

# **Observatório em Ciência Tecnologia e Inovação em Saúde**

## **Relatório Técnico do Grupo de Trabalho de Redes**

Análise das redes de colaboração científica da  
Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) na pesquisa sobre  
Tuberculose

Rio de Janeiro  
Setembro de 2016

## **Relatório Técnico do GT de Redes:**

### **Análise das redes de colaboração científica da Fiocruz na pesquisa sobre Tuberculose**

#### **Coordenação geral**

Wagner de Jesus Martins - Colaboratório de Ciência Tecnologia e Sociedade, Diretoria Regional de Brasília (DIREB), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)

#### **Coordenação do estudo**

Bruna de Paula Fonseca e Fonseca - Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde (CDTS), Fiocruz

#### **Equipe**

Kizi de Souza Araújo – Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnologia em Saúde (ICICT), Fiocruz

Marcus Vinícius Pereira da Silva – Casa de Oswaldo Cruz (COC), Fiocruz

Ricardo Barros Sampaio - Colaboratório de Ciência Tecnologia e Sociedade, DIREB, Fiocruz

#### **Pesquisador consultor**

Milton Ozório Moraes – Coordenação Geral de Pós-Graduação, Vice Presidência de Ensino Informação e Comunicação (VPEIC)

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Incidência de novos casos de tuberculose estimados no ano de 2014.....	2
FIGURA 2: Esquema de análise das redes de pesquisa em tuberculose. ....	8
FIGURA 3: Publicação de artigos científicos em tuberculose: mundo, Brasil e Fiocruz .....	12
FIGURA 4: Evolução da rede institucional de pesquisa em tuberculose envolvendo instituições brasileiras. ....	13
FIGURA 5: Estrutura de comunidades da rede institucional de pesquisa em tuberculose envolvendo instituições brasileiras (2009-2014).....	17
FIGURA 6: Rede de cientistas afiliados a instituições brasileiras que realizam pesquisa sobre tuberculose e seus coautores (2005-2014). ....	19
FIGURA 7: Rede intrainstitucional de pesquisa em tuberculose da Fiocruz (2005-2014). .....	22
FIGURA 8: Relações entre as comunidades da rede intrainstitucional de pesquisa em tuberculose da Fiocruz (2005-2014).....	24

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Definições e significados dos indicadores de rede calculados neste estudo.	9
TABELA 2: Evolução dos indicadores de coesão da rede de pesquisa em tuberculose envolvendo instituições brasileiras (2005 – 2014). ....	14
TABELA 3: Instituições brasileiras mais centrais na rede de pesquisa em tuberculose segundo diferentes medidas de centralidade .....	15
TABELA 4: Pesquisadores afiliados a instituições brasileiras que são influentes na rede de pesquisa em tuberculose (2005 a 2014). ....	20
TABELA 5: Descrição das comunidades presentes na rede interna de colaboração em pesquisa sobre tuberculose da Fiocruz .....	25

## SUMÁRIO

1. A TUBERCULOSE.....	1
1.1 SITUAÇÃO EPIDEMIOLÓGICA.....	1
1.2 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA PARA O CONTROLE.....	3
1.3 REDES DE COLABORAÇÃO.....	4
1.4 PAPEL DA FIOCRUZ NA PESQUISA EM TUBERCULOSE .....	5
2. OBJETIVO DA ANÁLISE NO CONTEXTO DO OBSERVATÓRIO .....	6
3. MÉTODO .....	6
3.1 COLETA DE DADOS .....	6
3.2 LIMPEZA E PADRONIZAÇÃO .....	6
3.3 VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE.....	7
4. RESULTADOS .....	11
4.1 PRODUÇÃO CIENTÍFICA DA FIOCRUZ.....	11
4.2 REDE BRASILEIRA DE PESQUISA EM TUBERCULOSE .....	12
4.2.1 Colaboração Interinstitucional.....	12
4.2.2 Colaboração Individual.....	18
4.3 REDE FIOCRUZ DE PESQUISA EM TUBERCULOSE .....	21
4.3.1 Colaboração Intrainstitucional.....	21
5. DISCUSSÃO .....	25
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	28
7. LIMITAÇÕES .....	29
8. AGRADECIMENTOS .....	30
9. REFERÊNCIAS .....	30

