

Fundação Oswaldo Cruz
Escola Nacional de Saúde Pública

**DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIAIS NO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO: AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS RESÍDUOS E
SUAS IMPLICAÇÕES PARA O AMBIENTE E PARA A SAÚDE HUMANA**

por

Cristina Lúcia Silveira Sisinno

Tese apresentada com vistas à obtenção do título de Doutor em Ciências

Orientador: Prof. Dr. Josino Costa Moreira

Rio de Janeiro, novembro de 2002

Fundação Oswaldo Cruz
Escola Nacional de Saúde Pública

**DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIAIS NO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO: AVALIAÇÃO TOXICIDADE DOS RESÍDUOS E SUAS
IMPLICAÇÕES PARA O AMBIENTE E PARA A SAÚDE HUMANA**

por

Cristina Lúcia Silveira Sisino

Tese apresentada com vistas à obtenção do título de Doutor em Ciências

Banca Examinadora

Prof^a Dr^a Célia Regina Sousa da Silva
Prof. Dr. Annibal Duarte Pereira Netto
Prof. Dr. João Alberto Ferreira
Prof. Dr. João Paulo Machado Torres
Prof. Dr. Josino Costa Moreira – Orientador

Rio de Janeiro, novembro de 2002

*A minha família e amigos,
sem os quais eu não alcançaria esta conquista.*

*O lixo é essencialmente algo semi-identificado ou semi-identificável.
É formado de partes destacadas daquilo que já foi. São pedaços em decomposição. São restos do que foi útil... Em grande medida o lixo vai deixando de ser tabu, algo perigoso e ameaçador, na proporção em que vá perdendo sua identidade já parcial: quando vira cinza, quando volta a ser terra, quando é queimado e se transforma em fumaça, quando é reciclado e adquire nova vida...*

José Carlos Rodrigues

AGRADECIMENTOS

Agradecer é, essencialmente, reconhecer que precisamos sempre de alguém, em algum momento de nossas vidas. Todas as pessoas abaixo descritas participaram da confecção deste trabalho, de uma forma ou de outra. Sem a ajuda de cada um deles, simplesmente tudo teria sido muito mais difícil.

Minha mais sincera gratidão:

A todos os entes queridos da minha família, sempre presentes ao meu lado;

A todos os meus amigos, antigos e recentes, cujos nomes não caberiam nestas páginas, e que acompanharam e torceram pelo sucesso deste trabalho no decorrer de toda sua execução;

Ao Prof. Dr. Josino Costa Moreira, orientador deste trabalho;

Aos Profs. Drs. Annibal Duarte Pereira-Netto, João Alberto Ferreira, João Paulo Machado Torres e Volney de Magalhães Câmara, e Prof^{as} Dr^{as} Célia Regina Sousa da Silva e Silvana do Couto Jacob;

Aos funcionários e prestadores de serviço do Centro de Tecnologia Ambiental (CTA) da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), em especial aos técnicos do Laboratório de Meio Ambiente (Guilherme Vieira, Luciano Lima, Mônica Faria, Roberta Chamusca e Rosana Simões), técnicos do Laboratório de Toxicologia Ocupacional (Eliane Laurentino e Adriano Oliveira) e Denise Quelhas, Dilri Batista, Maria de Fátima Paiva e Jonas Menezes;

Ao Gerente Técnico do Centro de Tecnologia Ambiental, biólogo Ricardo Luiz Peixoto de Barros;

Ao amigo Eduardo Cyrino de Oliveira-Filho, companheiro nos cursos de toxicologia ambiental;

Aos funcionários e prestadores de serviço do Centro de Estudo da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana (CESTEH) e Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental (DSSA) da Escola Nacional de Saúde Pública da FIOCRUZ;

Aos participantes da Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos da ABNT;

Aos participantes da Comissão de Estudo Especial Temporária de Análises Ecotoxicológicas da ABNT (Regional – RJ);

Ao Dr. Reinaldo Souza-Santos, do Departamento de Endemias Samuel Pessoa da Escola Nacional de Saúde Pública da FIOCRUZ.

RESUMO

Grande parte dos resíduos produzidos nas cidades brasileiras é disposto em vazadouros a céu aberto e aterros controlados. Além dos resíduos urbanos, resíduos industriais – principalmente não-inertes e inertes – também têm sido encaminhados para estes locais. Frequentemente, além de não possuírem infraestrutura adequada, essas áreas localizam-se nas proximidades de núcleos populacionais e ecossistemas importantes. O principal objetivo deste estudo foi determinar a toxicidade de resíduos urbanos e industriais, através de análises químicas e testes de toxicidade com peixes, a fim de se avaliar o potencial de contaminação que essas áreas podem representar como exportadoras de substâncias químicas normalmente presentes em resíduos considerados não perigosos. Resultados dos testes de toxicidade com peixes mostraram alta toxicidade do chorume, com uma CL50 na faixa de 2,2 a 5,7 %; o que evidencia o grande impacto para a vida aquática ocasionado pelo despejo deste efluente continuamente nos cursos d'água superficiais existentes nas proximidades das áreas de disposição. Análises de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em amostras de chorume de lixo e de resíduos industriais, identificaram, dentre outros, a presença de benzo[a]pireno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, dibenzo[a,h]antraceno e indeno[1,2,3-cd]pireno; compostos que são de importância tanto do ponto de vista ambiental como de saúde, por serem substâncias com potencial carcinogênico. Com relação aos resíduos industriais, dos principais parâmetros que contribuíram para a classificação das amostras em resíduos não-inertes, pode-se destacar alumínio, ferro, manganês e fenol que, além de suas características de toxicidade, apresentaram concentrações até 300 vezes maiores do que o limite estabelecido. Estes resultados indicam que vazadouros e aterros controlados representam importantes focos de contaminação ambiental e humana, uma vez que os resíduos passíveis de serem depositados nestas áreas apresentaram em sua composição substâncias de interesse toxicológico que estão sendo acumuladas e exportadas para outros compartimentos ambientais (principalmente o aquático), implicando em riscos não só para o ambiente como para a saúde das populações direta ou indiretamente afetadas por essas áreas.

Palavras-chave: resíduos sólidos, disposição final, substâncias tóxicas, saúde ambiental.

ABSTRACT

Most of the solid waste produced in Brazilian cities is disposed in open and uncontrolled dumps. Besides the urban waste, industrial waste – mainly non-inert and inert – have also been disposed in these places. Frequently, in addition to not having appropriate infrastructure, these areas are located in the proximities of populated areas and important ecosystems. The main objective of this study was to determine the toxicity of urban and industrial waste, through physico-chemical analyses and toxicity tests with fish, in order to evaluate the potential of contamination that these areas can represent as exporters of chemical substances usually present in waste considered not dangerous. Results of the toxicity tests with fish showed high toxicity of the leachate, with a LC50 ranging from 2,2 to 5,7 %, that shows the great impact on aquatic life caused by the continuous spill of this effluent in the waterstreams located in the proximities of the disposal areas. Analyses of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in samples of leachate and industrial waste identified, among other contaminants, benzo[a]pyrene, benzo[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, dibenzo[a,h]anthracene and indeno[1,2,3-cd]pyrene. These compounds are of concern to the environment and human health because of their carcinogenic properties. Regarding industrial waste, the main parameters that contributed to the classification of the samples in non-inert waste were aluminum, iron, manganese and phenol that, besides their toxicity characteristics, presented concentrations of up to 300 times the established limit. These results indicate that open and uncontrolled dumps represent important focuses of environmental and human contamination, since waste that can be disposed in these areas presented in their composition substances of toxicological concern that are being accumulated and exported to other environmental compartments (mainly aquatic), bringing risks not only to the environment, but also to the health of the people who are directly or indirectly affected by these areas.

Key-words: solid waste, final disposal, toxic substances, environmental health.

SUMÁRIO

	<i>Página</i>
1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 – Panorama da Produção e Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais no Brasil	15
1.2 – Produção e Destino dos Resíduos Sólidos no Estado do Rio de Janeiro	19
1.2.1 – Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais no Rio de Janeiro: Exemplos de Casos	23
1.2.1.1 – Aterro Metropolitano de Gramacho	23
1.2.1.2 – Aterro Controlado do Morro do Céu	25
1.3 – Os Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais como Fontes de Substâncias Químicas	26
1.3.1 – Metais	28
1.3.2 – Compostos Orgânicos	29
1.3.3 – Avaliação da Toxicidade dos Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais	30
1.4 – Problemas Ambientais Observados nas Áreas de Disposição de Resíduos	31
1.4.1 – Produção do Chorume	31
1.4.2 – Poluição do Ar	32
1.4.3 – Poluição das Águas Superficiais e Subterrâneas	33
1.4.4 – Poluição do Solo	34
1.5 – Riscos à Saúde em Áreas de Disposição de Resíduos	35
1.5.1 – Riscos Relacionados à Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos	39
1.5.2 – Riscos Relacionados à Disposição de Resíduos Sólidos Industriais	40
1.6 – Instrumentos Normativos	41

	<i>Página</i>
2 – ARTIGOS DA COLETÂNEA	44
2.1 – Disposição em Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Industriais Não-Inertes: Avaliação dos Componentes Tóxicos e Implicações para o Ambiente e para a Saúde Humana.	44
2.1.1 – Considerações sobre o artigo	56
2.2 – <i>Toxicity Evaluation of a Municipal Dump Leachate Using Zebrafish Acute Tests.</i>	57
2.2.1 – Considerações sobre o artigo	65
2.3 – <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Leachate from a Municipal Solid Waste Dump of Niterói City, RJ, Brazil.</i>	66
2.3.1 – Considerações sobre o artigo	73
2.4 – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Resíduos Sólidos Industriais: Uma Avaliação Preliminar do Risco Potencial de Contaminação Ambiental e Humana em Áreas de Disposição de Resíduos.	74
2.4.1 – Considerações sobre o artigo	84
3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
5 – ANEXOS	97

LISTA DE TABELAS

Página

Referentes ao artigo **Disposição em Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Industriais Não-Inertes: Avaliação dos Componentes Tóxicos e Implicações para o Ambiente e para a Saúde Humana.**

Tabela 1 – Parâmetros descritos no Anexo H – Listagem nº 8 da NBR 10.004 analisados nas amostras estudadas que apresentaram parâmetros em concentrações (mg/L) acima do limite máximo permitido no extrato solubilizado. 55

Tabela 2 – Faixas de concentração de alumínio, ferro, manganês, fenol e surfactantes encontradas nas amostras estudadas e limites máximos descritos no Anexo H – Listagem nº 8 da NBR 10.004 para o extrato solubilizado. 56

Referentes ao artigo ***Toxicity Evaluation of a Municipal Dump Leachate Using Zebrafish Acute Tests.***

Table 1 – Physico-chemical characteristics of pure Morro do Céu leachate samples. Lowest and highest values found during 1994-1999. 60

Table 2 – Acute toxicities of pure Morro do Céu leachate samples to *Brachydanio rerio* after 24 and 48 hours. Data are revealed as LC50 (% v/v) values and respective confidence limits 95%. 61

Table 3 – Comparison of acute toxicities of pure and treated Morro do Céu leachate samples to *Brachydanio rerio* after 24 and 48 hours. Data are showed as LC50 (% v/v) values and respective confidence limits 95%. 63

Referentes ao artigo ***Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Leachate from a Municipal Solid Waste Dump of Niterói City, RJ, Brazil.***

Table 1 – Measured PAHs in Morro do Céu leachate, their abbreviations and ions for selected ion monitoring (SIM). 68

Table 2 – PAH Concentration ($\mu\text{g/L}$) in leachate from Morro do Céu dump, Niterói, RJ, Brazil. 70

Referentes ao artigo **Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Resíduos Sólidos Industriais: Uma Avaliação Preliminar do Risco Potencial de Contaminação Ambiental e Humana em Áreas de Disposição de Resíduos.**

Tabela 1 – Classificação dos HPAs estudados quanto a sua carcinogenicidade (IARC), carcinogenicidade e ocorrência (EPA) e periculosidade (ABNT). 83

Tabela 2 – HPAs estudados e identificados em cada amostra. 84

LISTA DE ANEXOS

	<i>Página</i>
Anexo 1 – Fotos do Aterro Metropolitano de Gramacho	
Foto 1 – Aterro Metropolitano de Gramacho – Vista Aérea	97
Foto 2 – Resíduos Depositados	97
Anexo 2 – Fotos do Aterro Metropolitano de Gramacho	
Foto 3 – Vala com Chorume	98
Foto 4 – Replântio do Manguezal	98
Anexo 3 – Fotos do Aterro Controlado do Morro do Céu	
Foto 5 – Aterro Controlado do Morro do Céu – Vista Geral	99
Foto 6 – Amostra de Chorume	99
Anexo 4 – Fotos do Aterro Controlado do Morro do Céu	
Foto 7 – Córrego Mata-Paca Contaminado com Chorume	100
Foto 8 – População Vizinha	100
Anexo 5 – Comprovante de envio do artigo <i>Disposição em Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Industriais Não-Inertes: Avaliação dos Componentes Tóxicos e Implicações para o Ambiente e para a Saúde.</i>	101
Anexo 6 – Comprovante de envio do artigo <i>Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Resíduos Sólidos Industriais: Uma Avaliação Preliminar do Risco Potencial de Contaminação Ambiental e Humana em Áreas de Disposição de Resíduos.</i>	102
Cópia do artigo <i>Toxicity Evaluation of a Municipal Dump Leachate Using Zebrafish Acute Tests.</i>	103
Cópia do artigo <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Leachate from a Municipal Solid Waste Dump of Niterói City, RJ, Brazil.</i>	110

1 – INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados com a produção e o destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais nas grandes cidades, na maioria das vezes ainda permanecem sem receber a devida atenção.

O crescimento populacional das sociedades de consumo vem contribuindo para o aumento da quantidade e variedade de resíduos que precisam ser descartados para dar lugar a novos bens de consumo, formando um ciclo que não pára de agredir o ambiente.

Entretanto, nem sempre o destino dos resíduos ocorre de forma adequada e, freqüentemente, o sistema utilizado é a disposição final no solo. As áreas condenadas a receber toneladas de resíduos sem, contudo, possuírem uma infraestrutura capaz de evitar os problemas oriundos desta atividade, terão seu uso futuro comprometido e serão responsáveis pela degradação ambiental das regiões sob sua influência, ocasionando riscos para a saúde humana.

Dentre os problemas oriundos da disposição imprópria de grandes quantidades de resíduos, pode-se destacar: poluição do ar, poluição do solo, poluição das águas superficiais e subterrâneas, proliferação de vetores, contaminação da biota, poluição visual e sonora, desvalorização imobiliária, descaracterização paisagística e desequilíbrio ecológico, etc.

Além dos grandes depósitos oficiais de resíduos, deve-se destacar a ocorrência de pequenos e “móveis” depósitos clandestinos. Esses depósitos – na maior parte dos casos – estão localizados em regiões distantes e pouco urbanizadas, sendo sua vida útil condicionada à ação dos órgãos competentes: ação esta muitas vezes impulsionada por denúncias da população vizinha, de ONGs ou da mídia. Os depósitos clandestinos oferecem riscos ao equilíbrio ambiental e à saúde humana uma vez que não se conhece a natureza dos resíduos depositados, sendo que muitos desses resíduos podem conter substâncias com potencial de causar sérios danos aos sistemas vivos.

Então, o que fazer? Pergunta difícil de ser respondida, quando é notória a falta de estrutura dos órgãos competentes, que não conseguem fiscalizar as formas de tratamento ou destino final adequadas e parecem inoperantes diante da existência de vários exemplos de atividades deficientes. No caso dos resíduos urbanos, as prefeituras – responsáveis pela coleta, transporte e destino final dos resíduos produzidos nas cidades – muitas vezes esbarram na

deficiência de verbas e de preparo técnico de seus funcionários, além da falta de cobrança por parte da população e de vontade política, uma vez que muitos políticos consideram que *lixo não dá voto*. A alternativa para as que podem pagar são os serviços terceirizados que se incumbem das etapas de operação.

A realidade vivida pelo setor industrial também é bastante peculiar. Apesar do gerador ser o responsável pelo destino final de seus resíduos, a escassez de informações e de alternativas disponíveis e a carência de pessoal especializado, faz com que muitas indústrias considerem seus resíduos como verdadeiras “batatas-quentes”. As alternativas inadequadas vão desde o armazenamento em tambores no próprio pátio das indústrias (em locais de armazenamento “temporário” até que uma opção melhor apareça), sem maiores cuidados com o ambiente e com a segurança dos trabalhadores, até o descarte em locais clandestinos ou a mistura com os resíduos comuns do resto da indústria. As indústrias que resolvem investir nesta questão normalmente se envolvem em programas de reciclagem e de troca de resíduos com outras indústrias, ou se preocupam com uma alternativa de destino final adequada.

A partir deste quadro, pode-se elaborar outra pergunta. Para onde vão os resíduos? Desaparecem na natureza, incorporando-se “harmoniosamente” ao solo, água e ar, servindo de “nutrientes” para os animais e vegetais? Seria muito bom se pudesse ser verdade, considerando-se que diversas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos e industriais são persistentes no ambiente e têm a capacidade de bioacumulação nos seres vivos, podendo entrar na cadeia alimentar e causar danos à saúde humana.

Muitas prefeituras, órgãos de fiscalização ambiental e companhias de limpeza urbana estão despreparados para o levantamento e organização de dados sobre a produção e destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais. Isso dificulta o conhecimento da realidade sobre a situação que envolve os resíduos gerados nas cidades brasileiras.

A nossa cultura com relação aos resíduos sempre foi a do descaso. Primordial sempre foi a retirada dos resíduos de nossas vistas. Qual era o seu destino, entretanto, nunca foi uma preocupação. Esta postura, atualmente, precisa ser mudada, pois o destino dos resíduos pode ser uma área que, uma vez contaminada, ficará comprometida por muito tempo e servirá como fonte de exportação de contaminantes para outros locais, atingindo populações distantes da área afetada.

Finalmente pode-se destacar que, embora os estudos relacionados aos impactos causados pela destinação inadequada dos resíduos sólidos possuam um caráter atual e urgente, infelizmente no Brasil pouco se tem feito a esse respeito. Entretanto, os locais de disposição de resíduos não podem mais ser tratados como verdadeiros *guetos*, escondendo ou negligenciando responsabilidades.

A realidade sobre a produção, tratamento e destino dos resíduos precisa ser conhecida de forma integrada para que soluções adequadas sejam propostas. Nos dias atuais, os resíduos continuam sendo considerados como importantes fontes de contaminação do ambiente, ocasionando um efeito *bumerangue* para o próprio homem. É o que sabemos até o momento. Talvez outros efeitos só possam ser descobertos no decorrer dos anos, ou sentidos nas gerações futuras.

Assim sendo, o objetivo desse estudo foi avaliar a toxicidade dos resíduos sólidos urbanos e industriais, passíveis de serem depositados em áreas sem infra-estrutura adequada, através de análises químicas e testes ecotoxicológicos. Os resultados obtidos contribuirão para ressaltar como vazadouros a céu aberto e aterros controlados podem ser importantes focos de contaminação, implicando em riscos para o ambiente e para a saúde das populações direta ou indiretamente afetadas por essas áreas.

1.1 – Panorama da Produção e Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais no Brasil

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2000 (IBGE, 2002), no Brasil as formas utilizadas para destinação final dos resíduos são as seguintes: vazadouro a céu aberto, vazadouro em áreas alagadas, aterro controlado, aterro sanitário, aterro de resíduos especiais, usina de compostagem, usina de reciclagem e incineração. O mesmo estudo descreve que, do total de 8.381 distritos que possuem serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, 5.993 (cerca de 71%) possuem vazadouros a céu aberto e 1.868 (aproximadamente 22%) possuem aterros controlados, sendo estas as formas de destinação de resíduos mais utilizadas no país.

Do total de 228.413,0 toneladas diárias de resíduos urbanos coletadas no Brasil em 2000, mais da metade teve como destino os aterros controlados e vazadouros: 84.575,5 toneladas foram destinadas a aterros controlados; 48.321,7 toneladas foram depositadas em vazadouros a céu aberto e 232,6 toneladas foram para vazadouros em áreas alagadas (IBGE, 2002). Pode-se destacar, desta forma, que grande parte dos resíduos urbanos coletados no Brasil estão sendo depositados em áreas com pouca ou nenhuma infra-estrutura sanitária capaz de minimizar os problemas ocasionados pelo acúmulo de toneladas diárias de resíduos.

É interessante observar também que nos municípios com serviços de coleta de lixo que possuem áreas para disposição final de resíduos, muitas dessas áreas – localizadas tanto dentro como fora do perímetro urbano – estão nas proximidades de locais com atividade agropecuária e presença de residências (IBGE, 2002). Este fato é importante para ressaltar que as áreas de disposição não se encontram isoladas e podem se tornar focos de problemas ambientais e de saúde, afetando populações e atividades produtivas situadas nas vizinhanças.

Com relação aos resíduos industriais, a PNSB ressalta que, dos 5.475 municípios que possuíam serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, 4.841 não possuíam controle da disposição dos resíduos industriais, 551 possuíam controle e 83 não declararam (IBGE, 2002). Essa informação ressalta a grande dificuldade no controle do destino dos resíduos industriais produzidos em muitas das cidades brasileiras, indicando a tendência de que estes resíduos estejam sendo despejados também em vazadouros e aterros controlados.

A situação atual mostra que o principal destino dos resíduos tem sido o solo, o que limita cada vez mais a vida útil das áreas de disposição de resíduos. Algumas prefeituras, dessa forma, começaram a se preocupar com a implantação de programas de incentivo à reciclagem de materiais e usinas de reciclagem e compostagem passaram a integrar a paisagem de vários locais. Muitos desses programas, entretanto, continuam tendo a sua eficiência colocada à prova, por problemas como a baixa participação popular e os custos de manutenção das usinas *versus* a receita na venda dos materiais recicláveis. Além disso, a maior parte dos resíduos urbanos acaba sendo misturada nos caminhões coletores e despejada nos aterros controlados ou nos vazadouros. A fração que chega

misturada às usinas de reciclagem e compostagem acaba dificultando o trabalho de separação e a eficiência do processo.

Com relação aos resíduos industriais, seu gerenciamento adequado muitas vezes está relacionado às opções disponíveis e ao custo referente ao tratamento e disposição dos resíduos. Em algumas cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre houve a implementação das Bolsas de Resíduos, com intuito de troca, compra, venda ou mesmo doação de resíduos. Este tipo de reciclagem acaba sendo uma das opções para se tratar e destinar os resíduos gerados pelo setor industrial. Imprestáveis para algumas indústrias, certos resíduos podem servir de matéria-prima para outras. Como exemplos, podem ser citados pneus velhos, passíveis de serem reciclados em indústrias de tapetes de carros e artefatos de couro; borras de látex que são reutilizadas na indústria de cimento e o lodo de processos de tratamento de superfícies metálicas, que pode ser incorporado a artefatos de cimento (Araújo, 1997).

