Hans-Jörg. Beyond Nature and Culture: A Note on Medicine in the Age of Molecular Biology. **Science in Context**, v. 8, n. 1, p. 249-263, 1995.

RHEINBERGER, Hans-Jörg. Experiment, difference, and writing: 1. tracing protein synthesis. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 23, n. 2, p. 305-331, 1992a.

RHEINBERGER, Hans-Jörg. Experiment, difference, and writing: 2. The laboratory production of transfer RNA. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 23, n. 3, p. 389-422, 1992b.

RIBEIRO, Carlos Costa. A importância de Carlos Chagas Filho na criação do Laboratório de Radioisótopos e em minha vida profissional. In: ALMEIDA, Darcy Fontoura de; SOUZA, Wanderley de (org.). **Recordações de Carlos Chagas Filho**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2010, p. 67-81.

RIBEIRO, Jayme. Os "combatentes da paz" - a participação dos comunistas brasileiros na Campanha pela Proibição das Armas Atômicas (1950). **Estudos Históricos**, v. 21, n. 42, p. 261-283, 2008.

RIBEIRO, Maria Alice Rosa. **História, Ciência e Tecnologia: 70 anos do Instituto Biológico de São Paulo na defesa da Agricultura 1927-1997**. São Paulo-SP: Instituto Biológico de São Paulo, 1997.

ROBERTS, Adam. **A verdadeira história da ficção científica: do preconceito à conquista das massas**. Tradução: Mário Molina. São Paulo: Seoman, 2018.

SAES, Alexandre Macchione. Energia elétrica e diplomacia: relações Brasil-EUA no setor elétrico brasileiro, 1945-54. **História Unisinos**, v. 24, n. 2, p. 240-255, 2020.

SAGAN'S SCIENCE MENTORS. Loc.gov - Library of Congress, 2021. Disponível em: <<https://www.loc.gov/collections/finding-our-place-in-the-cosmos-with-carl-sagan/articles-and-essays/carl-sagan-and-the-tradition-of-science/sagans-science-mentors> c2021>. Acesso em: 16 de junho de 2021.

SANTESMASES, María Jesús. Peace Propaganda and Biomedical Experimentation: Influential Uses of Radioisotopes in Endocrinology and Molecular Genetics in Spain (1947-1971). **Journal of the History of Biology**, v. 39, p. 765-794, 2006.

SARTON, George. The discovery of X-rays. **Isis**, v. 26, n. 2, p. 349-369, 1937.

SCHLEPER, Simone. Conservation Compromises: The MAB and the Legacy of the International Biological Program, 1964-1974. **Journal of the History of Biology**, v. 50, p. 133-167, 2017.

SEDREZ, Lise Fernanda. **'The Bay of All Beauties': State and Environment in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil, 1875-1975**. Dissertation (Doctor of Philosophy). Department of History- Stanford University, Stanford, 2004.

SILVA, André Felipe Cândido da. A campanha contra a broca-do-café em São Paulo, 1924-

1927. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v.13, n.4, p.957-993, 2006.

SILVA, André Felipe Cândido da. Pragas, patógenos e plantas na história dos sistemas agroecológicos. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 17, n. 1, p. 1-31, 2022.

SILVA, André Felipe Cândido da; LOPES, Gabriel. Entre Horizontes e Sedimentos: o Impacto do Antropoceno na História a partir de Chakrabarty e seus Interlocutores. **HALAC – Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña**, v. 11, n. 2, p. 348-396, 2021.

SILVA, André Felipe Cândido da; SÁ, Dominichi Miranda. Ecologia, doença e desenvolvimento na Amazônia dos anos 1950: Harold Sioli e a esquistossomose na Fordlândia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 14, n. 2, p. 627-647, 2019.

SILVA, Claiton Marcio da. **Agricultura e cooperação internacional**: a atuação da American International Association for Economic and Social Development (AIA) e os programas de modernização no Brasil (1946-1961). Tese (Doutorado em História das Ciências). Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, Casa de Oswaldo Cruz – COC, Fiocruz. Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, Marcos Rodrigues da. Maurice Wilkins e a polêmica acerca da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice do DNA. **Filosofia e História da Biologia**, v. 5, n. 2, p. 369-384, 2010.

SILVA, Renan Gonçalves Leonel da; COSTA, Maria Conceição da. A emergência da biologia molecular no estado de São Paulo, 1952-1970. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 14, n. 31, p. 1-27, 2018.

SIMAL, Carlos Jorge Rodrigues; PARISOTTO, Viviane Santuari. Um pouco da história do Instituto do Radium de Belo Horizonte. **Revista Médica de Minas Gerais**, v. 21, n. 3, p. 353-360, 2011.