## 1. A TUBERCULOSE

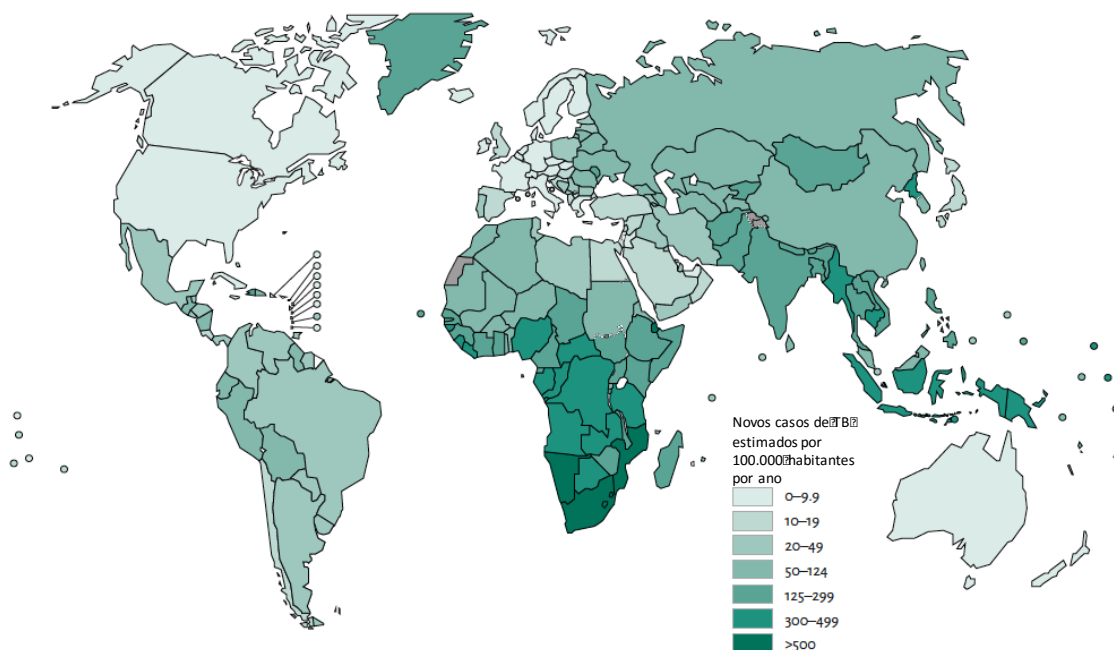
### 1.1 SITUAÇÃO EPIDEMIOLÓGICA

A tuberculose é uma das principais causas de morte por doença infecciosa em todo o mundo (OMS, 2015b). A doença é causada por uma bactéria da espécie *Mycobacterium tuberculosis*, que tipicamente afeta os pulmões (tuberculose pulmonar), mas também pode afetar outros órgãos (tuberculose extrapulmonar). A tuberculose é transmitida primordialmente pelo contato interpessoal, geralmente a partir da inalação de gotículas contendo bactérias expelidas pela tosse, fala ou espirro do indivíduo infectado.

Na ausência de tratamento, as taxas de letalidade por tuberculose são elevadas e cerca de 70% dos pacientes diagnosticados morrem em 10 anos (TIEMERSMA et al, 2011). Em 2014, estimou-se que 9,6 milhões de pessoas adoeceram de tuberculose e 1,5 milhões morreram da doença (OMS, 2015b). Apesar de ser fortemente associada à pobreza, fatores como a urbanização não planejada, o envelhecimento da população mundial e a pandemia da infecção pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV) são apontados como fatores que contribuíram para o aumento do número de casos da doença, mesmo nos países desenvolvidos onde a mesma era dita sob controle desde a década de 90 (KRITSKI, 2007).

Um grupo de 22 países é responsável por 83% de todos os casos no mundo, a maioria concentrados na Ásia (58%) e África (28%). Países como a Índia, a Indonésia e a China foram responsáveis por 43% do total de casos novos registrados em 2014 (OMS, 2015). A taxa de incidência de tuberculose varia em cada país, com cerca de 500 ou mais casos a cada 100.000 pessoas na África do Sul e Moçambique, e menos de 10 por 100.000 habitantes em alguns países da Europa Ocidental, Estados Unidos, Austrália e Nova Zelândia (Figura 1). Em 2014, a taxa de incidência em países da América Latina variou entre 200, no Haiti, e 1, em Porto Rico/100.000 habitantes (OMS, 2015).

FIGURA 1: Incidência de novos casos de tuberculose estimados no ano de 2014



Fonte: OMS, 2015b.

No Brasil, o número de casos de tuberculose caiu nas duas últimas décadas, passando de 51,4 casos por 100.000 pessoas-ano, em 1990, para 38,2 casos por 100.000 pessoas-ano, em 2007 (redução de 26%). A mortalidade também caiu nesse período, de 3,6 mortes por 100.000 pessoas-ano para 1,4 mortes por 100.000 pessoas-ano (redução de 32%) (BARRETO et al., 2011). Entretanto, há grandes diferenças regionais na incidência e mortalidade da tuberculose, com maiores níveis em estados com mais prevalência de infecção pelo HIV, como o Rio de Janeiro, e em estados com pouco acesso aos serviços de saúde, como aqueles da região amazônica. Diferenças socioeconômicas consideráveis na incidência e mortalidade também existem nas áreas urbanas (BARRETO et al., 2011).

Apesar de as taxas de mortalidade e de incidência estarem caindo na maioria dos países, a tuberculose continua a ser uma doença com poucas opções de tratamento. A maior parte das drogas em uso acarreta um grande número de efeitos colaterais para os pacientes, o que gera uma dificuldade à adesão ao tratamento. As taxas de tuberculose resistente às drogas usuais têm aumentado e os indivíduos acometidos por essas cepas precisam usar medicamentos de segunda geração, que são mais tóxicos e menos eficazes (OMS, 2015b).