As soluções individuais para as indústrias brasileiras – principalmente médias e pequenas – muitas vezes são caras. Uma opção é a adoção de medidas coletivas, havendo a centralização do depósito de resíduos gerados por várias indústrias em um único local para seu tratamento e destinação. Além da reciclagem e da utilização de aterros, as indústrias também têm usado outras técnicas de tratamento de resíduos, como a incineração, solidificação, precipitação, neutralização, tratamento biológico, entre outras. Além disso, alguns produtos podem ser recuperados, como acontece com óleos, ou reprocessados, no caso de areia de fundição (Anônimo, 1991; Rocca *et al.*, 1993).

Em muitos casos o destino inadequado dos resíduos acaba ocorrendo por falta de fiscalização e de medidas mais rigorosas de punição. Entretanto, algumas indústrias – que almejam a certificação das Normas de Sistemas de Gestão Ambiental (série ISO 14.000) – estão se esforçando para se tornarem exceções no quadro geral brasileiro. As Normas de Sistemas de Gestão Ambiental indicam os meios para que o produto, serviço ou processo sejam ambientalmente sustentáveis. Isto ocorre através da implantação de procedimentos ou instruções de trabalho, visando o acompanhamento e controle das atividades. Neste sentido, o gerenciamento dos resíduos industriais gerados e a disposição final do produto ao término de sua vida útil são considerados

primordiais para o sucesso de um programa de gestão ambiental (D'Avignon, 1995).

Outra questão que envolve o setor industrial é o chamado passivo ambiental. O processo industrial sempre gera algum tipo de resíduo, que nem sempre pode ser reciclado ou tem uma destinação segura. Nas transações comerciais este aspecto tem recebido destaque, na medida em que já são obrigatórios o conhecimento e contabilização do passivo ambiental existente. Nestas transações é necessário que sejam levantados todos os aspectos pertinentes ao desempenho da empresa frente ao ambiente, como a poluição do ar, da água e do solo; atendimento da legislação; destino dos resíduos gerados; etc. (Anônimo, 1998).

O passivo ambiental implica em compromissos relacionados ao meio ambiente e, conseqüentemente, contas a pagar. Assim sendo, multas e/ou obrigação de remediação de danos ambientais, risco de interdição das instalações com interrupção das operações e propaganda negativa que muitas vezes afetam a imagem da empresa e da marca, podem ser decorrentes de um passivo ambiental relevante (Anônimo, 1998). Indústrias que tinham como hábito corriqueiro enterrar seus resíduos no próprio pátio ou armazená-los sem cuidados, permitindo derramamentos e infiltrações no solo, hoje possuem um grande passivo capaz de envolver altos custos para a descontaminação e remediação de suas áreas, dificultando, inclusive, negociações futuras para venda destes terrenos. Nas transações imobiliárias de indústrias localizadas principalmente nas grandes cidades, como Rio de Janeiro e São Paulo, já é comum a preocupação com a aquisição de um possível passivo, representado por resíduos, tanques e tubulações abandonados e enterrados.

Atualmente, um dos principais enfoques dados à questão dos resíduos industriais é a sua minimização. O desenvolvimento de tecnologias limpas e o incentivo à reciclagem e à minimização de resíduos estão crescendo, mas necessitam de pesquisa, investimento, mudança de processos e substituição de matérias-primas.

Programas de implantação de Produção Mais Limpa (P+L) têm sido desenvolvidos com o intuito de diminuir os custos das empresas frente aos desperdícios de matérias-primas, água e energia dos seus processos de produção, fazendo com que os ganhos ambientais e econômicos referentes à redução da quantidade e toxicidade dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos

gerados, bem como dos custos para seu tratamento ou destino final, sejam evidenciados.

Finalmente, vários pontos sobre a produção e destino dos resíduos sólidos industriais ainda precisam ser analisados. Um deles é a dificuldade no conhecimento oficial e atualizado sobre a geração e destinação desses resíduos. Este fato é importante para que o próprio setor privado possa ter a iniciativa de gerar oportunidades de investimentos. Outros fatores que devem ser considerados são a existência de poucas – e muitas vezes desqualificadas – empresas prestadoras de serviço, reduzida mão-de-obra especializada e a falta de uma política de gerenciamento de resíduos nos estados.

Desta forma, a situação observada no país exemplifica nossa constante dificuldade em solucionar as grandes questões de interesse coletivo. Todo o quadro de incertezas e dificuldades com relação aos problemas que envolvem os resíduos urbanos e industriais produzidos no Brasil só tenderá a mudar se houver uma conscientização ampla – tanto por parte da sociedade, como dos políticos e dos empresários – e o reconhecimento da importância de todas estas questões.

1.2 – Produção e Destino dos Resíduos Sólidos no Estado do Rio de Janeiro

A maior parte das prefeituras do Estado do Rio enfrenta grandes problemas relacionados com a questão dos resíduos urbanos e somente a minoria pode contar experiências bem sucedidas.

No caso de programas de reciclagem, deve-se lembrar que os que estão conseguindo ser mantidos contam com a participação popular na separação dos resíduos na fonte, a fim de aumentar a qualidade do material a ser reciclado. Várias usinas de reciclagem e compostagem estão sendo instaladas em municípios contemplados com o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara. Entretanto, se estas unidades não forem bem aceitas e operadas tanto pelas administrações atuais como futuras, poderão se transformar em breve em carcaças abandonadas, sem utilidade.

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, no Estado do Rio de Janeiro, em 2000, foram coletadas cerca de 39.220 toneladas de resíduos urbanos por dia, encaminhadas para várias áreas de disposição. Muitas dessas áreas estão localizadas nas proximidades de residências – quando dentro

do perímetro urbano – e próximas a áreas com atividade agropecuária, quando encontradas fora do perímetro urbano (IBGE, 2002).

Algumas dessas áreas de disposição já se encontram saturadas ou em vias de saturação (Aterros Controlados de Santa Cruz, Itaguaí, Bangu e Aterro Metropolitano de Gramacho, por exemplo). Além disso, deve-se ressaltar também que várias áreas estão situadas em locais impróprios, às margens de cursos d'água ou ecossistemas protegidos, como é o caso do Aterro Controlado do Morro do Céu (Niterói) que se encontra em uma zona de mananciais e florestas; e o Vazadouro de Itaoca (São Gonçalo) e o Aterro Metropolitano de Gramacho (Duque de Caxias) que estão em áreas de manguezais do entorno da Baía de Guanabara.

Segundo estimativas do órgão de fiscalização ambiental do Estado do Rio de Janeiro (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – FEEMA) do total de aproximadamente 500.000 toneladas de resíduos industriais produzidos mensalmente pelas indústrias situadas no estado, a maior parte constitui-se de resíduos não-inertes (classe II), seguido de resíduos inertes (classe III) e, por fim, de resíduos perigosos (classe I) (FEEMA, 2000).

De acordo com o Diagnóstico da Situação da Gestão Ambiental nas Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN & FGV, 2002), as pequenas indústrias consideram como principal aspecto ambiental em seu processo a geração de resíduos não perigosos, enquanto que para as grandes e médias indústrias os resíduos sólidos não perigosos aparecem em segundo lugar como principal problema ambiental (o problema mais relevante para essas últimas indústrias é a produção de efluentes líquidos).

As principais formas de tratamento/destinação dos resíduos industriais produzidos no Estado do Rio de Janeiro são as seguintes: reciclagem, aterro municipal, co-processamento, aterro industrial, estocagem, incineração, incorporação, fertilização ou *landfarming*, aterro de terceiros e outros destinos (FEEMA, 2000).

Menos de 2,5% dos resíduos perigosos produzidos no Estado são incinerados e apenas 13% são dispostos em aterros industriais. Para 49% desta classe de resíduos, a reciclagem é a prática mais adotada pelas indústrias (FEEMA, 2000). Esta informação coincide com os dados do Diagnóstico da Situação da Gestão Ambiental nas Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, onde as grandes e médias indústrias declararam que estão procurando investir mais na

reciclagem do que na disposição final para resolver o destino dos resíduos produzidos em seus processos (FIRJAN & FGV, 2002).

Entretanto, para resíduos não-inertes e inertes, além da disposição em vazadouros municipais – responsáveis pelo recebimento de 46% dos resíduos – há também a opção da reciclagem, que aparece como segunda maior atividade para tratamento/destinação de resíduos não perigosos. A incineração, o co-processamento em fornos de cimento e os aterros industriais não chegam a receber 4% dos resíduos dessas classes (FEEMA, 2000).

Para coibir a disposição de resíduos não-inertes em vazadouros de lixo urbano, a FEEMA tem procurado intimar os principais geradores para que cessem tal prática. Aliado a isto e em parceria com os responsáveis pela operação dessas áreas – fundamentalmente com os responsáveis pelo Aterro Metropolitano de Gramacho – o órgão de fiscalização ambiental do Estado tem procurado controlar, por intermédio do manifesto de resíduos, a entrada de resíduos não-inertes no Aterro. Segundo a FEEMA (2000), o Aterro Metropolitano de Gramacho é a principal área de destinação final utilizada pelas indústrias da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Além do Aterro de Gramacho, as indústrias localizadas no Estado do Rio de Janeiro têm como opção para destinação de seus resíduos a TRIBEL – Tratamento de Resíduos de Belford Roxo (empresa localizada no complexo da Bayer S. A.), que possui aterro industrial e unidade de incineração para resíduos perigosos licenciados pela FEEMA.

Outro local que foi muito utilizado para a disposição final de resíduos industriais – o Centro Tecnológico de Resíduos (CENTRES) – atualmente encontra-se desativado. O CENTRES, localizado em Queimados, operou armazenando resíduos das indústrias do Estado do Rio de Janeiro desde 1986. No local estavam estocadas a céu aberto mais de 3.000 toneladas de resíduos industriais, incluindo sucata plástica, borras de tinta, lodo inorgânico etc., alguns, inclusive, classificados como resíduos perigosos. O CENTRES encontra-se interdito e sob responsabilidade da FEEMA e de uma empresa que está realizando a retirada dos resíduos que sobraram e uma avaliação da contaminação da área. As empresas que depositaram resíduos no local foram intimadas pela FEEMA a retirarem os resíduos e destinarem novamente de forma adequada.

Denúncias de ONGs, contudo, ressaltam o despejo de resíduos industriais em cursos d'água e a existência de diversos vazadouros clandestinos no Estado do Rio de Janeiro, como os localizados em Nova Iguaçu, Queimados e São Gonçalo. Na maior parte dos casos, entretanto, é impossível a identificação dos responsáveis pelos despejos clandestinos.

Uma alternativa importante implementada no Estado foi a Bolsa de Resíduos da FEEMA, atualmente em parceria com a FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro), onde várias indústrias podem se cadastrar e disponibilizar seus resíduos (na maioria, não-inertes), realizando uma livre negociação entre as partes interessadas. Esta iniciativa, entretanto, ainda precisa ser incentivada, pois muitas empresas não participam desta atividade temendo mostrar o tipo de resíduo produzido em seu processo.

Diante de tantos problemas, muitas indústrias estão dispostas a pagar para que a destinação final de seus resíduos seja adequada. Esta decisão, contudo, diz respeito a uma minoria formada por grandes empresas e multinacionais que possuem mão-de-obra especializada, capaz de escolher o melhor destino para cada tipo de resíduo e até mesmo enviá-los para outros estados, se considerarem escassas as alternativas existentes no Estado do Rio de Janeiro.

Dessa forma, como foi citado acima, a primeira alternativa das grandes indústrias para o destino de seus resíduos tem sido a reciclagem, pois a questão do passivo ambiental ainda continua a preocupar muitas empresas, principalmente as originadas de países desenvolvidos. A grande maioria das pequenas empresas, porém, declara que a disposição adequada dos resíduos não perigosos é a ação de controle e/ou prevenção ambiental escolhida para gerenciar seus resíduos, com resultados satisfatórios (FIRJAN & FGV, 2002). Entretanto, pode-se questionar se esta disposição está sendo feita realmente de forma adequada.

Dados do Diagnóstico da Situação da Gestão Ambiental nas Indústrias do Estado do Rio de Janeiro descrevem que 71% das pequenas indústrias da Região Centro-Norte do Estado do Rio (municípios de Bom Jardim, Cachoeira de Macacu, Cantagalo, Carmo, Cordeiro, Duas Barras, Macuco, Nova Friburgo, Santa Maria Madalena, São Sebastião do Alto, Sumidouro, Teresópolis e Trajano de Moraes) declararam realizar a disposição adequada dos resíduos sólidos não perigosos. Todavia, nesses municípios são encontrados vazadouros e aterros

controlados e, provavelmente, essas indústrias não estão retirando seus resíduos para encaminhá-los para outro município que possua um aterro com infraestrutura adequada. Desta forma, pode-se supor que muitas destas indústrias consideram a disposição dos resíduos nas áreas existentes em seus municípios como adequada.

Uma vez que, para 42% das pequenas empresas, a falta de informações técnicas é a maior dificuldade encontrada para alcançar a melhoria ambiental (FIRJAN & FGV, 2002), não se pode garantir que essas mesmas empresas têm conhecimento e avaliação técnica suficientes para verificar se o que elas consideram disposição adequada dos resíduos, é realmente adequada ou não.

1.2.1 – Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais no Rio de Janeiro: Exemplos de Casos.

Pode-se observar que a maioria dos municípios que compõe o Estado do Rio utiliza os depósitos no solo como destino final para os seus resíduos e que vários desses depósitos estão situados no entorno da Baía de Guanabara ou nas proximidades de afluentes pertencentes à sua bacia hidrográfica.

Algumas dessas áreas acabam sendo destaque na situação geral encontrada, pelas suas dimensões, quantidade e natureza dos resíduos depositados, proximidade de núcleos populacionais e de ecossistemas e fontes de água. Vários exemplos podem ser destacados no Estado do Rio de Janeiro, dentre os quais serão abordados a seguir o Aterro Metropolitano de Gramacho e o Aterro Controlado do Morro do Céu.

1.2.1.1 – Aterro Metropolitano de Gramacho

O Aterro Metropolitano de Gramacho está situado no município de Duque de Caxias e opera desde 1976 em uma área de 1.300.000 m² (**Anexo 1 – Foto 1**).

O local recebe, em média, cerca de 7.000 toneladas de resíduos sólidos por dia, gerados nos municípios do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Nilópolis, Queimados e São João de Meriti (COMLURB, 2002). Os resíduos depositados

normalmente compreendem resíduos urbanos, resíduos industriais não perigosos, lodos de dragagem, cascalhos, entulho, etc. (**Anexo 1 – Foto 2**).

A maior parte da área ocupada pelo aterro já está coberta, caracterizando locais com lixo recém depositado ou lixo depositado há mais tempo. Entretanto, como o local de operação está situado sobre uma camada de argila mole (que ajuda na impermeabilização do terreno), freqüentemente ocorre a acomodação do terreno e em áreas já recobertas muitas vezes observa-se a abertura de fendas e a exposição dos resíduos outrora cobertos. Essas fendas permitem que o chorume confinado sob a massa de lixo seja liberado e escorra novamente em direção as bordas da área de operação.

Em 1995 a Construtora Queiroz Galvão passou a ser responsável pela operação do local, implantando algumas ações como a construção de uma vala que circunda o aterro e que aprisiona parte do chorume produzido e de uma barreira de contenção com argila, para impedir o escoamento do chorume; a construção de uma rede interligada para drenagem de gases e do chorume e a construção de uma estação de tratamento do chorume (**Anexo 2 – Foto 3**). Atualmente a recuperação e operação da área estão sob responsabilidade da empresa EBEC – Engenharia Brasileira de Construção (COMLURB, 2002).

Após identificação e pesagem, os caminhões seguem para a praça de operação, onde o lixo é descarregado. O lixo é coberto por argila, depois de ser espalhado e compactado. O local onde são despejados os resíduos de serviços de saúde é cercado para evitar a ação de catadores. Os catadores fundaram uma cooperativa autônoma e alguns trabalham na separação de materiais recicláveis, na usina existente na área do aterro.

O chorume é captado por caminhões-pipa e usado na irrigação das pistas internas, que não são asfaltadas. Este tipo de procedimento é realizado para a recirculação interna do chorume e para diminuição da poluição do ar por partículas suspensas, originadas da movimentação dos caminhões coletores dentro do aterro (Sisinno, 1997).

A área do aterro está situada às margens da Baía de Guanabara, em uma zona de manguezais próxima dos rios Iguaçu e Sarapuí, que foi afetada pelo despejo de chorume e pela operação na área. Atualmente há um programa de replantio de mudas de espécies nativas da área e pode-se observar a recuperação de parte do manguezal (**Anexo2 – Foto 4**).

Um dos grandes problemas ocasionados pelo local é a presença de urubus, que representam um risco para as aeronaves que utilizam o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Antônio Carlos Jobim, situado na Ilha do Governador, na direção oposta ao aterro.

Antes do aterro, o bairro de Jardim Gramacho era esparsamente habitado. Atualmente, grande parte de sua população sobrevive da atividade de catação e do trabalho em empresas de sucata e ferros-velhos situados nas redondezas (Sisinno, 1997).

A vida útil do Aterro Metropolitano de Gramacho está estimada em mais dois anos e a COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro) pretende acabar com as atividades de Gramacho em 2004. O grande desafio atualmente é a escolha de uma outra área para preparação de um novo aterro para disposição dos resíduos produzidos nos municípios que utilizam o Aterro de Gramacho.

1.2.1.2 – Aterro Controlado do Morro do Céu

Inaugurado em caráter de emergência, o Aterro Controlado do Morro do Céu começou a operar em 1983 como vazadouro de lixo. Atualmente seu sistema de operação (pesagem dos caminhões coletores, compactação e cobertura parcial do lixo, captação parcial das águas de escoamento superficiais e subterrâneas, etc.) permite enquadrá-lo na categoria de aterro controlado. O Aterro localiza-se no bairro do Caramujo, a 12 km do centro da cidade de Niterói (RJ). No local são depositadas cerca de 600 toneladas de resíduos por dia, em uma área de aproximadamente 200.000 m².

O Aterro está localizado nos fundos de um vale, em uma área com vegetação secundária bem desenvolvida e atualmente devastada para ampliação da área de operação (**Anexo 3 – Foto 5**).

No local eram encontrados vários pequenos olhos d'água e a nascente do córrego Mata-Paca, utilizado na irrigação de hortas de uma localidade vizinha ao bairro do Caramujo. O córrego Mata-Paca é contribuinte da Bacia da Baía de Guanabara, desaguando na área do manguezal de Guapimirim, em São Gonçalo.

O local é operado pela Companhia de Limpeza Urbana de Niterói (CLIN). Não há tratamento do chorume produzido, notando-se apenas que em alguns

pontos ocorre a captação de parte deste e das águas pluviais em calhas superficiais e em manilhas subsuperficiais (**Anexo 3 – Foto 6**). Esta captação é direcionada para fora dos limites do aterro, sendo lançada – após o muro de contenção – no córrego Mata-Paca (**Anexo 4 – Foto 7**). Além de poluir as águas superficiais, parte do chorume penetra no solo, poluindo-o e comprometendo o uso futuro da área de despejo.

A operação é feita, basicamente, da seguinte forma: após a pesagem dos caminhões coletores na balança situada no alto da área do depósito, os caminhões descem até a praça de operação, onde o lixo é despejado. Os catadores (cerca de 150) agem rapidamente, enquanto os tratores de esteira empurram, espalham e compactam o lixo. Parte deste, então, é coberto de forma irregular. O material utilizado para a cobertura é retirado da própria área do entorno, por meio de desmontes e cortes na encosta (Sisinno, 1997).

No local foram instalados alguns pontos de captação dos gases produzidos. Entretanto, o risco de deslocamentos e incêndios no aterro ainda existe.

Observa-se uma grande quantidade de vetores transmissores de doenças, principalmente moscas. Há também grande quantidade de urubus que utilizam as matas vizinhas para fazerem seus ninhos, procriando com facilidade.

O aterro encontra-se próximo a um núcleo populacional. No loteamento Jardim Paulista, um dos componentes deste núcleo, os moradores da Rua A são os mais prejudicados, pois o início dessa rua situa-se a aproximadamente 65 metros do muro de contenção que limita a área do aterro. A ocupação é anterior à construção do aterro: há quem viva no local há mais de 20 anos (Sisinno, 1997) (**Anexo 4 – Foto 8**).

O Aterro foi contemplado com verba do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara para a construção de usinas de reciclagem, compostagem e incinerador, mas as obras estão inacabadas.

1.3 – Os Resíduos Urbanos e Industriais como Fontes de Substâncias Químicas

Resíduos sólidos, segundo definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são resíduos em estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial,

agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 1987b).

A NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação, da ABNT, tem por objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais para o ambiente e para a saúde pública, a fim de que estes possam ser manuseados e terem destino adequado (ABNT, 1987b).

Para os efeitos desta Norma, os resíduos são classificados em 3 classes:

- resíduos classe I – perigosos;
- resíduos classe II – não-inertes;
- resíduos classe III – inertes.

Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (ABNT, 1987b).

Os resíduos não-inertes são aqueles que não se enquadram como perigosos nem como inertes, podendo ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (ABNT, 1987b).

Os resíduos inertes, por sua vez, são os resíduos que, após o teste de solubilização segundo a NBR 10.006 (ABNT, 1987c), não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor (por exemplo, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente) (ABNT, 1987b).

A toxicidade é uma das características que confere periculosidade a um resíduo. Segundo a NBR 10.004, a toxicidade pode ser avaliada através da análise química de uma amostra representativa do resíduo lixiviado, após o teste de lixiviação realizado de acordo com a NBR 10.005 (ABNT, 1987a) ou de testes de toxicidade com ratos e coelhos para determinação da Concentração Letal 50 (CL50 por via inalatória) ou Dose Letal 50 (DL 50 por via dérmica para coelhos ou DL50 por via oral para ratos) (ABNT, 1987b).

Os resíduos sólidos urbanos podem conter numerosas espécies químicas consideradas perigosas para a saúde humana e ambiental, cujas concentrações

dependem, principalmente, da composição do lixo, uma vez que este é constituído pela mistura complexa de objetos e materiais de várias naturezas (Chilton & Chilton, 1992; Rousseaux *et al.*, 1989).

Estudos da *Environmental Protection Agency* (EPA) em amostras de chorume de lixo urbano, relacionaram mais de 100 espécies químicas perigosas ao ambiente e à saúde humana, dentre as quais foram citadas arsênio, tetracloreto de carbono, mercúrio, chumbo, etc. (Chilton & Chilton, 1992).

Deve-se ressaltar também que o descarte de resíduo doméstico perigoso – representado por pilhas e baterias, tintas, inseticidas domésticos, óleo lubrificante, produtos de limpeza em geral, solventes domésticos, etc. – contribui para que espécies químicas utilizadas nestes produtos sejam concentradas nas áreas de despejo (Scudder & Blehm, 1991; McEvoy & Rossignol, 1993). Dessa forma, programas de separação de resíduos domésticos perigosos têm sido incentivados em vários países como, por exemplo, Estados Unidos (Wolf *et al.*, 1997) e Suécia.