SOUSA, Ranyelle Foro de. **Memórias de uma instituição de ensino superior em Belém do Pará**: uma história da Escola de Agronomia da Amazônia (1945-1972). Tese (Doutorado em Educação). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo-RS, 2019.

SOUZA, Neila da Silva de; LIMA, Andréia Mendonça dos Santos. Construção do imaginário de Rondônia em “De ouro e de Amazônia”. **Via Litterae**, v. 5, n. 1, p. 181-199, 2013.

STEFFEN, Will; BROADGATE, Wendy; DEUTSCH, Lisa; GAFFNEY, Owen; LUDWIG, Cornelia. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. **The Anthropocene Review**, v. 2, n. 1, p. 81-98, 2015.

STEPAN, Nancy. **Beginings of Brazilian Science**. Nova Iorque: Science History Publications, 1975.

STRASSER, Bruno J. **Les Sciences de la Vie a l’Age Atomique**: Identités, pratiques et alliances dans la construction de la biologie moléculaire á Genève (1945-1970). Tese - Université de Genève/Université de Paris VII, 2002.

SUPPIA, Alfredo Luiz Paes de Oliveira. **Limite de alerta! Ficção científica em atmosfera rarefeita:** uma introdução ao estudo da FC no cinema brasileiro e em algumas cinematografias *off*-Hollywood. Tese (Doutorado em Multimeios). Instituto de Artes, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP: Campinas, 2007.

SUPPIA, Alfredo Luiz Paes de Oliveira. **Notas para uma história crítica da ficção científica no cinema brasileiro.** In: Grupo de Trabalho “Cultura de Mídias”, do XV Encontro da Compós, na Unesp, Bauru, SP, junho de 2006.

SUPPIA, Alfredo Luiz Paes de Oliveira. Respira fundo e prende: um pequeno raio-X da ecodistopia no cinema brasileiro, do regime militar aos militares no regime. **Revista Eco-Pós**, v. 23, n. 2, p. 188-216, 2020.

SVARTMAN, Eduardo Munhoz. Brazil-United States Military Relations during the Cold War: Political Dynamic and Arms Transfers. **Brazilian Political Science Review**, v. 5, n. 2, p. 75-93, 2011.

TEIXEIRA, Mônica. **1964 na USP:** o IPM da Faculdade de Medicina como uma produção da direita paulista. Dissertação (Mestrado em História). Programa de Pós-Graduação em História Social do Departamento de História da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2018.

TRENN, Thaddeus J. Rutherford on the Alpha-Beta-Gamma Classification of Radioactive Rays. **Isis**, v. 67, n. 1, p. 61-75, 1976.

TRIVELLATO, Francesca. Is There a Future for Italian Microhistory in the Age of Global History? **California Italian Studies**, v. 2, n. 1, p. 1-25, 2011.

TUBIANA, Maurice; BERTIN, Michel. **Radiobiologia e radioproteção.** Rio de Janeiro: Edições 70, 1990.

WARWICK, Andrew. X-rays as Evidence in German Orthopaedic Surgery, 1895-1900. **Isis**, v. 96, n. 1, p. 1-24, 2005.

WATERSON, P. A.; WILKINSON, L. **An introduction to the history of virology.** Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

WEAVER, Warren. Molecular biology: origin of the term. **Science**, v. 170, n. 3958, p. 581-582, 1970.

WELSOME, Eileen. **The Plutonium Files:** America’s Secret Medical Experiments in the Cold War. The Dial Press: Nova York, 1999.

WELTMAN, Wanda Latmann. **A Educação do Jeca:** Ciência, Divulgação Científica e Agropecuária na Revista Chácaras e Quintais (1909-1948). Tese (Doutorado em História das Ciências). Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, Casa de Oswaldo Cruz – COC, Fiocruz. Rio de Janeiro, 2008.

WESTAD, Odd Arne. The New Internacional History of the Cold War: Three (Possible) Paradigms. **Diplomatic History**, v. 24, n. 4, p. 551-565, 2000.

WITZE, Alexandra. Geologists reject the Anthropocene as Earth’s new epoch – after 15 years

of debate. **Nature**, 06 de março de 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-024-00675-8>. Acesso em: 11 de março de 2024.

ZACHMANN, Karin. Peaceful atoms in agriculture and food: how the politics of the Cold War shaped agricultural research using isotopes and radiation in post war divided Germany. **Dynamis**, v. 35, n. 2, p. 307-331, 2015.