A tuberculose faz parte do grupo das doenças negligenciadas, classificadas como doenças que afetam principalmente populações de países de baixa renda e são importantes causas de mortalidade, incapacidade crônica e pobreza. Estudos recentes mostram que, entre 2000 e 2011, dos 850 novos produtos farmacêuticos registrados apenas 37 (4%) foram indicados para doenças negligenciadas, incluindo 29 produtos com uma nova indicação ou formulação e oito vacinas ou produtos biológicos. Nenhum desses 37 produtos foi aplicado à tuberculose (PEDRIQUE et al., 2013).

Este panorama evidencia a necessidade de acelerar os esforços para controlar a transmissão reduzindo a morbi-mortalidade a níveis cada vez menores, no Brasil e no mundo. Os principais desafios destacados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) a serem superados incluem: melhorar a disponibilidade e acesso ao tratamento; desenvolver novos fármacos de ação mais rápida e eficaz para todas as formas de tuberculose; desenvolver novos testes diagnósticos com capacidade para identificar resistência a medicamentos; e desenvolver uma vacina eficaz (OMS, 2014).

## 1.2 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA PARA O CONTROLE

A estratégia pós 2015 para enfrentamento da tuberculose aprovada na Assembleia Mundial de Saúde tem como meta a redução de 95% das mortes e 90% da incidência até 2035. Para se atingir esse objetivo, uma das linhas de atuação definidas foi a **intensificação de pesquisa e inovação**. Isso abrange o desenvolvimento de novas tecnologias para diagnóstico mais simples e rápidas no local de atendimento (*point-of-care*), regimes de tratamento mais curtos, e, eventualmente, uma vacina eficaz. Tudo isso requer esforços de pesquisa em um contínuo que liga a pesquisa básica, para a criação de novos conhecimentos e para o desenvolvimento de novas ferramentas, à pesquisa operacional e de implementação, permitindo abordagens estratégicas inovadoras que possam ser adaptadas às necessidades específicas de cada país (OMS, 2015a). O estabelecimento da atividade de pesquisa como importante pilar do controle e combate à tuberculose, evidencia seu papel estratégico nesse contexto.

Em novembro de 2014, a OMS reconheceu o Brasil como um dos países que já possui uma sólida capacidade de pesquisa em tuberculose, podendo atingir estes objetivos rapidamente. Em 2015, após uma sequência de discussões acerca da Agenda Nacional de Pesquisa em Tuberculose, coordenadas pela Rede Brasileira de Pesquisas em Tuberculose

(Rede TB)<sup>1</sup> e pelo Ministério da Saúde, incluindo a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), foram estabelecidas novas prioridades e recomendações para corrigir lacunas em diferentes plataformas de pesquisa (KRITSKI et al., 2016). Atualmente, estão em curso discussões sobre a inclusão da pesquisa no plano de atividades do Programa Nacional de Controle da Tuberculose e na elaboração do Plano Estratégico Nacional.

### 1.3 REDES DE COLABORAÇÃO

O estabelecimento de parcerias e redes de pesquisa em tuberculose em âmbito nacional e internacional é fundamental para que a pesquisa científica amplie resultados e atinja objetivos de maneira eficiente e eficaz. A recente disseminação de formas colaborativas de desenvolvimento da pesquisa e o estímulo crescente à formação de redes para tratar de temas estratégicos para o país demonstra a importância deste tipo de organização para o atendimento às demandas sociais (BRASIL, 2012). Contudo, salvo alguns estudos específicos, ainda são poucos os que buscam avaliar a contribuição da análise de redes de colaboração como abordagem estratégica para instituições de ciência e tecnologia (C&T) no Brasil (FONSECA et al., 2016).

Nas redes de coautoria em publicações científicas, a colaboração é caracterizada de tal maneira que os “nós” ou “vértices” representam os autores (pesquisadores) ou suas instituições, e dois ou mais autores são conectados se eles compartilham a autoria de uma publicação (NEWMAN, 2004). Estas redes podem ser visualizadas na forma de grafos, nos quais cada autor representa um nó na rede e cada uma das publicações em coautoria é representada por ligações (ou arestas) entre eles. Em uma perspectiva institucional, a cooperação entre instituições pode ser definida em termos da autoria compartilhada por indivíduos afiliados a organizações diferentes.

Estudos realizados por Carlos Morel e colaboradores em 2005, 2009 e 2012 vêm reforçando a ideia de que a pesquisa e a análise de redes de coautoria em artigos científicos podem complementar os processos e critérios usuais utilizados para a avaliação, seleção e acompanhamento de projetos em várias etapas e estágios de programas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em saúde. A aplicação desse tipo de

---

<sup>1</sup> A Rede TB é uma organização não-governamental sem fins lucrativos ([www.redetb.org](http://www.redetb.org)) que visa melhorar o controle da tuberculose por meio de atividades de pesquisa integradas e ações colaborativas envolvendo pesquisadores, estudantes, profissionais de saúde, indústria, sociedade civil e governo (KRITSKI et al., 2016).



análise é particularmente importante e necessária no campo das doenças negligenciadas por permitir não só a caracterização/visualização dos nós das redes (instituições, países, indivíduos) como a identificação de instituições e autores em pontos críticos ou altamente conectados com grupos nacionais e/ou internacionais.