Com relação ao setor industrial, de acordo com o processo de produção, vários resíduos contendo diferentes espécies químicas podem ser gerados. Por exemplo, nas indústrias de pigmentos inorgânicos, resíduos perigosos como lodo de tratamento de águas residuárias podem conter cádmio, cromo hexavalente, níquel, cianeto, tolueno e nitrobenzeno (ABNT, 1987b).

1.3.1 – Metais

Os resíduos sólidos urbanos são uma importante fonte de metais para o ambiente. Em um estudo sobre os teores de metais no lixo urbano, Rousseaux *et al.* (1989) descrevem que os plásticos são fonte de cádmio e níquel; o chumbo e o cobre se são encontrados em quantidades consideráveis nos metais ferrosos; a borracha representa uma grande fonte de zinco e as pilhas são grandes contribuintes de mercúrio, cádmio, zinco e níquel à massa de lixo.

Outra constatação sobre como os metais podem ser encontrados nos resíduos sólidos urbanos é o fato de que compostos de lixo produzidos a partir de resíduos não segregados possuem concentrações de metais maiores do que os que utilizaram a matéria orgânica previamente separada dos outros componentes do lixo. A contaminação da matéria orgânica pode ser ocasionada por adesão de

partículas de pequeno diâmetro de óxidos metálicos, cinzas e limalhas à massa orgânica úmida, sendo comum a presença de vários metais – como chumbo, zinco, manganês e cobre – em compostos de lixo mal processados, onde foi utilizada matéria orgânica não separada na fonte (Egreja Filho *et al.*, 1999).

O chorume – líquido formado a partir da decomposição da matéria orgânica e de restos de vários materiais encontrados nos resíduos urbanos – é conhecido por conter diferentes metais em concentrações variadas. Ray & Chan (1986) descrevem faixas de concentração de metais bem variáveis, encontradas em diversas amostras de chorume. Os metais descritos com mais frequência no chorume são: arsênio, cromo total, cádmio, cobre, chumbo, níquel, ferro e zinco (EPA, 1995; Ray & Chan, 1986).

Além dos resíduos urbanos, os metais estão presentes no processo de produção de várias indústrias, sendo muito comuns em resíduos originados dos segmentos de galvanoplastia, metalmecânica, fabricação de tintas, produção de pigmentos inorgânicos, etc. (ABNT, 1987b).

1.3.2 – Compostos orgânicos

A ocorrência e concentração de compostos orgânicos em áreas de disposição de resíduos têm merecido grande atenção atualmente. Substâncias químicas tóxicas e carcinogênicas podem ser frequentemente encontradas nestas áreas. As fontes desses contaminantes incluem resíduos sólidos municipais e seus produtos de degradação, resíduos perigosos depositados ilegalmente e pequena quantidade de resíduo perigoso legalmente disposto (Kromann & Christensen, 1998; Ruokojärvi *et al.*, 1995).

Resíduos domésticos perigosos têm apresentado em seu conteúdo significantes quantidades de substâncias orgânicas, como pesticidas, hidrocarbonetos e solventes (Deipser & Stegmann, 1994; Schrab *et al.*, 1993).

Estudos de Öman & Hynning (1993), Sawhney & Kozloski (1984), Welandar & Henrysson (1998), entre outros, sobre poluentes orgânicos analisados em chorume, relataram a presença de benzeno, tolueno, acetona, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e fenóis; substâncias igualmente listadas pela EPA (Chilton & Chilton, 1992).

Indústrias petroquímicas e de produtos químicos orgânicos são as principais fontes de resíduos industriais como óleos usados, solventes e borras oleosas, que contêm em sua composição vários compostos orgânicos, como HPAs, fenóis, benzeno, tolueno e xilenos (ABNT, 1987b; FEEMA, 2000).

Dentre as substâncias prioritárias para investigação em locais de disposição de resíduos, citadas pela OMS (2000) e por Johnson & De Rosa (1997), estão os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, escolhidos com base em sua toxicidade, persistência no ambiente e capacidade de bioacumulação.

1.3.3 – Avaliação da Toxicidade dos Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais

A toxicidade potencial de misturas complexas, como é o caso do chorume e do percolado dos aterros de resíduos industriais, não deveria ser determinada com base apenas nas características físico-químicas, pois somente através dos testes de toxicidade pode-se avaliar os efeitos totais para os organismos vivos das diversas substâncias presentes nessas amostras.

Os testes de toxicidade integram os efeitos de variáveis de exposição ambiental como solubilidade, pH, antagonismo, sinergismo e tempo de exposição. Uma vez que todas essas variáveis são capazes de afetar a toxicidade das substâncias a um organismo vivo, os testes podem indicar uma resposta mais precisa (Cheung *et al.*, 1993).

A avaliação do risco ao ambiente resultante da disposição de resíduos sólidos ainda ocorre exclusivamente por análise química de amostras de chorume e percolado de resíduos em muitos países. Entretanto, tem sido aceito que dados químicos isoladamente não permitem avaliar o efeito tóxico total resultante da presença de substâncias químicas originadas dessas áreas. Como conseqüência, atenção crescente tem sido dada por parte de pesquisadores de diversos países na incorporação de testes de toxicidade em avaliações de risco de áreas de disposição de resíduos.

Apesar de conter inúmeras substâncias tóxicas em sua composição, o chorume comumente é despejado em ecossistemas aquáticos. Desta forma, a execução de testes de toxicidade com organismos de diferentes níveis tróficos da cadeia aquática (Bernard *et al.*, 1996 e 1997) – como algas (*Chlorella vulgaris* e *Scenedesmus* sp.), microcrustáceos (*Daphnia pulex* e *Daphnia magna*) e peixes

(*Salmo gairdneri*) – torna-se um importante instrumento para a determinação da toxicidade desse efluente aos organismos aquáticos (Atwater, 1983; Cameron & Koch, 1980; Cheung *et al.*, 1993; Enserink *et al.*, 1991).

O uso de testes de toxicidade para avaliação de locais de disposição de resíduos tem mostrado que uma avaliação completa deve ser realizada com diferentes organismos como algas, microcrustáceos, peixes, minhocas, bactérias e vegetais (Miller *et al.*, 1985). Essa avaliação pode ser realizada tanto em amostras do solo oriundo das áreas de disposição como em amostras de resíduos lixiviados (Coya *et al.*, 2000; Hauser *et al.*, 1997; Matthews & Hastings, 1987; Warren-Hicks *et al.*, 1989).

1.4 – Problemas Ambientais Observados nas Áreas de Disposição de Resíduos

Vários problemas ambientais podem ser observados nas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos e industriais. Esses problemas são responsáveis por danos aos componentes bióticos, abióticos e à saúde humana.

1.4.1 – Produção do chorume

Com relação aos resíduos sólidos urbanos, um dos principais problemas observados é decorrente da ação nociva do chorume. O processo básico de formação do chorume pode ser resumido da seguinte forma: ao percolar através dos resíduos, a água dissolve componentes orgânicos, inorgânicos e produtos em decomposição, formando um líquido altamente poluente e de complexa composição, denominado vulgarmente como chorume.

A produção do chorume implica na necessidade do lixo possuir em sua constituição elevados teores de matéria orgânica e umidade. São várias as fontes de água que contribuem para a formação e aumento da vazão do chorume, destacando-se: a água das chuvas (considerada como a principal fonte), a água de nascentes, a umidade contida nos resíduos ou líquidos depositados na área de despejo, a umidade local e a umidade oriunda da decomposição do lixo orgânico (Schalch, 1984).

O chorume é um efluente variável entre áreas de despejo e ao longo do tempo e espaço em uma mesma área. Vários fatores influenciam sua composição, destacando-se: a composição, quantidade e tipos de resíduos; as operações de trituração e compactação sobre os resíduos; o clima local e a estação do ano e o estágio de decomposição dos resíduos (Chu *et al.*, 1994).

O chorume do lixo disposto recentemente possui diferenciação daquele oriundo do lixo que já se encontra há mais tempo depositado. Esta observação pode ser notada, por exemplo, através do pH – que a princípio tende a ser ácido, passando para a faixa alcalina em chorume de lixo depositado há mais tempo – e da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) que, inicialmente altas, tendem a decrescer com o passar do tempo (Philips *et al.*, 1994).

Deve-se ressaltar que a concentração de uma espécie química em particular encontrada no chorume vai depender principalmente da composição e do estágio de decomposição do lixo, da solubilidade daquela espécie química e do pH da amostra (Philips *et al.*, 1994).

1.4.2 – Poluição do Ar

Quando a matéria orgânica encontrada no lixo é fermentada por microorganismos dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar, ocorre a produção do biogás: gás composto por metano, dióxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio e gás sulfídrico (Schalch, 1984).

O metano, componente predominante do biogás, é um gás inflamável que pode formar com o ar uma mistura explosiva, tornando por isso comum a combustão espontânea do lixo nas áreas de despejo (Schalch, 1984).

Emberton & Parker (1987) observam que, mesmo depois de sua desativação, em algumas áreas de despejo o metano continua a ser produzido lentamente durante um longo período de tempo. Sisinni (1997) verificou que em algumas áreas de um vazadouro desativado (Vazadouro de Viçoso Jardim) na cidade de Niterói (RJ), focos de liberação de metano ainda podiam ser observados, mesmo depois do término do uso do local para disposição de resíduos urbanos, ocorrido há quase 15 anos.

A queima proposital ou acidental que ocorre em algumas áreas de despejo também constitui uma importante fonte de poluição do ar originada nessas áreas. Além disso, deve-se destacar também a contribuição dos compostos voláteis, freqüentemente encontrados nas áreas de despejo de resíduos urbanos e industriais.

Dependendo de fatores como a intensidade e direção dos ventos, temperatura e volatilidade dos compostos, a poluição do ar oriunda de uma área de despejo poderá ser observada também em áreas vizinhas.

No caso de áreas de despejo onde haja, mesmo que precariamente, algum tipo de espalhamento, compactação e cobertura dos resíduos, as poeiras suspensas vindas dos próprios resíduos e produzidas durante as etapas de operação também contribuirão para a poluição do ar no local. Caso as vias de acesso dos caminhões que transportam os resíduos não estejam pavimentadas, a circulação contínua destes veículos pesados também contribuirá para a liberação de partículas suspensas.

1.4.3 – Poluição das Águas Superficiais e Subterrâneas

Quando despejado nos cursos d'água superficiais, o chorume – devido a sua alta carga orgânica – irá alterar a DBO e DQO da água, influenciando negativamente na fauna e flora macro e microscópica. Atingindo os lençóis d'água subterrâneos – fonte de abastecimento de água para a população em muitos locais – o chorume poluirá poços, podendo dar origem a endemias se houver organismos patogênicos em sua carga poluidora.

Os resíduos sólidos contêm espécies químicas que podem ser carregadas pelas chuvas e entrar em contato com os cursos d'água superficiais e subterrâneos através de escoamento superficial e infiltração. Dessa forma, poderá haver o comprometimento do uso dessas fontes e da biota aquática, com risco de ocorrer intoxicações em um grande número de pessoas.

Enquanto a contaminação de um manancial de superfície geralmente constitui-se em um problema visível, facilmente identificável por mudança da cor da água, presença de espuma, odor e aparecimento de organismos aquáticos mortos, a contaminação dos aquíferos é invisível e pode transformar-se em um

problema crônico, na medida em que só venha a ser identificado por meio de seus efeitos na saúde pública (Rebouças, 1992).

Vários estudos mostram a preocupação com o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas existentes em áreas de disposição de resíduos, por causa do risco de contaminação dessa importante fonte de água para a população (Kjeldsen *et al.*, 1998). Populações residentes longe das áreas de disposição também correm o risco de estar consumindo água de um lençol contaminado. Assim sendo, a água subterrânea contaminada a partir de uma área de disposição de resíduos constitui-se em um dos maiores problemas relacionados à saúde das populações indiretamente afetadas por essas áreas.

Além do risco à saúde das populações, deve-se ressaltar o alto custo, o tempo dispensado e a necessidade de utilização de modernas e caras tecnologias para a descontaminação de um aquífero subterrâneo.

1.4.4 – Poluição do Solo

As áreas utilizadas para o despejo de resíduos, mesmo depois de desativadas, terão seu uso futuro comprometido devido às conseqüências da disposição imprópria de toneladas de resíduos durante anos. Espécies químicas encontradas nos resíduos (como metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, etc.) poderão ser retidas pelos solos e assimiladas pelos vegetais, não sendo recomendada, deste modo, a utilização de culturas para alimentação (Chaney, 1983).

Muitas destas substâncias podem ser corrosivas para alguns materiais de construção, sendo um risco para edificações erguidas na área. Além disso, o gás acumulado nestas áreas, conforme dito anteriormente, pode provocar explosões, incêndios e instabilidade do terreno, constituindo-se em um problema para a urbanização futura de áreas de despejo desativadas (Emberton & Parker, 1987).

As complexas reações químicas que acontecem no solo são possíveis pela presença de milhares de espécies de bactérias, fungos, algas, protozoários, minhocas, etc. A grande maioria destes organismos vive no primeiro horizonte do solo e é desta pequena camada que os vegetais retiram nutrientes necessários ao seu desenvolvimento, garantindo alimentação para os animais que habitam sobre ela. Entretanto, esta é a primeira a ser atingida pelas

substâncias tóxicas. Quando estas substâncias são descartadas, os organismos morrem, comprometendo diretamente todo o sistema de respiração do solo, ou podem bioacumular esses compostos e continuar suas funções com todo o seu ciclo de vida alterado (Sisinno & Oliveira, 2000).

A maior ou menor permanência no solo das espécies químicas originadas dos resíduos dependerá de vários fatores, como a mineralogia do solo, pH, teor de matéria orgânica, entre outros, bem como das propriedades físico-químicas dos compostos, transformações biológicas e químicas, mecanismos de transporte para outros meios, condições climáticas observadas na área de despejo, etc. (EPA, 1991; Sisinno & Oliveira, 2000).

1.5 – Risco à Saúde em Áreas de Disposição de Resíduos

Os resíduos não devem ser desprezados no estudo da estrutura epidemiológica, uma vez que pela sua variada composição, podem conter agentes biológicos patogênicos e/ou substâncias químicas que podem alcançar o ser humano, principalmente de forma indireta, afetando sua saúde.

Uma vez que os resíduos sólidos contêm uma grande variedade de substâncias, pode haver o risco de intoxicação humana através do ar, água, solo ou através da cadeia alimentar a partir da ingestão de vegetais e animais – aquáticos e terrestres – utilizados como alimento, que tenham sido contaminados por substâncias passíveis de serem bioacumuladas, como metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (Chaney, 1983).

A contaminação humana pode ocorrer por ingestão de carne ou leite dos animais que se alimentaram de plantas contaminadas encontradas nas áreas de resíduos ou mesmo por ingestão dessas próprias plantas (Chaney, 1983). Fauna e flora aquáticas podem acumular as substâncias químicas, caso os cursos d'água em que estejam presentes tenham sido contaminados por resíduos provenientes de áreas de disposição. Vegetais irrigados com água contaminada originada de áreas de disposição de resíduos também poderão causar problemas de saúde ao homem.

Além do consumo de animais e vegetais que estiveram em contato com o solo contaminado, pode ocorrer a exposição humana direta através da água superficial ou subterrânea, pela pele ou ingestão acidental de solo, muito comum

no caso de crianças. Substâncias voláteis e partículas em suspensão poderão causar problemas de saúde por meio da inalação direta do ar.

Todos esses problemas influenciam negativamente a saúde das populações residentes nas proximidades das áreas de disposição de resíduos: populações que muitas vezes já se encontravam no local antes do início da instalação dessas áreas ou se mudaram para as redondezas devido à falta de melhores condições de moradia.

Além da população em geral, pode-se destacar que outros grupos de risco são os profissionais que trabalham na operação das áreas de despejo e os catadores de lixo que, em virtude de suas atividades, estão normalmente em contato contínuo e direto com os resíduos.

Os problemas de saúde observados em populações residentes nas proximidades de área de disposição de resíduos urbanos e industriais podem ser agravados, levando-se em consideração que muitas dessas pessoas moram em habitações precárias (muitas vezes sem abastecimento de água e esgotamento sanitário adequados) e têm sua saúde debilitada por problemas relacionados à carência nutricional, vícios (alcoolismo e tabagismo) e doenças crônicas.

Aliado a tudo isso, deve-se lembrar que muitas vezes a população afetada não dispõe de atendimento médico adequado e apresenta baixo nível cultural e educacional, o que contribui para que medidas de proteção e higiene não sejam adotadas, favorecendo a exposição às substâncias químicas e aos agentes biológicos oriundos das áreas de despejo de resíduos.

Além desses fatores, portadores de doenças crônicas, mulheres, idosos e crianças constituem-se em grupos vulneráveis que podem ter sua saúde mais facilmente afetada (Acurio *et al.*, 1997).

Uma parte da população que deve merecer atenção quanto as suas condições de saúde é aquela que não dispõe de coleta domiciliar regular de lixo, já que os resíduos produzidos, desta forma, acabam sendo queimados ou lançados nas proximidades de suas residências, formando pequenos vazadouros (Sisinno, 2000).

Uma vez que nas áreas de despejo de resíduos sólidos urbanos e industriais depositam-se, simultaneamente, inúmeras substâncias, há a possibilidade de ocorrer reações químicas que podem gerar substâncias tão ou mais tóxicas do que as originalmente depositadas. Esta particularidade contribui para dificultar os estudos epidemiológicos. Além disso, os estudos

epidemiológicos em locais de disposição de resíduos são executados com alguma dificuldade devido à baixa eficiência estatística associada ao tamanho das populações expostas, escassos dados relativos à exposição e falta de indicadores bem definidos. Apesar desses obstáculos, alguns estudos indicam que os efeitos adversos à saúde são reais e detectáveis (Ozonoff *et al.*, 1987).

Os efeitos à saúde ocasionados pela exposição às diversas substâncias químicas oriundas de locais de disposição de resíduos ocorrem de várias maneiras e afetam diferentes órgãos-alvo, dependendo do tipo de substância envolvida, da rota de exposição e da dose recebida (Koning *et al.*, 1994).

As funções do fígado e rins são freqüentemente afetadas quando muitas substâncias químicas alcançam níveis tóxicos no organismo, uma vez que ambos os órgãos estão envolvidos no metabolismo e excreção de substâncias. Para o fígado, os danos são muitas vezes não específicos. Por exemplo, freqüentemente associa-se a cirrose ao consumo de álcool, mas a doença também pode ser causada pela exposição aos hidrocarbonetos clorados. A função excretora dos rins pode predispor este órgão a uma maior intensidade de exposição às espécies químicas. Mercúrio e clorofórmio são exemplos de espécies químicas que podem causar lesões renais (Koning *et al.*, 1994).

Buffer *et al.* (1985) citam que os efeitos à saúde predominantes em situações de baixa exposição, são geralmente inespecíficos. Em situações de exposição moderada, anormalidades hematológicas são freqüentes e em alta exposição observam-se, muitas vezes, problemas de pele, distúrbios no sistema nervoso central, fígado e aparelho reprodutor.

A pele e o sistema nervoso central são freqüentemente afetados nos casos de contato direto com as espécies químicas oriundas das áreas de despejo de resíduos. Observam-se efeitos no sistema hepático, renal e aparelho reprodutor em exposições crônicas a baixas doses de substâncias químicas por meio de ingestão. Tanto disfunções no sistema nervoso central como no aparelho reprodutor foram verificadas em um grande número de circunstâncias de exposição, tanto em doses altas como em doses baixas, bem como em uma grande variedade de substâncias químicas. Entretanto, desordens respiratórias, gastrointestinais e cardiovasculares foram observadas, em sua maioria, em situações de exposição a baixas doses (Buffer *et al.*, 1985).

A severidade e a manifestação imediatas dos efeitos estão relacionadas à dose e à rota de exposição. A ingestão é a via em que ocorrem os episódios de

contaminação com conseqüências mais severas para a saúde das populações, principalmente nos casos em que o alimento foi diretamente ou indiretamente contaminado. A ingestão de água contaminada não deixa de ser uma via importante, mas as manifestações clínicas foram aparentes apenas em situações de exposição a doses muito altas da substância. Em situações de baixas doses, muitos indivíduos expostos foram assintomáticos ou mostraram apenas manifestações subclínicas transitórias (Buffer *et al.*, 1985).

Com relação à contaminação do ar, as maiores queixas das populações vizinhas a estas áreas referem-se a distúrbios respiratórios, não só pela poeira suspensa, mas também pela queima dos resíduos e pelo cheiro desagradável e efeito irritante de algumas substâncias voláteis, que causam cefaléia e náuseas. A contaminação do ar também pode ser responsável por problemas de visão, como irritação e inflamação da mucosa ocular (Acurio *et al.*, 1997).

Segundo a ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), a avaliação de risco em saúde pública consiste na avaliação de dados e informações sobre a emissão de substâncias para o ambiente, com a finalidade de identificar qualquer impacto atual ou futuro que possa afetar a saúde da população. A avaliação de saúde pública também pode propor recomendações e identificar estudos ou ações necessárias para analisar, mitigar ou prevenir os efeitos nocivos da exposição às substâncias perigosas para a saúde humana (ATSDR, 1995).

Na avaliação das implicações para a saúde decorrentes de depósitos de resíduos, alguns dados e informações devem ser observados. Esta avaliação é um processo dinâmico que considera a interação dos dados disponíveis. Deve-se ressaltar que cada sítio contaminado tem características próprias e únicas, que influirão na sua avaliação e que existem grupos de pessoas mais vulneráveis. A seguir estão listadas algumas etapas relacionadas à avaliação de riscos para a saúde decorrentes de um depósito de resíduos sólidos:

- avaliação da informação física, geográfica, histórica e de operação do depósito;
- identificação das preocupações com a saúde da comunidade afetada;
- identificação e avaliação das rotas de exposição (mecanismos de transporte ambiental e vias de exposição humana);

- determinação das implicações para a saúde com base em fontes de dados disponíveis sobre efeitos à saúde específicos para a comunidade afetada e outras informações toxicológicas e médicas;
- determinação das conclusões e recomendações referentes ao risco para a saúde decorrentes do depósito de resíduos (ATSDR, 1995).

Neste processo de avaliação, a presença de uma fonte contaminante não é o suficiente para causar um risco para a saúde. É necessário existir uma rota de exposição completa, ou seja, a fonte de contaminação, meios e mecanismos de transporte, um ponto de exposição, uma via de exposição e uma população receptora (ATSDR, 1995; OMS, 2000).