O estudo de redes de colaboração científica em tuberculose é relativamente recente. Vasconcellos e Morel (2012) apresentaram contribuições importantes para o entendimento da dinâmica dessas interações ao avaliar as redes brasileiras de publicações científicas e patentes em tuberculose. Entre outros resultados, o trabalho demonstra o papel ativo das universidades em iniciativas inovadoras no campo da tuberculose no país, mas uma fraca participação da indústria nos pedidos de patentes. Também foi identificada uma falta de cooperação entre universidades e empresas, o que demonstra a ausência de comunicação entre a academia e a indústria nesta área.

#### 1.4 PAPEL DA FIOCRUZ NA PESQUISA EM TUBERCULOSE

A Fiocruz tem ampla atuação na prevenção, tratamento, diagnóstico e, especialmente, pesquisa em tuberculose. A Fiocruz desenvolve projetos de pesquisa clínica, promoção da saúde, diagnóstico molecular e imunológico, susceptibilidade genética e resistência à doença, genômica funcional e interação patógeno-hospedeiro. Além de integrar a Rede-TB, a Fiocruz iniciou a implementação de uma rede própria para articulação das ações de suas diversas unidades no campo da tuberculose. Essa iniciativa busca fortalecer a cooperação institucional, consolidar a eficiência da pesquisa e seu potencial científico, além de estimular o desenvolvimento de projetos que deem o esperado retorno à sociedade quanto aos atuais desafios da tuberculose, com ênfase nas ações desenvolvidas no âmbito do Sistema Único de Saúde.

Para a Fiocruz, o esforço de compreender a dinâmica institucional de produção e colaboração científica na temática da tuberculose é uma estratégia importante de gestão institucional de pesquisa. Conhecer a dinâmica da rede nacional de colaboração científica em tuberculose e suas características estruturais pode se configurar como uma estratégia para compreender o ambiente externo e o papel da Fiocruz nesse contexto. A análise da rede interna de pesquisa pode identificar áreas-chave e riscos de fragmentação, servindo como subsídio para melhor direcionar os esforços institucionais e para auxiliar na formulação de políticas internas que consolidem a pesquisa em tuberculose na instituição.

## 2. OBJETIVO DA ANÁLISE NO CONTEXTO DO OBSERVATÓRIO

A análise da rede brasileira de pesquisa em tuberculose tem importância estratégica para Fiocruz. No contexto do Observatório, essa análise tem os seguintes objetivos:

- i) Conhecer a evolução da rede institucional de pesquisa em tuberculose e caracterizar o papel da Fiocruz nessa dinâmica;
- ii) Identificar pesquisadores da Fiocruz influentes na rede brasileira de pesquisa em tuberculose;
- iii) Avaliar a cooperação intrainstitucional.

## 3. MÉTODO

### 3.1 COLETA DE DADOS

A análise da rede brasileira de pesquisa em tuberculose foi baseada na coautoria de artigos científicos publicados durante o período 2005-2014 (10 anos). A coleta de dados foi feita na base de dados *Web of Science* (WoS), mantida pela Thomson Reuters. A WoS foi a base de escolha por abranger um grande número de periódicos acadêmicos e por fornecer informações sobre a afiliação e/ou endereços de todos os autores, permitindo a construção de redes institucionais, bem como o acompanhamento do comportamento colaborativo dos pesquisadores da Fiocruz.

As consultas foram direcionadas ao tópico dos artigos, que abrange título, resumo e palavras-chave, e também ao país de interesse (Brasil). Os seguintes termos foram utilizados na busca: (TS=(Tuberculosis or Tuberculoses or “Koch\* Disease” or “Koch's Disease” or Antitubercular or Tuberculostatic) AND CU=(Brasil OR *Brazil*)). Apenas artigos publicados em periódicos (*articles/articles in press*) foram incluídos (n=1.926). A coleta de dados da produção científica mundial em tuberculose foi realizada apenas para fins comparativos.

### 3.2 LIMPEZA E PADRONIZAÇÃO

Foram excluídos da amostra artigos científicos que tratavam de doenças veterinárias; de doenças causadas por micobactérias não relacionadas à tuberculose, tais como hanseníase e úlcera de Buruli; e de outras doenças pulmonares, tais como

coccidioidomicose e histoplasmose (n=233). Foram também excluídas da base de dados três publicações que possuíam 100 ou mais autores. Essa exclusão se deu por entender que em tais artigos a coautoria se deve não à colaboração direta entre autores, mas sim a contribuições independentes, geralmente na forma de dados, com interações intelectuais limitadas (ADAMS, 2012). No total, 1.690 artigos foram analisados.

Após a compilação dos documentos, os nomes dos autores (pesquisadores) e instituições foram padronizados para a correta atribuição de autoria e afiliação institucional. Esse processo de padronização foi feito com o software VantagePoint (Search Technologies Inc.). Os dados padronizados foram formatados em matrizes de adjacência que representavam as relações de coautoria entre pesquisadores e instituições.

### 3.3 VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE

As matrizes foram importadas para o software Gephi (BASTIAN et al., 2009), para a visualização gráfica das redes de instituições e pesquisadores e para o cálculo das métricas e indicadores utilizados na análise.

As redes de pesquisa em tuberculose nas quais os pesquisadores da Fiocruz participavam foram analisadas em três níveis diferentes: i) colaboração interinstitucional, representada pela rede de instituições brasileiras, incluindo seus parceiros internacionais; ii) colaboração individual, representada pela rede de pesquisadores brasileiros, com seus relacionamentos internos e interações externas; e iii) colaboração intrainstitucional, representada pela rede de pesquisadores da Fiocruz e seus relacionamentos internos à instituição (Figura 2).

FIGURA 2: Esquema de análise das redes de pesquisa em tuberculose.



A análise da evolução da conectividade/coesão da rede interinstitucional foi feita em dois períodos de cinco anos (2004-2019 e 2010-2014). Essa abordagem baseia-se na premissa de que ao compartilhar a autoria de um artigo científico, os indivíduos devem estar colaborando há algum tempo para a realização da pesquisa. Durante este período de colaboração, supõe-se que a troca de informações entre os indivíduos acontece mais intensamente (HE & FALLAH, 2009).

Os seguintes indicadores foram utilizados na análise da estrutura das redes institucionais (WASSERMAN & FAUST, 1994): i) número de nós; ii) número de ligações; iii) tamanho do componente gigante; iv) grau médio; v) coeficiente de agrupamento médio; vi) comprimento médio de percurso; vii) conectividade e fragmentação; viii) índice E-I; e ix) estrutura de comunidades.

A análise das instituições e pesquisadores influentes na rede foi feita por meio do cálculo de medidas de centralidade (FREEMAN, 1979): i) centralidade de grau; ii) centralidade de intermediação; iii) centralidade de auto-vetor.

As definições e o significado desses indicadores no contexto deste estudo estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Definições e significados dos indicadores de rede calculados neste estudo.

<b>Métricas (indicadores)</b>	<b>Definição</b>	<b>Significado neste estudo</b>
<b>Tamanho da rede</b>		
Nós	Atores presentes na rede	Quantidade de instituições presentes na rede
Ligações	Relações entre os atores	Quantidade de relações de coautoria entre as instituições presentes na rede
<b>Conectividade/coesão da rede</b>		
Componente gigante	Maior componente (subgrafo) da rede, no qual existem conexões entre todos os nós, mas não há qualquer ligação desses nós com outros, que estão fora do componente. O termo "componente gigante" é usado para o subgrafo com o maior número de nós da rede.	Maior grupo de instituições que estão conectadas por meio de publicações conjuntas. Quanto maior o tamanho do componente gigante, ou a porcentagem de instituições incluída dentro dele, mais interconectada é a rede.
Grau médio	Número médio de conexões diretas que os nós da rede possuem.	É a média de coautores que as instituições presentes na rede possuem dentro do recorte temporal analisado. Quanto maior o grau médio, mais conexões as instituições da rede têm, em média, e mais conectada é a rede.
Coefficiente de agrupamento médio	Mede o quanto os nós da rede estabelecem um agrupamento ( <i>cluster</i> ) perfeito, no qual todos os nós estão conectados entre si.	Quanto maior o coeficiente de agrupamento médio, mais as instituições presentes na rede são conectadas, e, conseqüentemente, mais conectada é a rede.
Comprimento médio de percurso	O menor número de conexões em média que um nó precisa percorrer para chegar a qualquer outro nó da rede.	Quanto menor o comprimento médio de percurso, mais rapidamente uma instituição consegue se conectar a outra e mais direto é o fluxo informação dentro da rede, tornando-a mais eficiente.
Conectividade e fragmentação	Medidas complementares que indicam a proporção de pares de nós que não estão conectados (fragmentação) e de pares de nós que estão conectados (conectividade).	Quanto menor o valor da fragmentação, maior é a conectividade e a integração entre as instituições da rede.
Índice E-I	Calcula o nível de relações internas a um grupo (homofilia) por meio da medição do número de ligações com membros do mesmo grupo (internas) vs	Neste estudo, os grupos de instituições foram definidos de acordo com sua localização geográfica: Brasil ou Internacional. Quanto menor o índice E-I da rede, mais endógenas são as