1.5.1 – Riscos Relacionados à Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos

O lixo urbano, por conter material fecal, resíduos de estabelecimentos de saúde, resíduos de varrição de ruas, etc., contém um amplo espectro de organismos patogênicos (Pereira Neto & Stentiford, 1992). Estudos em áreas de disposição de lixo urbano relatam a presença de vários patógenos, como *Clostridium* sp., *Salmonella* sp., *Shigella* sp., etc. (Scarpino *et al.*, s.d.). Estes organismos patogênicos também podem ser originados do lixo oriundo de uma residência, uma vez que neste é comum a presença de absorventes higiênicos, lenços de papel, fraldas, curativos, etc. (Turnberg, 1991).

Uma vez que várias doenças facilmente disseminadas são reconhecidamente de veiculação hídrica, estudos como os de Assmuth & Strandberg (1993) e Karnchanawong *et al.* (1993), entre outros, demonstram uma real preocupação com relação à qualidade das águas subterrâneas próximas às áreas de disposição de resíduos.

Além dos microorganismos, os resíduos sólidos urbanos podem conter numerosos elementos tóxicos, como citado anteriormente, que igualmente representam um risco para a saúde humana.

Os vetores encontrados nas áreas de disposição de resíduos urbanos são animais que encontram no lixo alimento e abrigo, ou seja, condições favoráveis para sua proliferação. Muitos destes animais são vetores responsáveis pela transmissão de inúmeras doenças ao homem, tais como: febre tifóide, salmoneloses e disenterias transmitidas por moscas e baratas; filariose, malária,

dengue e febre amarela transmitidas por mosquitos; raiva, peste bubônica, leptospirose e certas verminoses transmitidas pelos roedores (Rouquayrol, 1986).

Além destes, os urubus que são atraídos pela matéria orgânica em decomposição encontrada no lixo podem albergar o agente da toxoplasmose (Leite *et al.*, 1990), constituindo-se igualmente em um risco para as aeronaves que circulam nas proximidades de áreas de despejo de lixo.

Problemas de saúde relatados em populações encontradas nas vizinhanças de depósitos de resíduos urbanos referem-se a distúrbios intestinais, verminoses, alergias de pele, problemas respiratórios, conjuntivites, etc. (Sisinno, 1997). Entretanto, elevada incidência de câncer em moradores das redondezas de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos foi encontrada nos estudos de Goldberg *et al.* (1995 e 1999).

1.5.2 – Riscos Relacionados à Disposição de Resíduos Sólidos Industriais

Ozonoff *et al.* (1987) demonstraram como resultado de seu estudo em moradores residentes nas proximidades de várias áreas de disposição de resíduos perigosos que estes apresentavam mais incidência de sintomas respiratórios (respiração ofegante, tosse, resfriados persistentes, etc.), problemas cardíacos e casos de anemia, comparados com um grupo controle, localizado mais afastado dessas áreas.

Segundo Harding & Greer (1993), há evidências de que as populações que moram perto de locais de disposição de resíduos perigosos são mais propensas a apresentar níveis elevados de mortalidade por câncer, defeitos de nascença, doenças no fígado e distúrbios neurológicos.

Acurio *et al.* (1997) descrevem que os sete principais problemas de saúde associados às substâncias presentes nos locais de disposição de resíduos perigosos são:

- anomalias imunológicas;
- câncer;
- danos ao aparelho reprodutor e defeitos de nascença;
- doenças respiratórias e pulmonares;
- problemas hepáticos;
- problemas neurológicos;

- problemas renais.

Destes, os três problemas que mais preocupam as comunidades afetadas pela disposição de resíduos perigosos são: câncer, efeitos neurológicos e defeitos de nascença (Acurio *et al.*, 1997).

Segundo Harding & Greer (1993), há evidências de que as populações que moram perto de locais de disposição de resíduos perigosos são mais propensas a apresentar níveis elevados de mortalidade por câncer, defeitos de nascença, doenças no fígado e distúrbios neurológicos. Bronquite, asma, diarreia freqüente e náuseas foram alguns dos problemas que Baker *et al.* (1988) relataram em um estudo conduzido em duas comunidades vizinhas a um local de disposição de resíduos perigosos.

1.6 – Instrumentos Normativos

No Brasil observa-se que, infelizmente, o controle das atividades potencialmente poluidoras ainda está muito vinculado à pressão dos órgãos de fiscalização. Atitudes proativas normalmente são tomadas apenas pelas grandes empresas, temerosas de escândalos envolvendo suas marcas.

A disponibilidade de informação atualizada sobre os tipos, estoques e destinos dos resíduos gerados no parque industrial é um requisito de extrema importância para o controle ambiental eficaz. A Resolução CONAMA nº 006 de 15/06/88 instituiu o Inventário Nacional de Resíduos Industriais, com a finalidade de sistematizar as informações sobre a situação dos resíduos industriais no Brasil – especialmente os resíduos perigosos – a fim de permitir seu monitoramento e o controle de sua movimentação em todo o país (FEEMA, 1992).

No Estado do Rio de Janeiro a FEEMA, através de seu Inventário de Resíduos, mantém informações sobre a produção e tipos de resíduos gerados em algumas indústrias localizadas no estado (FEEMA, 2000). Deve-se ressaltar, contudo, que o controle destes resíduos não é realizado em todas as indústrias e o inventário é normalmente preenchido pelo próprio gerador e posteriormente encaminhado a FEEMA. Esse gerador, entretanto, muitas vezes não possui informações técnicas suficientes para o entendimento dos dados constantes no inventário nem compreensão dos procedimentos para classificação descritos na norma de classificação de resíduos sólidos da ABNT – NBR 10.004 (ABNT,

1987b). Além disso, o gerador corre o risco de encaminhar seus resíduos para serem classificados por laboratórios despreparados para a execução dos testes requisitados pela NBR 10.004, o que pode ocasionar uma classificação equivocada dos resíduos. Essa classificação equivocada poderá causar uma destinação inadequada dos resíduos e todas as suas conseqüências já mencionadas.

Uma vez classificados, os resíduos poderão ser encaminhados para tratamento/destinação. Alguns requisitos quanto à orientação de destinação dos resíduos produzidos no Estado do Rio de Janeiro são enumerados na DZ 1311 (Diretriz de Destinação de Resíduos Industriais) da FEEMA. Nesta diretriz é mencionado que a disposição de resíduos industriais não perigosos em aterros controlados só poderá ser feita quando forem atendidas exigências, como:

- não será permitida a implantação do aterro em áreas de mananciais, em áreas de proteção ambiental – APAs, nem áreas recobertas por vegetação de preservação permanente, conforme artigos 2º e 3º do Código Florestal;
- será obrigatório o monitoramento do percolado (chorume) do aterro e sua influência em águas superficiais e subterrâneas, devendo os dados serem enviados à FEEMA, através do PROCON – Programa de Auto Controle;
- no caso de lançamento do percolado (chorume) do aterro em corpos receptores, deverão ser atendidos os limites fixados na NT – 202 (Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos);
- a instalação e operação do aterro não deverá alterar a qualidade das coleções hídricas;
- o aterro deverá situar-se fora da faixa marginal de proteção de qualquer corpo d'água e sua distância do mesmo deverá ser submetida a FEEMA para aprovação, respeitada a distância mínima de 200 metros (FEEMA, 1985).

Infelizmente pode-se observar que apesar das orientações, muitas dessas exigências não estão sendo observadas nas várias áreas de disposição encontradas no Estado do Rio de Janeiro e muitas dessas áreas estão em situação irregular junto a FEEMA.

Como foi citada, uma das exigências dessa Diretriz refere-se ao controle do chorume. A FEEMA exige o controle dos efluentes líquidos industriais e sanitários através de análises físico-químicas periódicas para atendimento aos limites fixados pela NT – 202 (FEEMA, 1986), onde são estabelecidos limites máximos para uma série de parâmetros, dentre os quais vários metais e

compostos orgânicos (uma das exceções são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, que não estão listados na NT – 202). A FEEMA também exige a realização do teste de toxicidade com peixes (teste agudo) em efluentes de alguns segmentos industriais (grande empresas dos ramos petroquímico, químico, metalúrgico, farmacêutico e alimentício), para atendimento a NT – 213 – Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade de Efluentes Líquidos Industriais (FEEMA, 1990). Entretanto, com relação ao chorume, nota-se que o controle através das análises químicas não é tão rigoroso e o teste de toxicidade, por sua vez, não tem sido exigido, mesmo o chorume sendo um efluente reconhecidamente tóxico e comumente despejado em cursos d'água (FEEMA, 1986).

Com relação à avaliação da toxicidade dos resíduos, a NBR 10.004 possui lacunas que deixam em dúvida alguns procedimentos a serem seguidos, o que pode resultar em uma classificação errada da amostra do resíduo. Além disso, a NBR 10.004 considera apenas os testes de toxicidade aguda com ratos e coelhos para determinação da Concentração Letal 50 ou Dose Letal 50 (ABNT, 1987b). Esses testes normalmente são aplicados para que possa ser simulada a exposição humana (por via oral, inalatória ou dérmica) a partir de resíduos depositados nas áreas de disposição. Entretanto, esses testes são pouco requisitados pelos órgãos de fiscalização por deficiência dos mesmos em avaliar sua execução e a validade dos resultados.

Na NBR 10.004 também não são descritos testes ecotoxicológicos nem testes de toxicidade crônica, importantes no caso deste tipo de contaminação, onde as concentrações dos contaminantes normalmente são liberadas para os compartimentos ambientais em concentrações baixas e de forma contínua.

Dessa forma, apesar da existência de diretrizes e normas para a orientação de procedimentos que possam minimizar o impacto da disposição dos resíduos no ambiente, muitas falhas ainda podem ser observadas, tanto no que diz respeito ao cumprimento e execução, como até mesmo no conteúdo destes instrumentos normativos.

Assim sendo, uma constante revisão e atualização desses instrumentos – inclusive com a inclusão de outros contaminantes e de testes como, por exemplo, os testes ecotoxicológicos e de toxicidade crônica – bem como o cumprimento rigoroso de todas as exigências já existentes são mecanismos importantes de proteção que devem ser incentivados e mantidos.

2 – ARTIGOS DA COLETÂNEA

2.1 – Disposição em Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Industriais Não-Inertes: Avaliação dos Componentes Tóxicos e Implicações para o Ambiente e para a Saúde Humana.

DISPOSIÇÃO EM ATERROS CONTROLADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NÃO-INERTES: AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES TÓXICOS E IMPLICAÇÕES PARA O AMBIENTE E PARA A SAÚDE HUMANA.

NON-INERT INDUSTRIAL SOLID WASTE DISPOSAL IN DUMPS: EVALUATION OF TOXICITY AND IMPLICATIONS TO ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH.

Cristina L. S. Sisinno ^{1,2}. ¹Centro de Tecnologia Ambiental (CTA), Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), Rio de Janeiro, Brasil. ²Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP – CESTEPI), Rio de Janeiro, Brasil.

Correspondência para: Cristina L. S. Sisinno, Centro de Tecnologia Ambiental (CTA), Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), Rua Morais e Silva nº 53, Maracanã, Rio de Janeiro, 20.271-030, Brasil.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos, classificação de resíduos, disposição final, toxicidade.

Para que um resíduo sólido seja disposto adequadamente, é necessário classificá-lo segundo as normas técnicas brasileiras, cuja principal é a NBR 10.004. Resíduos sólidos industriais não-inertes normalmente têm sido encaminhados para disposição final em aterros controlados, que em sua maioria não operam de forma eficiente, além de estarem geralmente localizados próximos a núcleos populacionais e ecossistemas importantes. A fim de avaliar a toxicidade potencial dos resíduos produzidos em indústrias de diferentes segmentos, vinte e uma amostras foram analisadas de acordo com as orientações descritas na NBR 10.004. Das amostras estudadas, dezoito foram classificadas como resíduos não-inertes. Os principais parâmetros que contribuíram para a classificação das amostras em resíduos não-inertes foram: alumínio, ferro, manganês, fenol e surfactantes. Destes, o alumínio, o manganês e o fenol são as substâncias de maior interesse toxicológico para a saúde humana e ambiental, uma vez que podem estar alterando a qualidade das águas subterrâneas localizadas nas áreas de disposição de resíduos.

Key words: Waste management, Rio de Janeiro state, solid waste classification, final disposal, toxicity.

According to Brazilian recommended technical procedures (mainly the NBR 10.004), solid waste must be previously classified to have an adequate fate. Non-inert industrial solid waste are being disposed in dumps, that in greater number don't have an efficient operation and are located nearby population and important ecosystems. In order to evaluate the potential toxicity of solid waste produced in many industries of different sectors, twenty one samples were analysed according to NBR 10.004 procedures. Eighteen of them were classified as non-inert solid waste. The main parameters that contributed to the classification of these samples as non-inert waste were: aluminium, iron, manganese, phenol and surfactants. Aluminium, manganese and phenol are the main substances of toxicological interest for human and environmental health because they could change groundwater quality situated under the solid waste disposal areas.

Introdução

Para que um resíduo tenha destino adequado, é necessário que o mesmo seja classificado de acordo com as normas brasileiras. A NBR 10.004 – Classificação de Resíduos (ABNT, 1987c) classifica os resíduos em três classes: classe I – perigosos; classe II – não-inertes; classe III – inertes. Esta classificação baseia-se na presença de certas substâncias perigosas cuja relação é parte desta norma e em testes laboratoriais complementares, onde vários parâmetros químicos são analisados nos extratos lixiviados e solubilizados dos resíduos.

Apesar da NBR 10.004 ser baseada em procedimentos americanos, relacionados no *Code of Federal Registry – Title 40* (CFR 40) – *Protection of Environment* (USA, 1994), a classificação dos resíduos sólidos em três classes é peculiar à norma brasileira, pois o CFR 40 orienta para a classificação dos resíduos apenas em perigosos e não-perigosos, não existindo nas orientações americanas o teste de solubilização dos resíduos, que é o principal responsável pela classificação dos resíduos não-inertes e inertes segundo a norma brasileira.

O processo produtivo, na grande maioria das vezes, tem como consequência a geração de resíduos que precisam de tratamento e destino adequados, uma vez que diversas substâncias bastante comuns nos resíduos industriais são tóxicas e algumas têm a capacidade de bioacumulação nos seres vivos, podendo entrar na cadeia alimentar e eventualmente atingir o homem.

A realidade vivida pelo setor industrial no Brasil é bastante peculiar. Apesar do gerador ser o responsável pelo destino de seus resíduos, a escassez de informações e de alternativas disponíveis para este fim e a carência de pessoal especializado, fazem com que algumas indústrias dispensem pouca ou nenhuma atenção a esta responsabilidade. Este descaso muitas vezes é motivado pela deficiência na fiscalização e na consideração de que o tratamento ou destino adequados dos resíduos acarretará em altos custos para as empresas.

As indústrias localizadas no Estado do Rio de Janeiro produzem toneladas de resíduos que muitas vezes têm destino desconhecido ou são despejados, sem autorização dos órgãos competentes, em vazadouros (muitos dos quais clandestinos) ou cursos d'água. Entretanto, do total de aproximadamente 500.000 toneladas de resíduos industriais produzidos mensalmente no estado pelas indústrias inventariadas pelo órgão de fiscalização ambiental do Estado do

Rio de Janeiro (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – FEEMA), a maior parte constitui-se de resíduos não-inertes (classe II), seguido de resíduos inertes (classe III) e, por fim, de resíduos perigosos (classe I) (FEEMA, 2000).

As principais formas de tratamento e destinação dos resíduos industriais produzidos no Estado do Rio de Janeiro são: reciclagem, aterro municipal, co-processamento, aterro industrial, estocagem, incineração, incorporação, fertilização ou *landfarming* e aterro de terceiros. Entretanto, com relação aos resíduos não-inertes, as principais formas de tratamento e destino relacionadas incluem a reciclagem, a estocagem na própria indústria e o despejo em aterros municipais (FEEMA, 2000).

Como o Estado do Rio de Janeiro não possui aterros para resíduos industriais não-inertes, verifica-se através dos dados inventariados pela FEEMA que muitos resíduos desta classe estão sendo depositados em aterros municipais (FEEMA, 2000). Porém, vários dos aterros localizados no Estado do Rio de Janeiro não operam de forma eficiente, transformando-se em fontes potenciais de contaminação ambiental e de riscos à saúde humana (FEEMA, 1998).

Muitas destas áreas estão inadequadamente localizadas nas proximidades de cursos d'água, de núcleos populacionais e ecossistemas de grande interesse ecológico, como é o caso do Aterro de Gramacho, situado na região metropolitana do Rio de Janeiro às margens da Baía de Guanabara, em área de manguezais (COMLURB, 1993), e o Aterro Controlado do Morro do Céu (Niterói – RJ), instalado em área de florestas secundárias e nascentes (Sisinno & Oliveira, 2000), cujo potencial de contaminação ambiental tem sido avaliado em alguns estudos, como os de Pereira Netto *et al.* (2002) e Sisinno & Moreira (1996).

Materiais e Métodos

Vinte e uma amostras de resíduos provenientes de indústrias de diferentes segmentos (químico, petroquímico, de beneficiamento de minerais, metalúrgico, de alimentos e de bebidas), localizadas no Estado do Rio de Janeiro, foram analisadas de acordo com a NBR 10.004. Muitas destas indústrias tinham em comum o interesse na implantação das normas do sistema de gestão ambiental (série ISO 14.000) e estavam preocupadas em classificar seus resíduos para destiná-los de forma adequada, já que esta é uma das exigências para obtenção deste tipo de certificação ambiental. O interesse na implantação de um sistema de gestão ambiental está relacionado a uma série de benefícios potenciais, como

a manutenção de boas relações com o público/comunidade, o fortalecimento da imagem e a redução de incidentes que impliquem em responsabilidade civil etc. (ABNT, 1996).

As amostras destes resíduos foram coletadas segundo metodologia recomendada pela NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos (ABNT, 1987a), sendo seu tratamento realizado com base nas metodologias estabelecidas pela ABNT para os testes de lixiviação (NBR 10.005) e solubilização (NBR 10.006) de resíduos (ABNT, 1987b e 1987d).

Para o processo de lixiviação, 100 g da massa úmida do resíduo foram misturadas a 1.600 mL de água deionizada. Após o início da agitação da mistura o pH foi medido e, nos casos de valores acima de 5, o mesmo foi corrigido mediante adição de ácido acético 0,5 N. A mistura, então, foi agitada por 24 horas e posteriormente filtrada em membrana de fibra de vidro de 0,45 µm de porosidade. Este procedimento simula condições ácidas que favorecem a lixiviação de alguns contaminantes e que podem ocorrer devido a decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos urbanos, ao ser misturada com o resíduo industrial em uma área de disposição (ABNT, 1987b).

O processo de solubilização consistiu na mistura de 250 g da massa seca do resíduo a 1.000 mL de água deionizada. Esta mistura foi agitada por 5 minutos a baixa velocidade, ficando em repouso, tampada, por 7 dias. Após este período, a mistura foi filtrada em membrana de fibra de vidro de 0,45 µm de porosidade, originando o extrato solubilizado. Este procedimento tem como finalidade demonstrar que, uma vez em contato com a água, o resíduo não modificaria os padrões de potabilidade da água (ABNT, 1987d).

Valores de pH foram determinados nas amostras brutas dos resíduos através do método EPA 9045c, onde 20 g da amostra bruta foram misturadas a 20 mL de água deionizada, sendo a mistura agitada por 5 minutos. Após repouso de 15 minutos, o pH do sobrenadante foi medido (EPA, 1996).

As metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros químicos nos extratos dos resíduos lixiviados e solubilizados requeridos pela NBR 10.004, foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

De acordo com o processo industrial utilizado em cada indústria – e, conseqüentemente com a possível presença dos contaminantes em questão nas amostras de resíduos – foram avaliados os seguintes parâmetros nos resíduos

lixiviados: As; Ba; Cd; Pb; Cr total; Cr hexavalente; fluoreto; Hg; Ag e Se. Estas avaliações foram realizadas para atender ao Anexo G – Listagem nº 7 da NBR 10.004 (ABNT, 1987c).

O mesmo procedimento foi utilizado para os resíduos solubilizados, nos quais foram analisados os seguintes parâmetros: As; Ba; Cd; Pb; cianeto; Cr total; fenol; fluoreto; Hg; nitrato; Ag; Se; Al; cloreto; Cu; dureza; Fe; Mn; Na; surfactantes; sulfato e Zn; parâmetros constantes no Anexo H – Listagem nº 8 da NBR 10.004 (ABNT, 1987c).

Apesar de constarem nos Anexos G e H da NBR 10.004, os contaminantes orgânicos (aldrin; clordano; DDT; dieldrin; endrin; epóxi-heptacloro; heptacloro; hexaclorobenzeno; lindano; metoxicloro; pentaclorofenol; toxafeno; 2,4-D; 2,4,5-T; 2,4,5-TP; organofosforados e carbamatos) não foram determinados em nenhuma das amostras estudadas, uma vez que são substâncias de uso restrito e que não constavam no processo produtivo das empresas em questão (ABNT, 1987c).

O tratamento preliminar das amostras destinadas à determinação de metais nos extratos solubilizados e lixiviados constou de um ataque com HNO₃ (50 mL do extrato + 5 mL de ácido), de acordo com o método EPA 3015 (EPA, 1996), utilizando-se a técnica de digestão por microondas em sistema fechado (CEM 2000).

A determinação dos metais nos extratos digeridos foi realizada através de espectrometria de absorção atômica (Varian) ou espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma induzida (Perkin Elmer ICP-AES Optima 3.000).

Os compostos orgânicos voláteis e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos pesquisados em algumas amostras brutas em questão – cujos processos de produção das indústrias geradoras indicavam a presença de tais substâncias – foram determinados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM – Varian), após extração com solventes (EPA, 1996).

Resultados e discussão

Das vinte e uma amostras analisadas, duas foram classificadas como resíduos perigosos, uma como resíduo inerte e dezoito como resíduos não-inertes.

Nenhuma das amostras dos resíduos estudados apresentou valores dos parâmetros analisados acima dos limites descritos no Anexo G – Listagem nº 7 da NBR 10.004 nos extratos lixiviados.

Os resíduos perigosos foram assim classificados pois continham em sua massa bruta compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos descritos no Anexo D – Listagem nº 4 da NBR 10.004 como substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. As amostras A e B, originadas do setor petroquímico, foram classificadas como resíduos perigosos por apresentarem as seguintes substâncias: 1,1,1-tricloroetano; benzeno; tricloroetano; tolueno; tetracloroetano; naftaleno; fluoranteno; benzo[a]antraceno; criseno; benzo[b]fluoranteno; benzo[a]pireno; indeno[1,2,3-cd]pireno e dibenzo[a,h]antraceno.

A única amostra classificada como resíduo inerte foi originada de uma indústria de beneficiamento de minerais (amostra U), onde todos os parâmetros analisados apresentaram valores abaixo dos limites descritos no Anexo H – Listagem nº 8 da NBR 10.004 para o extrato solubilizado (ABNT, 1987c).