<b>Métricas (indicadores)</b>	<b>Definição</b>	<b>Significado neste estudo</b>
	ligações com membros de outro grupo (externas). O valor do índice varia de -1 (todas as ligações são internas ao grupo) a 1 (todas as ligações são externas ao grupo).	colaborações. Quanto maior o índice E-I de uma instituição brasileira, mais internacionalizado é seu padrão de cooperação.
Estrutura de comunidades	Identifica uma comunidade dentro da rede quando o número de conexões internas entre um grupo de nós for maior que o número de conexões esperadas entre eles e o restante da rede.	Pertencer a uma comunidade indica que o grupo de instituições contido dentro dela se relaciona mais frequentemente no próprio grupo do que com instituições externas ao grupo.
<b>Centralidade/importância dos atores na rede</b>		
Centralidade de grau	Número de conexões diretas que um nó possui.	A centralidade de grau é uma medida da influência, acesso ou controle direto que uma instituição ou pesquisador tem em relação a seus contatos. Quanto maior o valor de centralidade de grau maior o contato direto com muitos membros da rede, tornando a instituição ou pesquisador um ponto focal de comunicação na rede.
Centralidade de intermediação	Mede a frequência com que um nó está situado no caminho mais curto entre outros pares de nós, conectando-os.	Mede o quanto uma instituição ou pesquisador intermedia a conexão entre outros grupos, funcionando como “pontes”. Instituições ou pesquisadores com alto valor de centralidade de intermediação estão no caminho mais curto entre outros nós com muita frequência e são considerados altamente centrais porque controlam o fluxo de informações na rede, conectando diversos grupos.
Centralidade de auto-vetor	Refere-se à quantidade de ligações diretas que um nó tem e também à qualidade das ligações diretas desse nó.	Centralidade de auto-vetor indica, não só que uma instituição é altamente conectada, mas também que ela está ligada a outras instituições altamente conectadas na rede. Conexões com instituições bem conectadas são consideradas mais importantes que conexões com instituições fracamente conectadas.

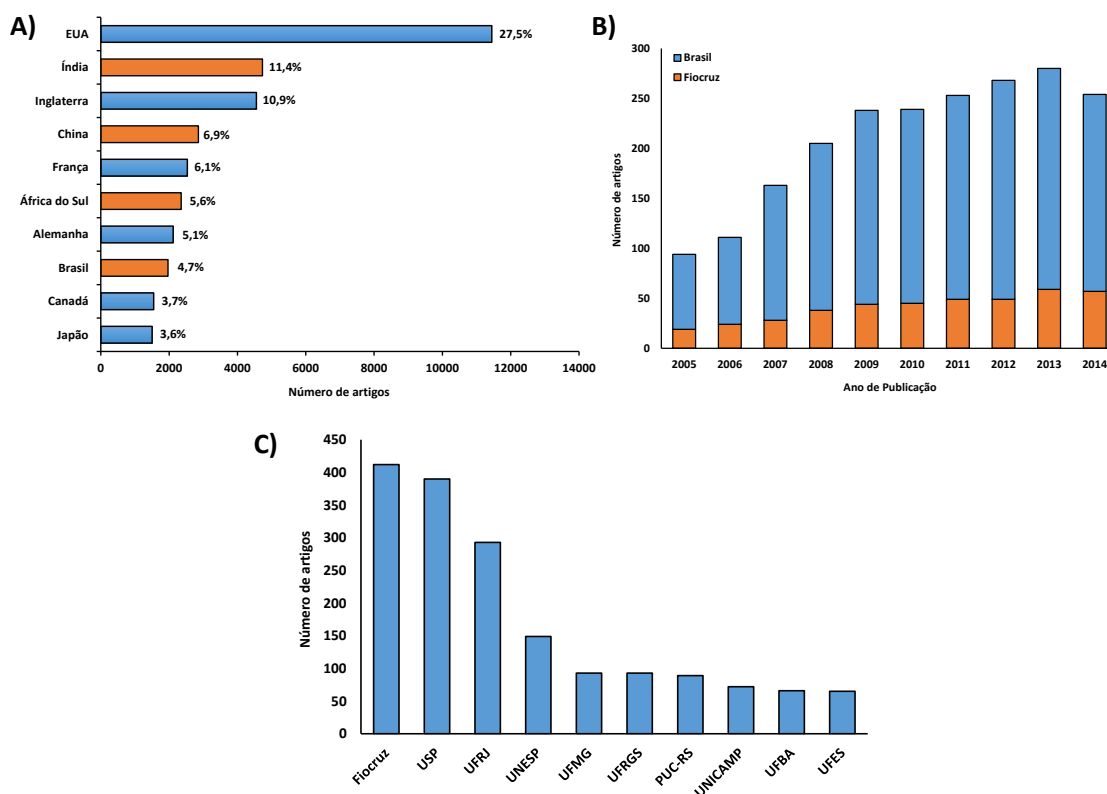
## 4. RESULTADOS

### 4.1 PRODUÇÃO CIENTÍFICA DA FIOCRUZ

A coleta de dados da produção científica mundial em tuberculose recuperou 41.107 artigos. As instituições brasileiras responderam por cerca de 5% da produção científica mundial, colocando o país em quarto lugar quando comparado a outros com alta carga da doença (Figura 3A). A Fiocruz e o Brasil tiveram a mesma tendência geral de publicação, com um crescimento até 2009, seguido de uma produção relativamente estável (Figura 3B). Entre um total de 1.112 instituições identificadas, a Fiocruz foi mais produtiva do país e responsável por aproximadamente 24% das publicações em tuberculose durante o período avaliado (Figura 3C).