Os resíduos não-inertes receberam especial atenção neste trabalho uma vez que são passíveis de estarem sendo dispostos em aterros controlados e vazadouros de lixo, junto com os resíduos urbanos. Estes resíduos foram assim classificados, pois apresentaram um ou mais dos parâmetros analisados em concentrações acima dos limites permitidos pelo Anexo H – Listagem nº 8 da NBR 10.004. Estes limites foram estabelecidos com base nos padrões brasileiros de potabilidade de água vigentes na época da elaboração da NBR 10.004 descritos na Portaria do Ministério da Saúde nº 56 de 14/03/77 e que são os mesmos da ainda vigente Portaria do Ministério da Saúde nº 36 de 19/01/90 (ABNT, 1987c).

Os parâmetros que contribuíram para a classificação das amostras em resíduos não-inertes (amostras C a T, originadas dos setores químico, de beneficiamento de minerais, metalúrgico, alimentício e de bebidas) foram os seguintes: cádmio; cianetos; cromo; fenol; fluoreto; nitratos; alumínio; cloreto; cobre; dureza; ferro; manganês; sódio; surfactantes; sulfato e zinco. Na Tabela 1 são descritos os parâmetros analisados em cada amostra de extrato solubilizado, bem como as amostras que apresentaram algum dos parâmetros em concentrações acima dos valores descritos no Anexo H – Listagem nº 8.

Dos parâmetros que classificaram as amostras em resíduos não-inertes, os que foram observados com mais frequência foram: fenol, alumínio, ferro, manganês e surfactantes. O fenol foi encontrado em concentrações acima do permitido em nove amostras; alumínio em dez delas; ferro em doze; manganês em seis e surfactantes em quatorze das dezoito amostras de resíduos não-inertes (Tabela 1). Na Tabela 2 são descritas as faixas de concentração encontradas destes contaminantes (os limites de detecção do alumínio, ferro e manganês relatados referem-se à técnica de ICP-AES) e o limite máximo estabelecido pela NBR 10.004 para o extrato solubilizado.

De todos os parâmetros que apresentaram concentrações superiores àquelas recomendadas para o extrato solubilizado, podem ser destacados o fenol, o alumínio e o manganês por suas características tóxicas. Algumas amostras apresentaram concentrações de alumínio quase 300 vezes maiores do que o limite estabelecido, enquanto que no caso do manganês, foi achada uma amostra com quase 50 vezes o limite. A maior concentração de fenol encontrada foi 100 vezes maior do que o valor máximo permitido.

A contaminação de águas usadas para consumo humano por fenol pode levar ao incremento da incidência de distúrbios gastro-intestinais (Richardson & Gangolli, 1992). Já a presença de alumínio e manganês na água merece atenção uma vez que estes contaminantes estão relacionados ao desenvolvimento de doenças degenerativas do sistema nervoso central (Goyer, 1995; Richardson & Gangolli, 1992).

As concentrações elevadas de alumínio e ferro encontradas nos resíduos analisados (principalmente os lodos de estação de tratamento de efluentes e águas) podem ter suas origens nos sulfatos e cloretos de alumínio e ferro, comumente utilizados nos processos de tratamento de águas e efluentes líquidos industriais (Braile & Cavalcanti, 1993).

As elevadas concentrações de surfactantes encontradas – substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno – provavelmente foram originadas da grande variedade de detergentes utilizados para limpeza em diversos setores dos processos industriais (Shreve & Brink, 1997).

O fenol encontrado nas amostras pode ser oriundo de várias fontes, pois compostos fenólicos são usados como desinfetantes e coadjuvantes em vários segmentos industriais (Richardson & Gangolli, 1992; Shreve & Brink, 1997).

Conclusões

Resíduos industriais não-inertes não deveriam ser depositados livremente em aterros controlados sem os cuidados necessários. Esses resíduos apresentam propriedades que podem comprometer a área onde o aterro está localizado e áreas sob sua influência, como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (ABNT, 1987c).

Dessa forma, muitas indústrias, apesar de estarem procedendo de forma correta na classificação e declaração junto ao órgão ambiental dos resíduos gerados em seu processo de produção, ao destinarem estes resíduos a um aterro municipal – muitas vezes com autorização do órgão fiscalizador – estão contribuindo para o agravamento do quadro de degradação ambiental observado nas áreas de disposição de resíduos encontradas no Estado do Rio de Janeiro, e colocando em risco todos os benefícios almejados por meio da certificação ISO 14.000.

Uma vez que os aterros controlados e vazadouros não possuem uma infra-estrutura sanitária adequada capaz de evitar os problemas oriundos do despejo de toneladas de resíduos urbanos, a disposição de resíduos sólidos industriais não-inertes nestas áreas está contribuindo para que as várias substâncias químicas de interesse toxicológico encontradas nestes resíduos possam ser acumuladas ou exportadas a partir destas áreas, agravando mais ainda a situação atualmente observada.

É desejável e necessário que a preocupação com o gerenciamento adequado dos resíduos industriais seja seriamente considerada por todas as esferas envolvidas, inclusive pelo setor normativo e fiscalizador. Assim sendo, é primordial o desenvolvimento de uma política de gerenciamento de resíduos para o Estado do Rio de Janeiro que garanta opções de destinação e tratamento geograficamente próximas e economicamente viáveis tanto para os resíduos urbanos como para os resíduos industriais, a fim de permitir que ações integradas proporcionem a melhoria da situação ora vigente e a diminuição dos riscos associados ao destino inadequado dos resíduos sólidos.

Agradecimentos

A autora gostaria de expressar seus agradecimentos ao Prof. Dr. Annibal Duarte Pereira Netto da UFF; aos profissionais do Centro de Tecnologia Ambiental da FIRJAN e a Ana Paula Fittipaldi da FEEMA.

Referências Bibliográficas

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987a. *Amostragem de Resíduos – Procedimento – NBR 10.007*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987b. *Lixiviação de Resíduos – Procedimento – NBR 10.005*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987c. *Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10.004*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987d. *Solubilização de Resíduos – Procedimento – NBR 10.006*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1996. *Sistema de Gestão Ambiental – Diretrizes Gerais sobre os Princípios, Sistemas e Técnicas de Apoio – NBR ISO 14.004*. Rio de Janeiro: ABNT.
- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington D. C.: APHA.
- BRAILE, P.M. & CAVALCANTI, J.E.W.A., 1993. *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*. São Paulo: CETESB.
- COMLURB (COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA), 1993. *Projeto de Recuperação do Aterro Metropolitano de Gramacho*. Rio de Janeiro: COMLURB (mimeo.).
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 1996. *Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods – SW 846*. Virginia: EPA/NTIS.
- FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 1998. Sem Reciclagem o Lixo ainda Atormenta e Reduz Qualidade de Vida. *Revista FEEMA*, 20:34-40.
- FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 2000. *Gestão de Resíduos – Relatório Semestral de Atividades do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara – Setembro/2000*. Rio de Janeiro: FEEMA (mimeo.).
- GOYER, R. A., 1995. Toxic Effects of Metals. In: *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons* (C.D. Klaassen, ed.), pp.691-736, New York: McGraw-Hill Companies.
- PEREIRA NETTO, A.D.; SISINNO, C.L.S; MOREIRA, J.C. &, ARBILLA, G., 2002. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Leachate from a Municipal Solid

- Waste Dump of Niterói City, RJ, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 68:148-154.
- RICHARDSON, M.L. & GANGOLLI, S., 1992. *The Dictionary of Substances and Their Effects*. Vols. A-B e N-R. Northamptonshire: The Royal Society of Chemistry.
- SHREVE, R.N. & BRINK JR., J.A., 1997. *Indústrias de Processos Químicos*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A.
- SISINNO, C.L.S & MOREIRA, J.C., 1996. Avaliação da Contaminação e Poluição Ambiental na Área de Influência do Aterro Controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 12:515-523.
- SISINNO, C.L.S. & OLIVEIRA, R.M., 2000. Impacto Ambiental de Grandes Depósitos de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais. In: *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: Uma Visão Multidisciplinar* (C.L.S Sisinno & R.M. Oliveira, org.), pp.41-57, Rio de Janeiro: Editora Fiocruz.
- USA (UNITED STATES OF AMERICA), 1994. *Code of Federal Registry. Title 40 – Protection of Environment – Parts 260 to 299*. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office.

Tabela 1 – Parâmetros descritos no Anexo H – Listagem nº 8 da NBR 10.004 analisados nas amostras estudadas e amostras que apresentaram parâmetros em concentrações (mg/L) acima do limite máximo permitido para o extrato solubilizado.

Parâmetros	Amostras Analisadas	Amostras com Valores Acima do Permitido
Arsênio	A, B, D, E, F, G, J, M, N, Q	–
Bário	D, E, F, G, I, J, Q	–
Cádmio	A, B, D, E, F, G, I, J, P, U	A, B
Chumbo	A, B, D, E, F, G, I, J, M, N, P, Q, U	–
Cianetos	A, B, D, E, F, G, I, J, N, Q, R	A, B, D, G, I
Cromo	A, B, D, E, F, G, I, J, N, P, Q, S, T, U	Q
Fenol	A, B, D, E, F, G, J, M, N, P, Q, R, U	A, B, E, F, G, M, N, Q, R
Fluoreto	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, N, P, Q	A, B
Mercúrio	D, E, F, G, J	–
Nitrato	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, N, O, R, U	A, B, G, O, R
Prata	D, E, F, G, J	–
Selênio	D, E, F, G, J	–
Alumínio	A, B, D, E, F, G, I, J, K, M, N, O, Q, S, T, U	D, G, I, J, M, N, O, Q, S, T
Cloreto	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, Q, U	A, B, L
Cobre	A, B, D, E, F, G, I, J, M, P, Q, S, T, U	G, Q
Dureza	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, Q, R, S, T, U	A, B, F, M, N, R
Ferro	A, B, D, E, F, G, J, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U	A, B, D, E, F, J, L, M, N, O, Q, R
Manganês	A, B, D, E, F, G, J, N, S, T, U	A, B, D, E, F, J
Sódio	A, B, C, D, E, F, G, I, J, K, L, M, N, O, R, U	A, B, G, K, R
Surfactantes	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, U	A, B, C, D, E, F, G, H, K, M, O, P, Q, R
Sulfato	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, U	A, B
Zinco	A, B, D, E, F, G, I, J, M, N, P, Q, R, U	Q, R

Tabela 2 – Faixas de concentração de alumínio, ferro, manganês, fenol e surfactantes encontradas nas amostras estudadas e limites máximos descritos no Anexo H – Listagem nº 8 da NBR 10.004 para o extrato solubilizado.

Parâmetro Analisado	Faixas de Concentração (mg/L)	Limite Máximo no Extrato (mg/L)
Alumínio	<0,010 – 57,0	0,2
Ferro	<0,006 – 59,0	0,3
Manganês	<0,003 – 4,6	0,1
Fenol	<0,001 – 0,12	0,001
Surfactantes	<0,01 – 2,4	0,2

Fonte dos limites máximos: NBR 10.004 – Anexo H – Listagem nº 8 – Padrões para o teste de solubilização (ABNT, 1987c).

2.1.1 – Considerações sobre o Artigo

Para a avaliação dos compostos tóxicos presentes nos resíduos, vinte e uma amostras de resíduos de diferentes segmentos industriais, foram analisadas. Dessas, dezoito foram classificadas de acordo com a NBR 10.004 como resíduos não-inertes. Os resíduos sólidos não-inertes são passíveis de serem dispostos em aterros controlados (muitas vezes com autorização da FEEMA) e vazadouros. Neste artigo verificou-se que os parâmetros que classificaram os resíduos como não-inertes foram alumínio, ferro, manganês, fenol e surfactantes. Destes, alumínio, manganês e fenol apresentaram concentrações muito acima dos limites mínimos estabelecidos para classificar um resíduo como não-inerte. Além disso, estas substâncias são de interesse toxicológico por estarem relacionadas ao desenvolvimento de distúrbios neurológicos (alumínio e manganês) e gastro-intestinais (fenol).

Este artigo mostra que resíduos considerados não-inertes muitas vezes possuem em sua composição substâncias de interesse toxicológico que podem

estar sendo acumuladas e exportadas em grande quantidade a partir das áreas de disposição de resíduos inadequadas. Dessa forma, deveria ser aplicado maior rigor na disposição de resíduos industriais não-inertes em áreas de aterros controlados e vazadouros, e maior incentivo à construção no Estado do Rio de Janeiro de aterros para resíduos industriais não perigosos deveria ser observado.

2.2 – Toxicity Evaluation of a Municipal Dump Leachate Using Zebrafish Acute Tests.

Toxicity Evaluation of a Municipal Dump Leachate Using Zebrafish Acute Tests

C. L. S. Sisinno¹, E. C. Oliveira-Filho², M. C. Dufrayer¹, J. C. Moreira¹, F. J. R. Paumgarten².

¹Laboratory of Toxicology – Environmental Assessment, Center of Worker's Health and Human Ecology, National School for Public Health, Oswaldo Cruz Foundation (FIOCRUZ). Rua Leopoldo Bulhões 1480, 21041-210, Rio de Janeiro, RJ – Brazil.

²Laboratory of Environmental Toxicology, Department of Biological Sciences, National School for Public Health, Oswaldo Cruz Foundation (FIOCRUZ).

The problems related to urban waste disposal in Brazil are critical since available areas are few and located in the vicinity of populated areas and close to water resources, mangroves, forests and rivers.

Niterói is one of the tourist cities in the State of Rio de Janeiro (Brazil) and is considered to be a city of a high standard of living. However, the fate of the waste produced in this city is not well managed, being disposed at Morro do Céu Dump. The disposal site, located in a valley of several springs and a small river, the Mata-Paca River, has been in operation since 1983, receiving around 550 tons/day of urban waste. Analysis of the leachate produced at Morro do Céu Dump showed the presence of some contaminants such as heavy metals and PAHs (Sisinno and Moreira 1996; Sisinno *et al.*, 1998). Part of the leachate infiltrates into the soil and another part flows directly into the river. Mata-Paca River is used for the irrigation of some local plantations and flows into Guanabara Bay, an important ecosystem of Rio de Janeiro State.

Because of most hazardous substances found in leachate composition, toxicity testing of leachates has been carried out by many studies (Atwater *et al.*, 1983; Cheung *et al.*, 1993; Clément *et al.*, 1996; Wong 1989). However, in Brazil, this kind of evaluation is commonly applied to industrial effluents to control the efficiency of the plants, because in many cases, leachate produced at waste disposal sites is discharged into water streams without control.

The aim of this study was to evaluate acute toxicity (48-hr) of the leachate collected at Morro do Céu Dump to *Brachydanio rerio* (zebrafish). The leachate was treated under different conditions to compare the toxicity of pure samples with treated ones.

MATERIALS AND METHODS

Leachate samples were collected once a month, during a dry (July/September/November 1998) and wet (January/February/March/April 1999) period in Rio de Janeiro State. The sampling point chosen was a stream where the leachate produced in the different areas of Morro do Céu Dump is mixed before being discharged into Mata-Paca river.

The leachate was analysed for pH (Analyser 300M, pH electrode), DO (Digimed DM4 dissolved oxygen meter), conductivity (Analion C-702 conductivity meter), hardness, alkalinity, BOD, COD and chloride according to Standard Methods (APHA, 1985).

The organism chosen for this biological evaluation was zebrafish, *Brachydanio rerio*, Cyprinidae, purchased from a commercial supplier in Rio de Janeiro, weighing 0.2 to 0.4 g and having an average length of 2.0 to 3.0 cm. *Brachydanio rerio* is one of the most common species used to perform acute toxicity tests in Brazil according to Brazilian (SEMA 1988) and Rio de Janeiro State (FEEMA 1994) standard procedures.

Acute toxicity tests (static method) were carried out as standardized by the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 1993). Briefly, 10 adult fishes were placed in 3.000 mL glass beakers and mortality was evaluated after 24 and 48 hours of exposure, dead fishes being removed. Negative control (synthetic soft water) beakers were included. In each test with pure leachate, a positive control test was performed to evaluate the sensitivity of fishes. Room temperature ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$) and light/dark cycle (16 hr light/8 hr dark) were kept constant. LC50 values and their 95% confidence limits were calculated using Trimmed Spearman-Kärber Method, available in computer software (Hamilton *et al.*, 1977).

Synthetic soft water was prepared to be used in the dilutions with NaHCO_3 (48 mg), $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (30 mg), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (614 mg), and KCl (2 mg), dissolved in 1.000 mL of distilled water, resulting in a hardness of 40-48 mg/L CaCO_3 and pH of 7.2-7.6 (ABNT, 1993).

For each toxicity test, leachate samples both pure and treated were used. Tests using pure leachate samples were performed immediately after the arrival of the samples to the laboratory. The other tests were performed after each treatment. The treatments were: EDTA 0.1M 5% v/v in 2.000 mL of leachate; aeration; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$, alum, (Merck) 2g/L and 4g/L, as performed by Wong (1989); maintenance during one week in ambient ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$) and cool (4°C) temperature; alum 4g/L, EDTA 0.1M, and air.

The solutions of alum 2g/L and 4g/L were prepared and added to samples of pure leachate. Tests using alum 4g/L in pure leachate samples were performed after a time reaction of 30minutes (sample 04) and 48 hours (samples 05, 06 and 07). After reaction, supernatant was used for the test dilutions. A negative control using alum in synthetic soft water at the same conditions of leachate tests was conducted to evaluate alum toxicity. Due to hydrolysis of Al^{+3} ion, the pH was adjusted, carefully to pH 7.0 using NaOH 1N.

RESULTS AND DISCUSSION

Values of physico-chemical parameters of pure Morro do Céu leachate samples are shown in Table 1. The lowest and the highest values found in leachate analysis since 1994 (Sisinno and Moreira, 1996; Sisinno *et al.*, 1998), including the present results, are shown.

The pH values between 7.7–8.1 indicate the predominance of leachate from waste in advanced stages of decomposition (Philips *et al.*, 1984). The high BOD and COD values indicate a high amount of organic compounds that are being discharged into the river, contributing to its eutrofization. DO values observed, even during the wet period, are not higher than 0.7 mg/L.

Table 1. Physico-chemical characteristics of pure Morro do Céu leachate samples. Lowest and highest values found during 1994-1999.

PARAMETER	VALUES
pH	7.7–8.1
Conductivity (mS)	3.09–6.20
Alkalinity (CaCO ₃)(mg/L)	212–372
Hardness (CaCO ₃) (mg/L)	60–95
Chloride (mg/L)	22–42
BOD (mg/L)	2.800–4.000
COD (mg/L)	5.200–11.500
DO (mg/L)	0.2–0.7

Values of LC50 of pure Morro do Céu leachate samples presented in Table 2 indicate high acute toxicity to *Brachydanio rerio* in 24 hours of exposure. They don't show a correlation between toxicity and periods of sampling (dry or wet). This fact may be related to similar rainfall registers, observed during the two periods of study, according to National Institute of Meteorology from Brazil. This monitoring showed that LC50 values of pure leachate samples are included in a range of 2.2 to 5.7% (v/v), indicating low variation between the obtained results in the different samplings.

The values of LC50 for 24 hours are the same for 48 hours, indicating that pure leachate acute toxicity was expressed in the first 24 hours. Most likely, the toxicants were degraded or transformed. A similar result was obtained by Wong (1989).

The data of acute toxicity (96-hr) of positive control (potassium dichromate in synthetic soft water) to *Brachydanio rerio* were in a range of 83.4-117.3 mg/L. These values are according to previous results in our laboratory and with Rio de Janeiro State standard procedures (FEEMA, 1994).

Table 2. Acute toxicities of pure Morro do Céu leachate samples to *Brachydanio rerio* after 24 and 48 hours. Data are revealed as LC50 (% v/v) values and respective confidence limits 95%.

PURE SAMPLE	SAMPLING MONTH	LC50 (% v/v)	LC50 (% v/v)
		(24-hr)	(48-hr)
01	July 98	2.2	2.2
		1.7-2.8	1.7-2.8
02	September 98	4.1	4.1
		3.4-4.8	3.4-4.8
03	November 98	5.7	5.7
		4.7-7.0	4.7-7.0
04	January 99	3.3	3.3
		2.8-3.8	2.8-3.8
05	February 99	3.3	3.3
		2.8-3.8	2.8-3.8
06	March 99	2.6	2.6
		1.9-3.4	1.9-3.4
07	April 99	3.2	3.2
		2.4-4.3	2.4-4.3

Comparison of acute toxicities of pure and treated Morro do Céu leachate samples are showed in Table 3. In order to estimate oxygen influence, a test was carried out with pure aerated and non aerated leachate samples. It was observed that the inclusion of air didn't improve the results.

EDTA is a strong chelating agent, used in two samples of this experiment (samples 01 and 02). Results of treatment using EDTA 0.1M, comparing with its respective pure leachate samples, didn't show a significant efficiency.

One of the physico-chemical preservation methods of samples is maintenance in cool temperature (4°C). Sample 04 was kept in ambient

temperature, while sample 05 was kept in 4°C, during the same period (one week). Both results were similar to its respective pure leachate samples.

Alum is widely used in the flocculation-sedimentation of water and wastewater treatment process. For treatment using alum, the test conducted with 2g/L has shown a significant reduction in toxicity. Samples treated with 4g/L, however, even in aerated and non aerated conditions (samples 04, 05, 06, and 07) have shown toxicity reduction. A test using alum in synthetic soft water, performed in the same dilutions of leachate tests, were not lethal to fishes, indicating a low amount of free Al^{+3} in solution.

Only sample 04 treated with alum 4g/L, showed a significant difference between the LC 50 of 24 to 48 hr. This indicated an increase in toxicity for 48 hr, probably because of a short time of reaction (30 min).

Table 3. Comparison of acute toxicities of pure and treated Morro do Céu leachate samples to *Brachydanio rerio* after 24 and 48 hours. Data are showed as LC50 (% v/v) values and respective confidence limits 95%.

SAMPLE	TREATMENT	LC 50 (% v/v) (24-hr)	LC 50 (% v/v) (48-hr)
01	None	2.2 1.7-2.8	2.2 1.7-2.8
	EDTA 0.1M	3.3 2.8-3.8	3.3 2.8-3.3
02	None	4.1 3.4-4.8	4.1 3.4-4.8
	EDTA 0.1M/air	3.3 2.8-3.8	3.3 2.8-3.8
03	None	5.7 4.7-7.0	5.7 4.7-7.0
	Al ₂ (SO ₄) ₃ 2g/L	13.2 11.6-15.1	13.2 11.6-15.1
04	None	3.3 2.8-3.8	3.3 2.8-3.8
	Kept in ambient temperature	3.3 2.8-3.8	3.3 2.8-3.8
	Al ₂ (SO ₄) ₃ 4g/L*	31.5 25.3-39.2	17.7 12.4-25.3
05	None	3.3 2.8-3.8	3.3 2.8-3.8
	Al ₂ (SO ₄) ₃ 4g/L**	32.6 28.0-38.0	32.6 28.0-38.0
	Kept in 4°C	4.4 3.6-5.3	4.1 3.4-4.8
06	None	2.6 1.9-3.4	2.6 1.9-3.4
	Aerated	3.1 2.4-4.0	2.4 1.7-3.3
	Al ₂ (SO ₄) ₃ 4g/L**/air	32.6 28.0-38.0	32.6 28.0-38.0
07	None	3.2 2.4-4.3	3.2 2.4-4.3
	Al ₂ (SO ₄) ₃ 4g/L**/air	15.8	15.8
	EDTA 0.1M/air	13.1-19.2	13.1-19.2

* test performed after a time of reaction of 30 minutes.

** test performed after a time of reaction of 48 hours.

The test using alum 4g/L, EDTA 0.1M and air (sample 07) showed a decreasing efficiency, as compared to treatment using only alum 4g/L. The result produced was probably because of EDTA toxicity (Richardson and Gangolli, 1994).

Treatment using alum 4 g/L was the better. This was related to the decrease of acute toxicity of Morro do Céu leachate to *B. rerio*. Comparing the results, better treatment was achieved in samples 05 and 06. It can be observed that LC50 24 hr of pure leachate samples of 3.3% (sample 05) and 2.6% (sample 06), after this treatment, went up to 32.6% (24 and 48 hr), resulting in a significant improvement.

Although *B. rerio* 48-hr acute tests have demonstrated high sensitivity to leachate toxicity evaluation, was recommended the performance of a monitoring using chronic tests to estimate with more safety the effects of this complex mixture to aquatic organisms.

The results presented in this work indicate that Morro do Céu leachate is a highly toxic effluent that is being discharged into an important aquatic ecosystem, representing a potential hazard to aquatic species. This emission should be regulated.

Acknowledgments This work was supported by grants from FAPERJ (Rio de Janeiro State Agency for Supporting Research)/Oswaldo Cruz Foundation Acoord. Authors thanks for Dr. Annibal Duarte Pereira Netto by the support on chemical analysis.

REFERENCES

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993) *Água – ensaio de toxicidade aguda com peixes – Parte I – sistema estático*. NBR 12.714, Rio de Janeiro, ABNT, 15 p
- APHA – American Public Health Association (1985) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. APHA/AWWA/WPCF, Washington D.C.
- Atwater JW, Jasper S, Mavinic DS, Koch FA (1983) Experiments using *Daphnia* to measure landfill leachate toxicity. *Water Res* 17:1855-1861
- Cheung KC, Chu LM, Wong MH (1993) Toxic effect of landfill leachate on microalgae. *Wat Air Soil Pollut* 69:337-349
- Clément B, Persoone G, Janssen RC, Le Dû-Delepiene A (1996) Estimation of

- the hazard of landfills through toxicity testing of leachates – I. Determination of leachate toxicity with a battery of acute tests. *Chemosphere* 33:2303-2320
- FEEMA (1994) *Método de determinação do efeito agudo letal causado por efluentes líquidos em peixes da espécie Brachydanio rerio – Método Estático. MF 456.RO.* Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. 27 de abril, p 18-20
- Hamilton MA, Russo RC, Thurston RV (1977) Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. *Environ Sci Technol* 11:714-719
- Philips PA, Freestone NP, Hall RS (1994) Dealing with leachate. *Chem in Britain* 30:828-830
- Richardson ML, Gangolli S (1994) *The Dictionary of Substances and Their Effects*, vol 4. The Royal Society of Chemistry, England, p 201
- SEMA – Secretaria Especial do Meio Ambiente (1988) *Manual de testes para avaliação da ecotoxicidade de agentes químicos.* Avaliação da toxicidade aguda para peixes (D.3.1), Brasília D.F.
- Sisinno CLS, Moreira JC (1996) Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cad Saúde Pub* 12:515-523
- Sisinno CLS, Moreira JC, Torres JPM (1998) Environmental health assessment at two waste disposal sites at Niterói, state of Rio de Janeiro, Brazil. *1st World Cong of Health and Urban Environ*, 6-10 July 1998, p 130
- Wong MH (1989) Toxicity test of landfill leachate using *Sarotherodon mossambicus* (freshwater fish). *Ecotoxicol Environ Safety* 17:149-156

2.2.1 – Considerações sobre o Artigo

Neste artigo foram realizados testes de toxicidade com peixes em amostras de chorume para que a carga tóxica desse efluente fosse avaliada. Substâncias cujas concentrações normalmente são analisadas separadamente por meio de métodos físico-químicos, puderam ter seu efeito tóxico avaliado em conjunto com o uso de um organismo-teste (o peixe da espécie *Brachydanio rerio*, que na nomenclatura atual chama-se *Danio rerio* e é conhecido vulgarmente como paulistinha ou peixe-zebra). Os resultados indicaram uma alta

toxicidade para os peixes tanto de amostras do chorume puro coletadas durante sete meses (CL50 na faixa de 2,2 a 5,7 %), como de amostras submetidas a diferentes tratamentos, mostrando a complexidade deste tipo de efluente. Deve-se ressaltar que o fluxo do chorume para os cursos d'água normalmente é contínuo (a não ser em períodos de grande estiagem), e que, com base nestes resultados, a vida aquática presente nos cursos d'água onde há despejo de chorume está sendo permanentemente afetada.

2.3 – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Leachate from a Municipal Solid Waste Dump of Niterói City, RJ, Brazil.

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Leachate from a Municipal Solid Waste Dump of Niterói City, RJ, Brazil.

Pereira Netto, A.D.¹; Sisinho, C.L.S.^{2,#}; Moreira, J.C.²; Arbilla, G.³; Dufrayer, M.C.²

¹ Department of Analytical Chemistry – Federal Fluminense University
Outeiro de São João Batista, s/n – 24020-150 – Niterói – RJ – BRAZIL
annibal@vm.uff.br

² CESTEJ – ENSP – Oswaldo Cruz Foundation
Av. Leopoldo Bulhões, 1480 – 21041-210 – Rio de Janeiro – RJ – BRAZIL

³ Department of Physical Chemistry – Federal University of Rio de Janeiro
Centre of Technology – Building A – Room 408
21949-900 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro – RJ – BRAZIL

#Present address:

Center of Environmental Technology – CTA – FIRJAN
Rua Pedro Alves, 14
20220-281 – Santo Cristo – Rio de Janeiro – RJ – BRAZIL

Correspondence to: A. D. Pereira Netto

PAHs are ubiquitous persistent pollutants which, have been described in all environmental compartments. Many PAHs exhibit carcinogenic and/or mutagenic properties and have been related to several kinds of cancer in man and experimental animals (Boffetta *et al.*, 1997; Pereira Netto *et al.*, 2000). Their formation and fate have been reviewed (Bouchez *et al.*, 1996; Lopes and De Andrade 1996; IPCS, 1998). PAHs have been identified in leachates from municipal solid waste (MSW) dumps (Öman and Hynning, 1993; Benfenati *et al.*, 1996; Yasuhara *et al.*, 1997; Welander and Henrysson, 1998). Ahel and Tepic (2000) studied the spatial and vertical distribution of PAHs in landfill soil. There is concern about the presence of organic compounds (OCs) in leachates since they can contaminate water streams and ground water (EPA, 1974; Ahel and Tepic, 2000). OCs present in leachates can be directly released from final products or be produced during their decomposition. Examples of sources of OCs to MSW leachates were summarised by Öman and Hynning (1993). Although PAHs may have some sources in common to the other OCs, spontaneous fires (Ruokojarvi *et al.*, 1995) and due to the large surface areas of waste disposal sites, dry or wet atmospheric deposition also have to be considered (Ahel and Tepic, 2000; Wild and Jones, 1995).

Niterói City (about 460.000 inhabitants) belongs to the Metropolitan Area of Rio de Janeiro City and it is located in the margins of Guanabara Bay in Rio de Janeiro State, Brazil. When compared to other Brazilian cities, it is considered to have a high environmental quality and a high standard life quality. The Niterói City MSW dump – Morro do Céu (MC dump) is in operation since 1983 receiving nowadays about 550 tons/day of urban waste. It is placed in a valley where many springs can be found and also springs the small Mata Paca River, which receives most of leachate from MC dump. This river is used for irrigation of some local plantations and it belongs to a hydrographic basin, which contributes to Guanabara Bay, the most important aquatic ecosystem of Rio de Janeiro State. Further details on the localisation of MC dump and on the toxicological and chemical characterisation of MC leachate can be found elsewhere (Sisinno and Oliveira, 2000; Sisinno *et al.*, 1998, 2000; Sisinno and Moreira; 1996).

There is a complete lack of data on PAHs in MC leachate. To the extent of our knowledge, there is no data on PAHs in leachate from any other Brazilian city, although Grossi *et al.* (1994) have measured total PAHs content in compost produced in MSWs of several Brazilian cities. This lack of information gets a very

serious dimension when it is considered that several Brazilian dumps are: 1) uncontrolled or even clandestine; 2) located near inhabited areas and/or water streams. The aim of this work was the determination of the concentrations of 17 PAHs (Table 1) in MC leachate between November 1998 and April 1999.

MATERIALS AND METHODS

Solid PAH were purchased from both Aldrich Chemical Co. (WI, USA) and AccuStandard (CT, USA). Dichloromethane (HPLC grade), hexane and toluene (both Omnisolv – Residue Analysis) were purchased from E M Science (NJ, USA). SiO₂ SPE cartridges (3 mL; 500 mg) from PR Cola (RJ, Brazil) and a SPE Vacuum Manifold (Waters Corporation, WI, USA) were used to clean up the sample extracts.

Table 1. Measured PAHs in Morro do Céu leachate, their abbreviations and ions for selected ion monitoring.

Compound	Abbreviations	Ion for SIM
Fluorene	Fl	166
Phenanthrene	Phe	178
Anthracene	A	178
2-methyl-phenanthrene	2-MePhe	192
Fluoranthene	Fluo	202
Pyrene	Py	202
Benzo[a]anthracene	BaA	228
Chrysene	Chry	228
Benzo[k]fluoranthene	BkFluo	252
Benzo[b]fluoranthene	BbFluo	252
Benzo[e]pyrene	BeP	252
Benzo[a]pyrene	BaP	252
Perylene	Per	252
Benzo[ghi]perylene	BgP	276
Indene[1,2,3-cd]pyrene	IndP	276
Dibenzo[a,h]anthracene ^(a)	DiBA	278
Coronene	Cor	300
9-phenylanthracene ^(b)	FiA	254
2,2'-binaphthalene ^(b)	BiNA	254
9,10-diphenylanthracene ^(b)	DiFiA	330

(a) coeluted with dibenzo[a,c]anthracene under our conditions

(b) internal standards

Typically 1L empty amber flasks of PA or high purity solvents were heated overnight at 240°C and used to collect leachate samples. Headspace was avoided in all flasks and samples were kept under refrigeration after collection until extraction.

Aliquots of 30 mL of samples were manually extracted in glass separatory funnels with 3 consecutive portions of 20 mL of DCM. Combined extracts were concentrated up to 10 mL in rotary evaporator ($T < 40^{\circ}\text{C}$), dried with approximately 1 gram of anhydrous Na_2SO_4 and centrifuged at ambient temperature to exclude suspended material. Solutions were transferred to test tubes and evaporated under gentle high purity N_2 flow after addition of 100 μL of toluene as a keeper.

Further details on extract clean up and PAHs determination were presented elsewhere (Pereira Netto *et al.*, 2001). Briefly, the concentrated extracts were transferred onto SiO_2 SPE cartridges previously activated with CH_2Cl_2 (10 mL). The PAHs rich fraction was eluted with 6 mL of hexane and after addition of toluene (100 μL), it was evaporated under N_2 flow and transferred to 2 mL vials. All extracts were kept in refrigerator until analysis.

Qualitative and quantitative analysis were performed by HRGC-MS using a HP5890 gas chromatograph interfaced to a HP5972 mass selective detector and a DB5-ms column (30 m; 0.25 μm ; 0.25 mm – J&W Scientific, CA, USA). The oven temperature was kept at 95°C during 1 min, increased to 120°C at 10°C/min, hold at this temperature for 2 min and heated to 300°C at 4°C/min with 10 min final hold. Transfer line and injector were kept at 280°C. Injections of samples and standards were performed manually in splitless mode with hot needle technique. Ionisation was performed by electron impact at 70eV.

Comparison of retention times with true compounds and fragmentograms were used for qualitative analysis. Quantitative analysis was performed by selected ion monitoring (SIM) using PAH and internal standards molecular ions (Table 1) (Tuominen *et al.*, 1986). The calibration solution was prepared by dissolution in toluene of solid PAH and internal standards: 2,2'-binaphthalene (Alsberg *et al.*, 1985), 9-phenylanthracene and 9,10-diphenylanthracene (Pereira Netto *et al.*, 2001) with posterior dilution in the same solvent. Concentrations in the calibration solution were adjusted to intermediate values of the linear ranges previously described for similar equipment (Brindle and Li, 1990).

RESULTS AND DISCUSSION

PAHs concentrations in MC leachate are shown in Table 2. Individual concentrations up to 4.34 $\mu\text{g/L}$ were found, but the concentration ranges for individual PAHs varied almost two orders of magnitude. PAHs with 3 or 4 rings, mainly Phe, Fluo and Py predominated in all samples. The concentrations of PAHs with 5 or more rings were systematically lower than those of the lighter ones, but carcinogenic compounds such as BaP, BbFluo, BkFluo, Ind and BgP were present in all samples in concentrations ranging from trace amounts to 1.15 $\mu\text{g/L}$. Total PAH concentrations between 9.51 and 21.26 $\mu\text{g/L}$ were found in MC leachate. The observed differences can be attributed to variations on waste composition, humidity and even, to small differences in rainfall rates.

These results are consistent with those of Ahel and Tepic (2000) who observed that in solid waste and in the underlying soil layer (0 - 1 m) lighter PAHs (2 – 4 rings) were the predominating compounds. Gade *et al.* (1996) also found concentrations of Fluo greater than those of 5 or 6 ring PAHs in solid waste samples.

Table 2. PAH concentrations ($\mu\text{g/L}$) in leachate from Morro do Céu dump, Niterói, RJ, Brazil.

PAH	Sampling period			
	November, 1998	January, 1999	March, 1999	April, 1999
Flu	0.46	0.80	0.91	0.64
Phe	2.19	4.05	4.34	3.76
A	0.34	0.60	0.61	0.60
2-MePhe	0.39	0.78	0.82	0.79
Fluo	2.13	4.06	3.47	4.13
Py	1.57	3.10	2.54	3.15
BaA	0.87	1.13	0.92	1.85
Chry	0.69	1.13	0.91	1.49
BbFluo	0.19	0.27	0.25	1.15
BkFluo	0.12	0.20	0.13	0.68
BeP	0.11	0.24	0.19	0.60
BaP	0.13	0.17	0.17	0.73
Per	0.02	0.41	0.02	0.13
Bgp	0.20	0.16	0.19	0.87
DiBA	tr	nd	nd	nd
Ind	0.10	0.11	0.10	0.46
Cor	tr	nd	tr	tr
TOTAL	9.51	17.21	15.57	21.26

tr = trace amounts nd = not detected

Our results seem to be greater than those previously reported by Yasuhara *et al.* (1997) to leachates from hazardous disposal sites of Japan. The differences in composition may be attributed to several local factors such as waste characteristics, its ageing and atmospheric deposition (Benfenati *et al.*, 1996) as long as climatic and mean temperature differences.

Our results also suggest that PAHs are important constituents of MC leachate, which are being continuously exported to the small Mata Paca River, leading to sediment and biota contamination. As a consequence, as Mata Paca River belongs to the Guanabara Bay basin, it would also behave as a constant and continuous source of PAHs to Guanabara Bay.

Those data are also of concern since there are many dumps or illegal waste disposal sites around Guanabara Bay and it would mean that PAHs are being leached from all those points to Guanabara Bay, with subsequent environmental and biota contamination.

Acknowledgments. The authors are indebted to Dr. Thomas M. Krauss for helpful support in early development of HRGC-MS methods and Renata P. Barreto for technical assistance. JCM and GA thank CNPq/Brazil for financial support. The authors also thank CAPES for financial support.

REFERENCES

- Ahel M, Tepic N (2000) Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in a municipal solid waste landfill and underlying soil. *Bull Environ Contam Toxicol* 65: 236-243
- Alsberg T, Strandell M, Westerholm R, Stenberg U (1985) Fractionation and chemical analysis of gasoline exhaust particulate extracts in connection with biological testing. *Environ Int* 11: 249-257
- Benfenati E, Facchini G, Pierucci P, Fanelli R (1996) Identification of organic contaminants from industrial waste landfills. *Trends Anal Chem* 15:305-310
- Boffetta P, Jourenkova N, Gustavsson P (1997) Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Cancer Causes Control* 8:444-472
- Bouchez M, Blanchet D, Haeseler F, Vandecasteele J-P (1996) Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement I: propriétés, origines, devenir. *Rev Inst Français Pétrole* 51: 407-419

- Brindle ID, Li X-F (1990) Investigation into the factors affecting performance in the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons using capillary gas chromatography-mass spectrometry with splitless injection. *J Chromatogr* 498:11-24
- EPA (1974) *Organic compounds entering ground water from a landfill*. EPA Report 660/2-74-077. Washington, DC
- Grossi G, Lichtig J, Krauss P (1994) PCDD/F, PCB and PAH content of Brazilian compost. *Chemosphere* 37:2153-60
- IPCS – International Programme on Chemical Safety (1998) *Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons*. World Health Organisation, Geneva
- Lopes WA, De Andrade JB (1996) Fonte, formação, reatividade e quantificação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) na atmosfera. *Química Nova* 19:497-516
- Öman C, Hynning P-A (1993) Identification of organic compounds in municipal landfill leachates. *Environ Pollut* 80:265-271
- Pereira Netto AD, Moreira JC, Dias AEXO, Arbilla G, Ferreira Lfv, Oliveira AS, Berek J (2000) Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAs): uma revisão metodológica. *Química Nova* 23:765-773
- Pereira Netto AD, Barreto RP, Moreira JC, Arbilla G (2001) Preliminary comparison of PAH in total suspended particulate samples taken at Niterói and Rio de Janeiro Cities, Brazil. *Bull Environ Contam Toxicol* 66:36-43
- Ruokojarvi P, Ruuskanen J, Ettala M, Rahkonen P, Tarhanen J (1995) Formation of polyaromatic hydrocarbons and polichlorinated organic compounds in municipal waste landfill fires. *Chemosphere* 31:3899-3908
- Sisinno CLS, Moreira JC (1996) Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cad Saúde Pub* 12:515-523
- Sisinno CLS, Moreira JC, Torres JPM (1998) Environmental health assessment at two waste disposal sites at Niterói, state of Rio de Janeiro, Brazil. *1st World Cong of Health and Urban Environ*, July 1998, 6-10, Madrid, Spain, p 130
- Sisinno CLS, Oliveira-Filho EC, Dufrayer MC, Moreira JC, Paumgarten FLR (2000) Toxicity evaluation of a municipal dump leachate using zebrafish acute tests. *Bull Environ Contam Toxicol* 64: 107-113

- Sisinno CLS, Oliveira RM (2000) Impacto ambiental dos grandes depósitos de resíduos urbanos e industriais. In: Sisinno CLS, Oliveira RM (org) *Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar*. Editora FIOCRUZ, Rio de Janeiro, p. 73-75
- Tuominen J, Wickström K, Pyysalo H (1986) Determination of polycyclic aromatic compounds by GLC-selected ion monitoring (SIM) technique. *J High Res Chromatogr Chromatogr Communic* 9:469-471
- Welander U, Henrysson T (1998) Degradation of organic compounds in a municipal landfill leachate treated in a suspended-carrier biofilm process. *Water Environ Res* 70:1236-1241
- Wild SR, Jones KC (1995) Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. *Environ Pollut* 88:91-108
- Yasuhara A, Shiraishi H, Nishikawa M, Yamamoto T, Uehiro T, Nakasugi O, Okumura T, Kenmotsu K, Fukui H, Nagase M, Ono Y, Kawagoshi Y, Baba K, Noma Y (1997) Determination of organic components in leachates from hazardous waste disposal sites in Japan by gas chromatography mass spectrometry. *J Chromatogr A* 774:321-332

2.3.1 – Considerações sobre o Artigo

Devido a importância dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos como substâncias possivelmente cancerígenas e/ou mutagênicas, neste artigo foram pesquisados vários desses compostos em chorume. Os resultados encontrados mostraram a identificação de mais de dezessete HPAs em amostras coletadas durante quatro meses, dentre eles benzo[a]pireno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno e indeno[1,2,3-cd]pireno; compostos com potencial carcinogênico. Os resultados encontrados não puderam ser comparados com os limites máximos estabelecidos, uma vez que estas substâncias não são citadas nas normas de controle de efluentes: NT – 202 da FEEMA (FEEMA, 1986) e Resolução CONAMA Nº 20, Art. 21 (FEEMA, 1992).

As prováveis fontes destes compostos são a mistura de resíduos industriais aos resíduos urbanos e a queima dos resíduos nas áreas de

disposição. Estes compostos estão sendo exportados desta área, pois parte do chorume produzido no local está sendo despejado no córrego Mata Paca, contribuinte da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara. Mais uma vez é demonstrado que o monitoramento do chorume deveria ser uma exigência mais rigorosa da FEEMA para todas as áreas de disposição de resíduos sólidos e que estas áreas estão concentrando e exportando substâncias que merecem atenção tanto sob o aspecto ambiental como de saúde.

2.4 – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Resíduos Sólidos Industriais: Uma Avaliação Preliminar do Risco Potencial de Contaminação Ambiental e Humana em Áreas de Disposição de Resíduos.

HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS EM RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL E HUMANA EM ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS.

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN INDUSTRIAL SOLID WASTE: A PRELIMINARY EVALUATION OF THE POTENTIAL RISK OF ENVIRONMENTAL AND HUMAN CONTAMINATION IN WASTE DISPOSAL AREAS.

Cristina L. S. Sisinno ^{1,2}; Annibal D. Pereira Netto ³; Eliane Cristina P. do R. Laurentino¹ e Guilherme dos Santos V. Lima ¹. ¹Centro de Tecnologia Ambiental (CTA), Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), Rio de Janeiro, Brasil. ²Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP – CESTEH), Rio de Janeiro, Brasil. ³Departamento de Química Analítica – Instituto de Química – Universidade Federal Fluminense.

Correspondência para: Cristina L. S. Sisinno, Centro de Tecnologia Ambiental (CTA) - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN). Rua Morais e Silva, 53 – Maracanã – Rio de Janeiro – 20.271-030 – RJ – Brasil.

Palavras-chave: Resíduos perigosos, disposição final, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, classificação de resíduos.