Embora a Fiocruz tenha unidades em diferentes estados do país, a unidade localizada no Rio de Janeiro foi responsável por 79% de todas as publicações em tuberculose da Fiocruz (n = 326) no período estudado, acima da segunda instituição mais produtiva, a Universidade de São Paulo (n = 246). Outras unidades da Fiocruz envolvidas na pesquisa em tuberculose estão localizadas nos estados do Amazonas (2,9% do total de publicações da Fiocruz), Bahia (5,3%), Pernambuco (8,2%), Mato Grosso (0,2%), Minas Gerais (4,1%) e Paraná (0,2%). As unidades da Fiocruz que mais colaboraram entre si foram as unidades do Rio de Janeiro e de Pernambuco, com cinco artigos em coautoria no período avaliado. Em geral, há pouca colaboração entre as unidades localizadas em diferentes regiões.

FIGURA 3: Publicação de artigos científicos em tuberculose: mundo, Brasil e Fiocruz



Legenda: A) Contribuição proporcional (%) dos dez países que mais publicaram em tuberculose no período 2005 a 2014. Barras laranjas indicam países com alta carga de doença. B) Número de artigos em tuberculose publicado pela Fiocruz (2005-2014). C) Número de artigos publicados pelas dez instituições brasileiras mais produtivas em pesquisa sobre tuberculose. Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz; USP: Universidade de São Paulo; UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro; UNESP: Universidade do Estado de São Paulo; UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais; UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; PUC-RS: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas; UFBA: Universidade Federal da Bahia; UFES: Universidade Federal do Espírito Santo.

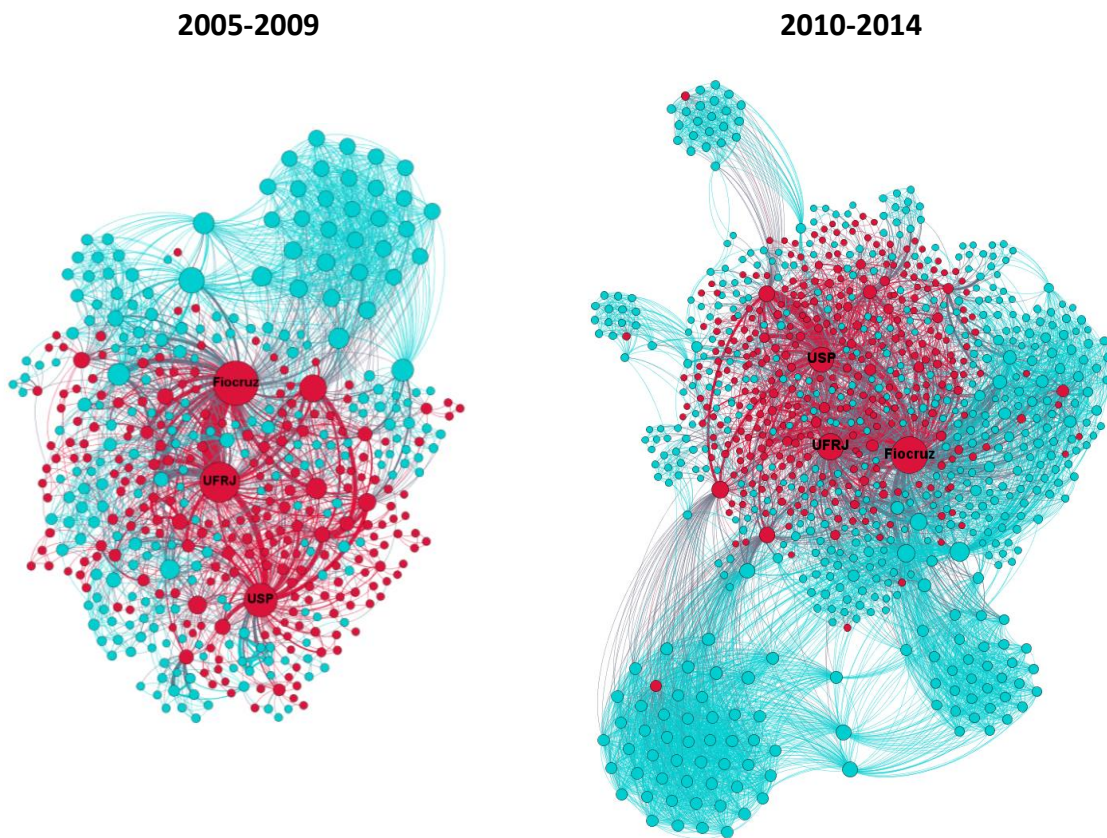
## 4.2 REDE BRASILEIRA DE PESQUISA EM TUBERCULOSE

### 4.2.1 Colaboração Interinstitucional

Para avaliar a evolução da rede brasileira de pesquisa em tuberculose e o papel da Fiocruz nesse contexto, as redes de coautoria foram construídas com base nos artigos recuperados dos anos de 2005 a 2014, divididas em dois quinquênios: 2005 a 2009 e 2010 a 2014 (Figura 4).