A disposição adequada dos resíduos sólidos é importante para evitar que os mesmos se transformem em fonte de contaminação ambiental e humana. A NBR 10.004 – Classificação de Resíduos – lista vários hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e indica que, a presença de pelo menos um deles na massa bruta do resíduo é suficiente para classificá-lo como resíduo perigoso. O objetivo deste estudo foi verificar a presença de HPAs em amostras de resíduos sólidos provenientes de alguns segmentos industriais para se obter uma avaliação preliminar do potencial de contaminação que estes resíduos podem representar, caso não recebam destino adequado. Pelo menos um dos HPAs previstos na NBR 10.004 (benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, criseno ou fluoranteno) foi identificado em todos os resíduos estudados, classificando-os como perigosos. Nossos resultados indicam que todos os resíduos estudados continham HPAs de importância toxicológica, o que implica que sua disposição final seja feita em locais adequados para minimizar os riscos à saúde humana e ambiental oriundos das áreas de disposição de resíduos.

Key words: Hazardous waste, final disposal, polycyclic aromatic hydrocarbons, waste classification

The correct solid waste final disposal is important to avoid human and environmental contamination. The NBR 10.004 – Waste Classification lists several polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and indicates that the presence of at least one of them in a waste sample is enough to classify it as hazardous waste. The aim of this study was a preliminary evaluation of PAHs in solid waste samples from some industrial sectors in order to obtain a preliminary overview of the potential of contamination represented by them, if their disposal was improper. At least one of the PAHs listed in NBR 10.004 (benzo[a]anthracene, benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, indene[1,2,3-c,d]pyrene, chrysene or fluoranthene) were found in all samples leading to their classification as hazardous waste. Our results showed that PAHs of toxicological interest were found in all the samples, indicating that their final disposal must be performed in appropriate areas in order to minimize human health risks and environmental contamination caused by waste disposal areas.

Introdução

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são poluentes orgânicos de importância ambiental e interesse toxicológico, pois muitos apresentam propriedades pré-carcinogênicas e/ou mutagênicas para homens e animais (Boffetta *et al.*, 1997; Pereira Netto *et al.*, 2000; WHO, 1988). Os mecanismos de carcinogênese destas substâncias foram revistos recentemente e, de um modo geral, vários órgãos podem ser afetados (WHO, 1998). Há relação com o mecanismo de carcinogênese e a estrutura molecular dos HPAs que, portanto, têm potencial carcinogênico diferenciado. A *International Agency for Research on Cancer* (IARC) estabeleceu uma classificação de HPAs e de alguns materiais que os contêm, conforme os dados disponíveis sobre a carcinogenicidade destes materiais ou substâncias (Tabela 1).

HPAs são emitidos por fontes naturais (vulcões, por exemplo) ou antropogênicas (derramamento de petróleo, queima de combustíveis, resíduos industriais, etc) (Lopes & Andrade, 1996; Vo Dinh *et al.*, 1998) e muitos processos térmicos dão origem a estas substâncias. Após emissão, os HPAs, que são substâncias lipofílicas e podem ter grande persistência no meio ambiente, distribuem-se nos compartimentos ambientais em proporções que dependem de suas propriedades físico-químicas e das características de cada compartimento ambiental. A *Environmental Protection Agency* (EPA) estabeleceu uma lista de 16 HPAs considerados prioritários para monitoramento ambiental, em função de sua carcinogenicidade e ocorrência (Tabela 1).

A ingestão de HPAs por seres humanos ocorre por diversas vias como a inalação de ar, a ingestão de águas, solos, poeiras e alimentos, contato através da pele etc, que têm importância relativa diferente (WHO, 1988).

Em resíduos sólidos a presença de HPAs é de interesse, uma vez que pode ocorrer contaminação humana direta – por contato com o resíduo (no manuseio, no tratamento ou na disposição) ou indireta – causada pelo destino final inadequado dos resíduos e conseqüente contaminação ambiental do solo, lençóis freáticos, corpos d'água superficiais, biota e ar.

A NBR 10.004 – resíduos sólidos – classificação (ABNT, 1987b), tem por objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Esta classificação é estabelecida em função das substâncias neles identificadas e em testes laboratoriais complementares, onde vários parâmetros químicos são analisados na massa bruta e nos extratos

lixiviados e solubilizados dos resíduos. Três categorias são previstas na norma: classe I – resíduos perigosos; classe II – resíduos não-inertes; classe III – resíduos inertes. Esta classificação é fundamental para o gerenciamento adequado dos resíduos uma vez que possibilita a determinação do seu correto manuseio, transporte, armazenamento e tratamento ou destinação final.

O anexo D – listagem nº 4 da NBR 10.004 (ABNT, 1987b) relaciona substâncias e espécies químicas que conferem periculosidade aos resíduos. Dentre estas, estão incluídos diversos HPAs como benzo[a]pireno, fluoranteno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno etc. (Tabela 1). A presença de um destes compostos no resíduo é suficiente para classificá-lo como resíduo perigoso (classe I).

Dessa forma, a identificação desses HPAs em resíduos é de relevante interesse para a saúde pública uma vez que a classificação de um resíduo como perigoso implica na necessidade de formas adequadas de gerenciamento para evitar que ocorra contaminação ambiental e humana.

Segundo estimativas do órgão de fiscalização ambiental do Estado do Rio de Janeiro (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – FEEMA) do total de aproximadamente 500.000 toneladas de resíduos industriais produzidos mensalmente pelas indústrias situadas no estado, a maior parte constitui-se de resíduos não-inertes (classe II), seguido de resíduos inertes (classe III) e, por fim, de resíduos perigosos (classe I). Cerca de 20.000 toneladas de resíduos perigosos são produzidos no estado por mês, correspondendo a resíduos constituídos por óleo usado, resíduos contendo metais pesados, solventes, resíduos provenientes do re-refino de óleos usados e resíduos orgânicos gerados em plantas de refino de petróleo (FEEMA, 2000).

As principais formas de tratamento e destinação final dos resíduos produzidos no Estado do Rio de Janeiro são: reciclagem, aterro municipal, co-processamento, aterro industrial, estocagem, incineração, incorporação, fertilização ou *landfarming* e aterro de terceiros. A destinação de resíduos perigosos ocorre principalmente através de reciclagem, ou por deposição em aterros municipais e industriais. Observa-se que muitos dos resíduos industriais perigosos chegam aos vazadouros de lixo misturados com os resíduos industriais comuns (FEEMA, 2000).

Os aterros municipais são geralmente representados por aterros controlados ou vazadouros de lixo, cuja infra-estrutura não é adequada para a

destinação de resíduos com características de periculosidade. Deste modo, pelo menos parte de substâncias consideradas perigosas (dentre elas, alguns HPAs) presentes nos resíduos, tem como destino final o solo destes aterros, podendo ter como possíveis conseqüências, a contaminação ambiental e humana por substâncias carcinogênicas.

Esta hipótese é coerente com resultados recentes que demonstraram a presença de HPAs em concentrações de 0,02 a 4,2 µg/L em chorume proveniente do Aterro Controlado do Morro do Céu, em Niterói, RJ (Pereira Netto *et al.*, 2002). Apesar de haver outras fontes de HPAs e de compostos orgânicos em depósitos de resíduos (Öman & Hynning, 1993), incluindo deposição atmosférica (Ahel & Tepic, 2000; Wild & Jones, 1995) e focos espontâneos de incêndio nestas áreas devido a presença de altas concentrações de metano (Ruokojarvi *et al.*, 1995), a introdução destas substâncias por meio de resíduos deve ser considerada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a presença de HPAs, incluindo os previstos na NBR 10.004, em amostras de resíduos sólidos provenientes de alguns segmentos industriais, a fim de obter um quadro preliminar do potencial de contaminação que estes resíduos podem representar, caso não recebam destinação adequada.

Materiais e Métodos

HPAs fornecidos pela Aldrich Chemical Co. (WI, USA) e pela AccuStandard (CT, USA) foram usados como padrões. Hexano e tolueno (Omnisolv – Residue Analysis – E. M. Science, NJ, USA) e diclorometano (Absolv – Tedia, RJ, Brazil) foram empregados na preparação dos extratos.

Sete amostras (lodos, solo contaminado e óleo queimado) de resíduos provenientes de indústrias localizadas no Estado do Rio de Janeiro e de diferentes segmentos (petroquímico, metalmecânica e de bebidas) foram coletadas segundo a metodologia recomendada pela NBR 10.007 – amostragem de resíduos (ABNT, 1987a). As indústrias em questão tinham interesse em analisar seus resíduos de acordo com a NBR 10.004, a fim de classificá-los de acordo com as normas brasileiras.

Alíquotas de 0,5 a 2 g das amostras foram pesadas ao décimo de mg e submetidas à extração em banho de ultra-som com 4 porções de 20 mL de diclorometano por 20 minutos cada. Os extratos de cada amostra foram combinados e após adição de 100 µL de tolueno, concentrados em evaporador

rotatório ($T < 40^{\circ}\text{C}$) até cerca de 10 mL. O extrato foi centrifugado e o sobrenadante evaporado com N_2 de alta pureza até cerca de 500 μL . O extrato concentrado foi submetido à limpeza em cartuchos de extração em fase sólida (SiO_2 ; 3 mL; 500 mg) empregando-se um sistema de vácuo (J.T. Baker). A fração rica em HPAs foi eluída com hexano, concentrada com N_2 e mantida em *vial* até a análise (Pereira Netto *et al.*, 2001a e 2002).

Os extratos foram analisados por cromatografia a gás de alta resolução acoplada à espectrometria de massas (CGAR-EM) em um cromatógrafo AutoSystem TurboMass (Perkin Elmer). Solução contendo 23 HPAs, incluindo os previstos na NBR 10.004 e os considerados prioritários pela *Environmental Protection Agency* foi usada na otimização das condições de separação cromatográficas em coluna DB5-ms (30m; 0,25 mm; 0,25mm). Os extratos foram analisados por varredura (50-350 u.m.a.) e por monitoramento seletivo de íons (SIM) com os íons de peso molecular (Tuominen *et al.*, 1986). A identificação foi realizada combinando-se informações obtidas pelos tempos de retenção, por fragmentogramas de íons específicos e cromatogramas em SIM.

Resultados e discussão

Os extratos das amostras analisadas apresentaram cromatogramas de corrente iônica total (TIC) diferentes, dependendo da origem das amostras. Alguns perfis cromatográficos eram bastante complexos, indicando a presença de grande número de substâncias nos extratos. Hidrocarbonetos alifáticos foram, de um modo geral, as substâncias predominantes nos extratos analisados.

Os resultados obtidos na análise dos diferentes resíduos estudados encontram-se na Tabela 2. Diversos HPAs (fluoreno, fenantreno, antraceno, metilfenantrenos+metilantracenos, pireno, fluoranteno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[e]pireno, benzo[a]pireno, indeno[1,2,3-cd]pireno, dibenzo[a,h]antraceno, coroneno e benzo[g,h,i]perileno) foram identificados nas amostras analisadas.

Os resultados obtidos demonstram que todas as amostras apresentaram mais de um dos HPAs que conferem periculosidade aos resíduos. Das substâncias que conferem periculosidade aos resíduos descritas no anexo D da NBR 10.004, benzo[a]pireno, fluoranteno e criseno foram os HPAs identificados em todas as amostras estudadas.

O maior número de amostras estudadas foram provenientes do setor petroquímico (amostras 1, 2, 3, 5 e 6), que é um dos setores onde ocorre maior produção de resíduos contendo HPAs. Nestas amostras, foram sempre encontrados benzo[a]pireno, fluoranteno e criseno, que estão listados entre os HPAs que conferem periculosidade aos resíduos.

Na amostra de óleo queimado originada de caldeira (amostra 4) de uma indústria do setor alimentício e na amostra de solo contaminado (amostra 7) proveniente de uma indústria desativada do setor metalmeccânico (igualmente considerado um resíduo) foram encontrados todos os HPAs que conferem periculosidade a um resíduo, como benzo[a]pireno, fluoranteno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, dibenzo[a,h]antraceno e criseno.

A identificação destes HPAs nas amostras analisadas merece importância sob o aspecto ambiental e de saúde. A presença de benzo[a]pireno, benzo[a]antraceno e dibenzo[a,h]antraceno – classificados pelo IARC como prováveis carcinogênicos para seres humanos (2A) – e de benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno e indeno[1,2,3-c,d]pireno – considerados possíveis carcinogênicos (2B) – em alguns dos resíduos analisados, deve ser destacada pelo interesse que este fato representa para a saúde pública, uma vez que estas substâncias podem atingir seres humanos em qualquer uma das etapas de gerenciamento dos resíduos em questão.

O segundo aspecto de importância é que, com base nestes dados, todos os resíduos estudados podem receber a classificação de resíduos perigosos pela NBR 10.004, implicando em manuseio, transporte e destinação especiais. Também é fundamental observar que todos os resíduos apresentaram vários dos HPAs previstos na norma quando a presença de apenas um deles já seria suficiente para classificá-los como perigosos.

Conclusões

Diversos HPAs foram identificados nas amostras estudadas, sendo que benzo[a]pireno, fluoranteno e criseno foram identificados em todas elas. A presença destas substâncias confere periculosidade aos resíduos, fazendo com que haja a necessidade de um gerenciamento adequado dos mesmos. A presença de benzo[a]pireno nestas amostras deve ser destacada, pois este HPA

é uma das substâncias sobre as quais se tem mais informações a respeito de suas propriedades pró-carcinogênicas.

Análises quantitativas destes resíduos estão em fase de implementação. Estes resultados permitirão avaliar a quantidade de HPAs introduzida nas áreas de disposição por resíduos industriais e estimar a quantidade destas substâncias que é deliberadamente introduzida no meio ambiente.

Nossos resultados indicam que é desejável e necessário que o gerenciamento adequado dos resíduos industriais seja seriamente considerado por todas as esferas envolvidas, inclusive pelo governo, setor normativo, setor fiscalizador e pelas próprias indústrias produtoras de resíduos perigosos, uma vez que todos os atores citados possuem responsabilidade sobre o quadro atual de degradação ambiental ocasionado pela disposição inadequada de resíduos.

Deste modo, um controle mais rigoroso e maiores opções de destino final para resíduos perigosos no Estado do Rio de Janeiro devem ser observados. Deve-se ressaltar finalmente, que a disposição inadequada de resíduos contendo HPAs representa uma fonte potencial de contaminação dos compartimentos ambientais e conseqüentemente, de seres humanos, principalmente se forem consideradas as quantidades de resíduos produzidas mensalmente e a natureza físico-química destas substâncias (lipossolúveis e semi-voláteis).

Agradecimentos

Cristina L. S. Sisino gostaria de expressar seus agradecimentos aos profissionais do Centro de Tecnologia Ambiental da FIRJAN. Annibal D. Pereira Netto agradece à FAPERJ cujo financiamento do Projeto E-26/170.827/2000 viabilizou indiretamente a execução deste trabalho e ao CNPq (Projeto 478346/01-8).

Referências Bibliográficas

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987a. *Amostragem de resíduos – procedimento – NBR 10.007*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987b. *Resíduos sólidos – classificação – NBR 10.004*. Rio de Janeiro: ABNT.
- AHEL, M. & TEPIC, N., 2000. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in a municipal solid waste landfill and underlying soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 65:236-243.

- BOFFETTA, P.; JOURENKOVA, N. & GUSTAVSSON, P., 1997. Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Cancer Causes Control*, 8:444-472.
- FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 2000. *Gestão de resíduos – relatório semestral de atividades do programa de despoluição da Baía de Guanabara – setembro/2000*. Rio de Janeiro: FEEMA (mimeo.).
- IARC (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER), 2002. Complete list of agents, mixtures and exposures evaluated and their classification. <<http://www.iarc.fr>>.
- LOPES, W.A. & ANDRADE, J.B., 1996. Fonte, formação, reatividade e quantificação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) na atmosfera. *Química Nova*, 19:497-516.
- ÖMAN, C. & HYNNING, P.A., 1993. Identification of organic compounds in municipal landfill leachates. *Environmental Pollution*, 80:265-271.
- PEREIRA NETTO, A. D.; MOREIRA, J. C.; DIAS, A.E.X.O.; ARBILLA, G.; FERREIRA, L. F.V.; OLIVEIRA, A.S. & BAREK, J., 2000. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAs): uma revisão metodológica. *Química Nova*, 23:765-773.
- PEREIRA NETTO, A.D.; BARRETO, R.P.; MOREIRA, J.C. & ARBILLA, G., 2001. Preliminary comparison of PAH in total suspended particulate samples taken at Niterói and Rio de Janeiro Cities, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66:36-43.
- PEREIRA NETTO, A.D.; SISINNO, C.L.S.; MOREIRA, J.C.; ARBILLA, G. & DUFRAYER, M.C., 2002. Polycyclic aromatic hydrocarbons in leachate from a municipal solid waste dump of Niterói City, RJ, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 68: 148-154.
- RUOKOJARVI, P.; RUSKANEN, J.; ETTALA, M.; RAHKONEN, P. & TARHANEN, J., 1995. Formation of polyaromatic hydrocarbons and polichlorinated organic compounds in municipal waste landfill fires. *Chemosphere*, 31:3899-3908.
- TUOMINEN, J.; WICKSTRÖM, K. & PYSALO, H., 1986. Determination of polycyclic aromatic compounds by GLC-selected ion monitoring (SIM) technique. *Journal of High Resolution Chromatography Communication*, 9:469-471.

- VO DINH, T.; FETZER, J. & CAMPIGLIA, A.D., 1998. Monitoring and characterization of polyaromatic compounds in the environment. *Talanta*, 47:943-969.
- WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION), 1988. *Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons*. IPCS (International Programme on Chemical Safety). WHO: Geneva.
- WILD, S.R. & JONES, K.C., 1995. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. *Environmental Pollution*, 88:91-108.

Tabela 1 – Classificação dos HPAs estudados quanto a sua carcinogenicidade (IARC), carcinogenicidade e ocorrência (EPA) e periculosidade (ABNT).

HPAs	IARC	EPA	NBR 10.004
Fluoreno	3	P	NM
Fenatreno	3	P	NM
Antraceno	3	P	NM
Metilfenantrenos+Metilantracenos	3	P	NM
Pireno	3	P	NM
Fluoranteno	3	P	CP
Benzo[a]antraceno	2 A	P	CP
Criseno	3	P	CP
Benzo[b]fluoranteno	2 B	P	CP
Benzo[k]fluoranteno	2 B	P	NM
Benzo[e]pireno	3	P	NM
Benzo[a]pireno	2 A	P	CP
Indeno[1,2,3-c,d]pireno	2 B	P	CP
Dibenzo[a,h]antraceno	2 A	P	CP
Benzo[g,h,i]perileno	3	P	NM
Coroneno	3	P	NM

- 2 A – Provável carcinogênico para humanos – limitada evidência em humanos e suficiente em animais (IARC)
- 2 B – Possível carcinogênico para humanos – limitada evidência em humanos e insuficiente em animais (IARC)
- 3 – Não é classificado como carcinogênico para humanos (IARC)
- P – Prioritário (EPA)
- CP – Confere Periculosidade (ABNT)
- NM – Não Mencionado no anexo D – listagem nº 4 (ABNT)

Tabela 2 – HPAs estudados e identificados em cada amostra.

HPAs	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7
Fluoreno	–	+	+	+	+	+	+
Fenatreno	+	+	+	+	+	+	+
Antraceno	+	+	+	+	+	+	+
Metilfenantrenos +Metilantracenos	+	N.A.	N.A.	+	N.A.	N.A.	+
Pireno	+	+	+	+	+	+	+
Fluoranteno	+	+	+	+	+	+	+
Benzo[a]antraceno	+	+	+	+	–	+	+
Criseno*	+	+	+	+	+	+	+
Benzo[b]fluoranteno	+	+	+	+	–	+	+
Benzo[k]fluoranteno	+	+	+	+	–	+	+
Benzo[e]pireno	+	N.A.	N.A.	+	N.A.	N.A.	+
Benzo[a]pireno	+	+	+	+	+	+	+
Indeno[1,2,3-c,d] pireno	–	–	–	+	–	+	+
Dibenzo[a,h] antraceno**	–	–	–	–	–	+	+
Benzo[g,h,i]perileno	–	–	+	+	–	+	+
Coroneno	–	N.A.	N.A.	+	N.A.	N.A.	+

* coelui parcialmente com trifenileno

** coelui com dibenzo[a,c]antraceno

(+) Presente

(–) Ausente

N.A. – Não Analisado

- Amostra 1 – Lodo
- Amostra 2 – Lodo
- Amostra 3 – Lodo
- Amostra 4 – Óleo queimado
- Amostra 5 – Areia contaminada com óleo
- Amostra 6 – Lodo
- Amostra 7 – Solo de indústria desativada

2.4.1 – Considerações sobre o Artigo

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos foram analisados em amostras de resíduos industriais de diferentes segmentos industriais para se obter uma avaliação preliminar do potencial de contaminação que estes resíduos podem

representar, caso não recebam destino adequado. Pelo menos um dos HPAs previstos na NBR 10.004 da ABNT (benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, criseno ou fluoranteno) foi identificado em todos os resíduos estudados, sendo que benzo[a]pireno – um dos HPAs sobre os quais se tem mais informações a respeito de suas propriedades carcinogênicas – foi identificado em todas as amostras estudadas.

Dessa forma, um controle mais rigoroso e maiores opções de destino final também para os resíduos perigosos no Estado do Rio de Janeiro devem ser observados, a fim de diminuir os riscos de que resíduos contendo HPAs acabem sendo despejados em aterros controlados e vazadouros de lixo.

3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas causados pelos resíduos têm acompanhado todo o processo de desenvolvimento da humanidade mas, apesar disso, nunca receberam a atenção necessária por parte de todas as esferas envolvidas.

Essa atenção deveria ser dispensada com mais intensidade nos dias atuais, pois cresce a quantidade e variedade de substâncias utilizadas como matérias-primas de produtos presentes no nosso dia-a-dia e nos processos industriais, que estão se transformando em resíduos e sendo despejados em áreas sem infra-estrutura adequada.

Com base nesses fatos, este trabalho procurou focar os resíduos sólidos urbanos e industriais como fontes de substâncias químicas e avaliar a presença de substâncias de interesse toxicológico que, uma vez contidas nos resíduos, podem ser lançadas ao ambiente como consequência da sua destinação inadequada: prática comumente observada em muitas cidades brasileiras.

Um dos artigos desta coletânea foi elaborado com o intuito de avaliar quais substâncias poderiam estar contidas nos resíduos sólidos industriais não-inertes, passíveis de serem depositados em vazadouros e aterros controlados. Os resultados identificaram várias substâncias presentes nessa classe de resíduos que estão sendo depositadas e concentradas nessas áreas, contribuindo para tornar as áreas de disposição verdadeiras fontes de exportação de espécies químicas de interesse para a saúde humana e ambiental.

A análise de HPAs em resíduos industriais, realizada em outro artigo, teve como principal enfoque a verificação da presença desses compostos para se obter uma avaliação preliminar do potencial de contaminação que tais resíduos podem representar, caso não recebam destino adequado.

Finalmente, dois artigos apresentados nesta coletânea enfocaram a análise do chorume através de testes de toxicidade com peixes e determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. O objetivo do teste de toxicidade com peixes foi avaliar a toxicidade aguda de amostras de chorume para os organismos vivos aquáticos, uma vez que este efluente normalmente é despejado em cursos d'água superficiais. No outro artigo sobre o chorume, foram pesquisados vários HPAs de interesse, a fim de que pudesse ser avaliada

a possível transferência desses compostos a partir da contaminação de outros compartimentos ambientais pelo chorume.

A opção pelo estudo do chorume foi baseada no fato de que este efluente representa a complexidade da mistura de todos os resíduos presentes em uma área de disposição. A presença de várias substâncias tóxicas no chorume é bem documentada, já tendo sido descritos vários metais e compostos orgânicos persistentes. O chorume estudado era originário de um aterro controlado (Aterro Controlado do Morro do Céu), cujas características de infra-estrutura não eram suficientes para evitar sua infiltração no solo e seu despejo nos cursos d'água existentes. Este fato potencializa sua ação e implica em exportação dos contaminantes presentes em sua composição e alteração da qualidade dos cursos d'água encontrados na área de disposição e arredores. O Aterro do Morro do Céu serviu apenas como exemplo da situação encontrada em vários aterros controlados localizados no Estado do Rio de Janeiro.

Os resultados encontrados nos estudos do chorume são de importância pois esse efluente carrega em sua composição muitas espécies químicas que poderão estar atingindo, mesmo em pequenas doses, as populações que utilizam fontes de águas superficiais e subterrâneas localizadas nas proximidades das áreas de despejo. Em vários países a preocupação com o monitoramento dessas áreas é constante, exatamente para prevenir os efeitos crônicos da contaminação ocasionada a partir das áreas de disposição de resíduos.

Das muitas substâncias presentes nos resíduos sólidos urbanos e industriais, optou-se neste trabalho pelo estudo de HPAs em amostras de chorume originadas de resíduos sólidos urbanos e amostras de resíduos industriais, uma vez que os mesmos são compostos de grande interesse toxicológico passíveis de formação em áreas de depósito de resíduos (originadas da combustão espontânea ou proposital dos resíduos, normalmente observada nas áreas de disposição), ou podem ser advindos de resíduos domésticos perigosos ou resíduos industriais.

Dessa forma, procurou-se demonstrar como as substâncias químicas chegam até as áreas de disposição de resíduos (estão presentes na composição de resíduos industriais e urbanos ou podem ser formadas como subprodutos) e podem ser exportadas – principalmente através do chorume – para outros meios (sendo o meio aquático um dos mais afetados) por causa da infra-estrutura inadequada das áreas de disposição. Assim sendo, estas áreas constituem-se

em focos de contaminação para o ambiente e para a saúde humana, comprometendo a qualidade ambiental e o equilíbrio dos ecossistemas atingidos.

Todos os estudos descritos acima foram elaborados com o propósito de exemplificar a evidência da toxicidade de resíduos urbanos e industriais passíveis de serem depositados em áreas de disposição nem sempre possuidoras de infraestrutura e operação adequadas, como os vários exemplos que existem no Estado do Rio de Janeiro.

Outros estudos envolvendo análises químicas e teste de toxicidade com amostras de chorume, bem como testes de toxicidade com amostras de resíduos não-inertes e análise da contaminação do solo e águas de outras áreas de disposição de resíduos situadas no Estado do Rio de Janeiro serão executados para completar a série de estudos que começaram a ser elaborados a partir deste tema.

A intenção na escolha deste tema foi de contribuir para que maior atenção seja dispensada à questão da disposição final dos resíduos sólidos: desde a escolha do local de instalação até o monitoramento dessas áreas, durante e após o período de operação. Essa atenção hoje em dia é bastante precária e recebe pouca importância dos órgãos competentes. Além desse alerta para as áreas já instaladas, há também a esperança de que, com mais informações a respeito dos riscos à saúde e ao ambiente que essas áreas podem ocasionar, as futuras áreas de disposição sejam instaladas em locais menos impróprios e com a infraestrutura exigida.

Neste trabalho foi descrito que tanto resíduos conhecidamente perigosos como resíduos considerados não-inertes (como o próprio resíduo sólido urbano) possuem em sua composição substâncias tóxicas que estão sendo concentradas nestas áreas e liberadas para outros compartimentos ambientais. O chorume, como mostra toda a literatura disponível, é o meio mais importante de transferência das espécies químicas depositadas ou geradas nas áreas de disposição e teria que ser monitorado de forma bastante rigorosa. A disposição de resíduos sólidos industriais em vazadouros e aterros controlados deveria ser altamente coibida e sua fiscalização intensificada; a construção e o monitoramento de áreas de disposição de resíduos dotadas de infraestrutura capaz de minimizar os impactos negativos dessa atividade deveriam ser atividades prioritárias e programas de separação na fonte de resíduos domésticos perigosos precisariam ser incentivados. Essas iniciativas, caso

realmente aplicadas, são exemplos do que pode ser feito para a diminuição da quantidade de espécies químicas nas áreas de disposição e para a melhoria do controle dessas áreas, reduzindo os efeitos deletérios atuais e futuros para o ambiente e para a saúde humana.

Despejar os resíduos sobre o solo, sem maiores cuidados, era uma prática comum em tempos remotos, mas que até hoje pode ser observada. Infelizmente os responsáveis pelo destino dos resíduos nas cidades continuam compactuando com essa prática arcaica. Felizmente alguns segmentos da sociedade já se incomodam com tamanho descaso.

Chegamos a um ponto, entretanto, que áreas disponíveis e próximas aos centros de geração dos resíduos estão cada vez mais escassas e as cidades crescem em direção às periferias, resultando em concentrações populacionais cada vez mais numerosas. A consequência desse fato é que a população está cada vez mais próxima das áreas de disposição – seja por opção, tirando seu sustento de atividades como a catação de materiais recicláveis, seja por falta de opção, por serem terrenos menos valorizados – e, por conseguinte, mais exposta aos problemas originados por essas áreas.

Além da expansão demográfica, ecossistemas que deveriam estar sendo preservados como patrimônio para as gerações futuras e garantia de manutenção do equilíbrio ambiental – como florestas, manguezais, baías, lagoas, etc. – estão sendo afetados por toneladas de resíduos produzidos pela sociedade e despejados em locais cujos habitantes não têm como reclamar.

Dessa forma, não adianta mais fingir que o problema não existe ou que os resíduos simplesmente desaparecerão um dia, como num passe de mágica. O uso das áreas hoje utilizadas para disposição de resíduos estará comprometido e essas áreas, caso não sejam bem monitoradas, poderão se tornar focos de contaminação durante muitos anos.

A disposição final de resíduos no solo precisa ser tratada com responsabilidade e seriedade. A escolha da área e a implantação de uma infraestrutura prévia são tão importantes quanto a manutenção da operação adequada, com maquinário e mão-de-obra suficientes. Se existe dificuldade para o poder público em impedir o surgimento de vazadouros clandestinos – que são um grande risco para o ambiente e para a saúde, pelo desconhecimento da origem dos resíduos depositados nesses locais – que pelo menos as áreas de

disposição oficiais, cujos responsáveis podem ser identificados, tenham melhores investimentos e condições de operação.

Mais informação sobre os problemas ocasionados pelas áreas de disposição de resíduos, cuja operação é inadequada, talvez seja um dos instrumentos de mudança de atitudes em uma sociedade onde o descaso com o destino dos resíduos produzidos por cada cidadão é evidente (o importante é que o lixeiro tire o lixo produzido em casa e o leve para bem longe das nossas vistas). Entretanto, tudo que consumimos e jogamos no lixo é retirado pelos caminhões coletores e despejado em uma área comum, que todos nós ajudamos a formar e crescer. Essa área, onde todos os restos imprestáveis da sociedade se concentram, existe de fato, apesar de seu aspecto muitas vezes surreal e, com grandes chances, estará afetando e causando danos para alguma população e ecossistema.

Muito ainda precisa ser feito. O primeiro passo, entretanto, é a conscientização da responsabilidade de cada um (na verdade, todos nós temos um pouco de responsabilidade), e o interesse e participação de todos os segmentos envolvidos na mudança da situação atual.

Talvez demore um pouco para que estas informações sejam consideradas, mas pelo menos não estaremos negligenciando a importância de substâncias efetivamente presentes nos resíduos (sabemos muito bem o que consumimos) e nem sendo hipócritas em tratar todos os tipos de resíduos como adubo. Afinal de contas, nem todas as substâncias contidas nos resíduos podem ser consideradas inofensivos fertilizantes para o solo e não é porque moramos em um país com dimensões continentais que temos o direito de comprometer as áreas que serão herdadas pelas gerações futuras...

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- . ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987a. *Lixiviação de Resíduos – Procedimento – NBR 10.005*. Rio de Janeiro: ABNT.
- . ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987b. *Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10.004*. Rio de Janeiro: ABNT.
- . ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 1987c. *Solubilização de Resíduos – Procedimento – NBR 10006*. Rio de Janeiro: ABNT.
- . ACURIO, G.; ROSSIN, A.; TEIXEIRA, P.F. & ZEPEDA, F., 1997. *Diagnóstico de la Situación del Manejo de Resíduos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe*. Washington D.C.: BIRD/OPAS.
- . ANÔNIMO, 1991. Um problema chamado resíduo sólido. *Proteção*, 13:16-23.
- . ANÔNIMO, 1998. Passivo ambiental: Um assunto em destaque. *Meio Ambiente Industrial*, Nº 13, ago/set. 1998, págs. 59-62
- . ASSMUTH, T.W. & STRANDBERG, T., 1993. Ground water contamination at finnish landfills. *Water, Air & Soil Pollution*, 69:179-199.
- . ATSDR (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY), 1995. *Evaluación de Riesgos en Salud por la Exposición a Resíduos Peligrosos*. Metepec: ATSDR (tradução).
- . ATWATER, J. W., 1983. Experiments using *Daphnia* to measure landfill leachate toxicity. *Water Research*, 17:1855-1861.
- . BAKER, D.B.; GREENLAND, S.; MENDLEIN, J. & HARMON, P., 1988. A health study of two communities near the stringfellow waste disposal site. *Archives of Environmental Health*, 43:325-334.
- . BERNARD, C.; GUIDO, P.; COLIN, J. & LE DÛ-DELEPIERRE, A., 1996. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates: 1. Determination of leachate toxicity with a battery of acute tests. *Chemosphere*, 33:2303-2320.
- . BERNARD, C.; COLIN, J. & LE DÛ-DELEPIERRE, A., 1997. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates: 2. Comparison of physico-chemical characteristics of landfill leachates with their toxicity determined with a battery of tests. *Chemosphere*, 33:2303-2320.
- . BUFFER, P.A.; CRANE, M. & KEY, M. M., 1985. Possibilities of detecting health effects by studies of population exposed to chemicals from waste disposal sites. *Environmental Health Perspectives*, 62:423-456.

- . CAMERON, R.D. & KOCH, F.A., 1980. Toxicity of landfill leachates. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 52:760-769.
- . CHANEY, R.L., 1983. Food chain pathways for toxic metals and toxic organics in wastes. In: *Environment and Solid Wastes – Characterization, Treatment, and Disposal* (C.W. Francis & S.I. Auerbach, eds.), pp.179-208, USA: Butterworths Publishers.
- . CHILTON, J. & CHILTON, K., 1992. A Critique of risk modeling and risk assessment of municipal landfills based on U.S. Environmental Protection Agency techniques. *Waste Management & Research*, 10:505-516.
- . CHEUNG, K. C.; CHU, L.M. & WONG, M.H., 1993. Toxic effect of landfill leachate on microalgae. *Water, Air & Soil Pollution*, 69:337-349.
- . CHU, L.M.; CHEUNG, K.C. & WONG, M.H., 1994. Variations in the chemical properties of landfill leachate. *Environmental Management*, 18:105-117.
- . COMLURB (COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA), 1993. *Projeto de Recuperação do Aterro Metropolitano de Gramacho*. Rio de Janeiro: COMLURB.
- . COMLURB (COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA), 2002. <<http://www.rio.rj.gov.br/comlurb>>.
- . COYA, B.; MARAÑÓN, E. & SASTRE, H., 2000. Ecotoxicity assessment of slag generated in the process of recycling lead from waste batteries. *Resources Conservation & Recycling*, 29:291-300.
- . D'AVIGNON, A., 1995. *Normas Ambientais ISO 14.000: Como Podem Influenciar sua Empresa*. Rio de Janeiro: CNI.
- . DEIPSER, A. & STEGMANN; R., 1994. The origin and fate of volatile trace components in municipal solid waste landfills. *Waste Management & Research*, 12:129-139.
- . EGREJA FILHO, F.B.; REIS, E.L.; JORDÃO, C.P. & PEREIRA NETO, J.T., 1999. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano domiciliar. *Química Nova*, 22:324-328.
- . EMBERTON, J.R. & PARKER, A., 1987. The problems associated with building on landfill sites. *Waste Management & Research*, 5:473-482.
- . ENSERINK, E.L.; MAAS-DIEPEVEEN, J.L. & VAN LEEUWEN, C.J., 1991. Combined effects of metals: An ecotoxicological evaluation. *Water Research*, 25:679-687.

- . EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 1991. *Seminar Publication: Site Characterization for Subsurface Remediation*. Washington D.C: EPA.
- . EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 1995. *Ground-Water and Leachate Treatment Systems*. Washington D.C: EPA.
- . FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 1985. *Diretriz de Destinação de Resíduos Industriais – DZ 1311 R-3*. Rio de Janeiro: FEEMA.
- . FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 1986. *Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos – NT 202 R-10*. Rio de Janeiro: FEEMA.
- . FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 1990. *Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Líquidos Industriais – NT 213 R-4*. Rio de Janeiro: FEEMA.
- . FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 1992. *Legislação Ambiental Básica*. Rio de Janeiro: FEEMA.
- . FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE), 2000. *Relatório Semestral de Atividades do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara – Gestão de Resíduos – setembro/2000*. Rio de Janeiro: FEEMA (mimeo.).
- . FIRJAN (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO) & FGV (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS), 2002. Diagnóstico da situação da gestão ambiental nas indústrias do Estado do Rio de Janeiro. *Súmula Ambiental – Edição Especial*. Junho de 2002. Rio de Janeiro: Gerência de Meio Ambiente da FIRJAN.
- . GOLDBERG, M.S.; AL-HOMSI, N.; GOULET, L. & RIBERDY, H., 1995. Incidence of cancer among persons living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Québec. *Archives of Environmental Health*, 50:416-424.
- . GOLDBERG, M.S.; SIEMIATYCK, J.; DEWAR, R.; DÉSY, M. & RIBERDY, H., 1999. Risks of developing cancer relative to living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Québec. *Archives of Environmental Health*, 54:291-296.
- . HARDING, A.K. & GREER, M.L., 1993. The health impact of hazardous waste sites on minority communities: Implications for public health and environmental health professionals. *Journal of Environmental Health*, 55:6-10.

- . HAUSER, B., SCHRADER, G. & BAHADIR, M., 1997. Comparison of acute toxicity and genotoxic concentrations of single compounds and waste elutriates using the Microtox/Mutatox test system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 38:227-231.
- . IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA), 2002. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Rio de Janeiro: IBGE.
- . JOHNSON, B. L. & DE ROSA, C.T., 1997. The toxicologic hazard of superfund hazardous waste sites. *Reviews on Environmental Health*, 12:235-251.
- . KARNCHANAWONG, S.; KOOTATEP, S. & IKEGUCHI, T., 1993. Monitoring and evaluation of shallow well water quality near a waste disposal site. *Environment International*, 19:579-587.
- . KJELDSEN, P.; BJERG, P.L.; RÜGGE, K.; CHRISTENSEN, T.H. & PEDERSEN, J.K., 1998. Characterization of an old municipal landfill (Grindsted, Denmark) as a groundwater pollution source: Landfill hydrology and leachate migration. *Waste Management & Research*, 16:14-22.
- . KONING, H.; CANTANHEDE, A. & BENAVIDES., L., 1994. *Hazardous Waste and Health in Latin America and the Caribbean*. Washington D.C.: OPAS/ CEPIS.
- . KROMANN, A. & CHRISTENSEN, T.H., 1998. Degradability of organic chemicals in a landfill environment studied by *in situ* and laboratory leachate reactors. *Waste Management & Research*, 16:437-445.
- . LEITE, F.S.S.; ROCHA, L.L. da & VENÂNCIO, A.M., 1990. Impacto na saúde dos catadores do lixão de Terra Dura e estudo gravimétrico. *Bio*, 2:48-51.
- . MATTHEWS, J.E. & HASTINGS, L., 1987. Evaluation of toxicity test procedures for screening treatability potential of waste in soil. *Toxicity Assessment: An International Quarterly*, 02:265-281.
- . McEVOY, J.W. & ROSSIGNOL, A.M., 1993. Household hazardous waste disposal in Benton County, Oregon. *Journal of Environmental Health*, 56:11-15.
- . MILLER, W.E.; PETERSON, S.A.; GREENE, J.C. & CALLAHAN, C.A., 1985. Comparative toxicology of laboratory organisms for assessing hazardous waste sites. *Journal of Environmental Quality*, 14:569-574.
- . ÖMAN, C. & HYNNING, P.A., 1993. Identification of organic compounds in municipal landfill leachates. *Environmental Pollution*, 80:265-271.

- . OMS (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE), 2000. *Métodos de Evaluación de Riesgos por la Exposición a Sustancias Peligrosas Liberadas por Rellenos Sanitarios*. Lodz: OMS (tradução).
- . OZONOFF, D.; COLTEN, M.E. & CUPPLES, A. 1987. Health problems reported by residents of a neighborhood contaminated by a hazardous waste facility. *American Journal of Industrial Medicine*, 11:581-597.
- . PEREIRA NETO, J.T. & STENTIFORD, E.I., 1992. Aspectos epidemiológicos na compostagem. *Bio (Encarte)*, 1:1-6.
- . PHILIPS, P.S.; FREESTONE, N.P. & HALL, R.S., 1994. Dealing with leachate. *Chemistry in Britain*, 30:828-830.
- . RAY, C. & CHAN, P.C., 1986. Heavy metals in landfill leachate. *International Journal of Environmental Studies*, 27:225-237.
- . REBOUÇAS, A. da C., 1992. Impactos ambientais nas águas subterrâneas. In: *Anais do 7º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, pp.11-17, Belo Horizonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.
- . ROCCA, A.C.C.; IACOVONE, A.M. & BARROTTI, A.J., 1993. *Resíduos Sólidos Industriais*. São Paulo: CETESB.
- . ROUQUAYROL, M.Z., 1986. *Epidemiologia & Saúde*. Rio de Janeiro: MEDSI.
- . ROUSSEAU, P.; CASTILHOS JR., A.B. de; VERMANDE, P. & NAVARRO, A., 1989. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. *Bio*, 1:57-60.
- . RUOKOJÄRVI, P.; RUUSKANEN, J.; ETTALA, M.; RAHKONEN, P. & TARHANEN, J., 1995. Formation of polyaromatic hydrocarbons and polychlorinated organic compounds in municipal waste landfill fires. *Chemosphere*, 31:3899-3908.
- . SAWHNEY, B.L. & KOZLOSKI, R.P., 1984. Organic pollutants in leachates from landfill sites. *Journal of Environmental Quality*, 13:349-352.
- . SCARPINO, P.V.; DONNELLY, J.A. & BRUNNER, D., s.d. *Pathogen Content of Landfill Leachate*. Ohio: EPA (mimeo.).
- . SCHALCH, V., 1984. *Produção e Características do Chorume em Processo de Decomposição de Lixo Urbano*. Dissertação de Mestrado, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- . SCHRAB, G.E.; BROWN, K.W. & DONNELLY, K.C., 1993. Acute and genetic toxicity of municipal landfill leachate. *Water, Air and Soil Pollution*, 69:99-112.

- . SCUDDER, K. & BLEHM, K.D., 1991. Household hazardous waste: Assessing public attitudes and awareness. *Journal of Environmental Health*, 53:18-20.
- . SISINNO, C.L.S., 1997. *Estudo do Impacto sobre a Saúde Ambiental e Humana em Depósitos de Lixo da Região do Grande Rio*. Relatório de Pesquisa Apresentado à Comissão do Convênio FIOCRUZ/FAPERJ. Rio de Janeiro.
- . SISINNO, C.L.S., 2000. Resíduos Sólidos e Saúde Pública. In: *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: Uma Visão Multidisciplinar* (C.S. Sisinno & R.M. Oliveira, orgs.), pp.41-57, Rio de Janeiro: Editora Fiocruz.
- . SISINNO, C.L.S. & OLIVEIRA, R.M., 2000. Impacto Ambiental dos Grandes Depósitos de Resíduos Urbanos e Industriais. In: *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: Uma Visão Multidisciplinar* (C.S. Sisinno & R.M. Oliveira, orgs.), pp.59-78, Rio de Janeiro: Editora Fiocruz.
- . TURNBERG, W.L., 1991. Infectious Waste Disposal – An examination of current practice and risks posed. *Journal of Environmental Health*, 53:21-25.
- . WARREN-HICKS, W.; PARKHURST, B.R. & BAKER JR., S.S., 1989. *Ecological Assessment of Hazardous Waste Sites: A Field and Laboratory Reference*. Corvallis: EPA.
- . WELANDER, U. & HENRYSSON, T., 1998. Degradation of organic compounds in a municipal landfill leachate treated in a suspended-carrier biofilm process. *Water Environment Research*, 70:1236-1241.
- . WOLF, A.M.A.; KETTLER, L.E.; LEAHY, J.F. & SPITZ, A. H., 1997. Surveying household hazardous waste generation and collection: Trends in Arizona. *Journal of Environmental Health*, 59:06-11.

5 – ANEXOS

Anexo 1 – Fotos do Aterro Metropolitano de Gramacho



Foto 1 – Aterro Metropolitano de Gramacho –
Vista Aérea



Foto 2 – Resíduos Depositados

Anexo 2 – Fotos do Aterro Metropolitano de Gramacho



Foto 3 – Vala com Chorume



Foto 4 – Replântio do Manguezal

Anexo 3 – Fotos do Aterro Controlado do Morro do Céu



**Foto 5 – Aterro Controlado do Morro do Céu –
Vista Geral**



Foto 6 – Amostra de Chorume

Anexo 4 – Fotos do Aterro Controlado do Morro do Céu



Foto 7 – Córrego Mata-Paca Contaminado com Chorume



Foto 8 – População Vizinha

Anexo 5 – Carta de aceite do artigo Disposição em Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Industriais Não-Inertes: Avaliação dos Componentes Tóxicos e Implicações para o Ambiente e para a Saúde Humana.

Anexo 6 – Comprovante de envio do artigo Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Resíduos Sólidos Industriais: Uma Avaliação Preliminar do Risco Potencial de Contaminação Ambiental e Humana em Áreas de Disposição de Resíduos.