FIGURA 4: Evolução da rede institucional de pesquisa em tuberculose envolvendo instituições brasileiras.



Legenda: Cada nó é uma instituição e duas instituições foram consideradas conectadas se seus membros compartilharam a autoria de um artigo. Os nós são codificados por cores - vermelho para o Brasil e azul para instituições estrangeiras. O tamanho dos nós é proporcional à sua centralidade de grau. A espessura das linhas indica a frequência de colaboração. Para fins de visualização apenas o componente gigante é mostrado. As três organizações com maior centralidade de grau estão indicadas. Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz, USP: Universidade de São Paulo, UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A rede do primeiro quinquênio, incluiu 239 instituições nacionais e 243 instituições internacionais. A rede do período seguinte envolveu 336 instituições brasileiras e 549 instituições estrangeiras. O crescimento da participação de instituições internacionais na rede de pesquisa brasileira reflete esforços colaborativos internacionais crescentes.

Oitenta e sete países estão envolvidos nas duas redes. Instituições dos Estados Unidos, Inglaterra e França foram os parceiros mais frequentes da Fiocruz, com 18%,

13% e 7%, respectivamente, de todos os artigos publicados pela instituição. Quatorze países com alta carga de doença colaboraram com a Fiocruz, mas sua associação é menos frequente. Dentre esses países, a África do Sul foi o parceiro com maior número de artigos em coautoria com a Fiocruz (13 artigos ou 3%).

A evolução da estrutura da rede brasileira de pesquisa em tuberculose está evidenciada por meio dos indicadores de coesão/conectividade apresentados na Tabela 2.

TABELA 2: Evolução dos indicadores de coesão da rede de pesquisa em tuberculose envolvendo instituições brasileiras (2005 – 2014).

Indicador	Período	
	2005-2009	2010-2014
Número de nós (instituições)	482	885
Número de ligações	2.486	7.154
Tamanho do componente gigante	96,0%	97,6%
Grau médio	10,3	16,1
Conectividade	92,3%	95,3%
Fragmentação	7,7%	4,7%
Coefficiente de agrupamento médio	0,828	0,851
Comprimento médio de percurso	2,809	2,739
Índice E-I (instituições brasileiras)	-0,150	-0,226
Índice E-I (Fiocruz)	0,032	-0,216

Ao longo do período avaliado, a rede brasileira de pesquisa em tuberculose cresceu, quase dobrando de tamanho no último quinquênio. Este fato, aliado ao aumento do grau médio, do tamanho do componente gigante, do coeficiente de agrupamento médio e da conectividade, indica um aumento da coesão da rede ao longo dos anos. Essas características associadas à diminuição do comprimento médio de percurso indicam que a estrutura desta rede é potencialmente muito eficiente na geração de conhecimento (alta conectividade) e compartilhamento e difusão de conhecimento (baixa distância).

O Índice E-I negativo nos dois períodos avaliados mostra que as instituições brasileiras tendem a cooperar mais frequentemente com instituições nacionais e que essa frequência aumentou no período avaliado. Analisando o índice E-I apenas da Fiocruz,

verifica-se que no primeiro quinquênio havia uma maior tendência de colaboração com instituições internacionais, que diminuiu consideravelmente com o passar dos anos.

A análise da centralidade permitiu a identificação das instituições mais proeminentes/influentes em cada período (Tabela 3). As instituições centrais geralmente têm mais acesso e controle sobre recursos, liderando a troca de conhecimento e prevenindo muitos grupos do isolamento. Conseqüentemente, estas instituições estão frequentemente associadas a atividades inovadoras.

TABELA 3: Instituições brasileiras mais centrais na rede de pesquisa em tuberculose segundo diferentes medidas de centralidade

	2005 a 2009			2010 a 2014		
	Rank	Instituição	Valor	Rank	Instituição	Valor
<b>Centralidade de Grau</b>	1	Fiocruz	0,322	1	Fiocruz	0,360
	2	UFRJ	0,280	2	UFRJ	0,243
	3	USP	0,226	3	USP	0,222
<b>Centralidade de Intermediação</b>	1	Fiocruz	0,239	1	Fiocruz	0,299
	2	USP	0,235	2	USP	0,206
	3	UFRJ	0,210	3	UFRJ	0,164
<b>Centralidade de auto-vetor</b>	1	Fiocruz	1,000	1	Fiocruz	0,912
	2	UFRGS	0,795	2	IAL	0,869
	3	UFRJ	0,616	3	UNIFESP	0,858

Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz; USP: Universidade de São Paulo; UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro; UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; IAL: Instituto Adolfo Lutz; UNIFESP: Universidade Federal de São Paulo.

A análise de centralidade mostra que a Fiocruz tem papel proeminente na pesquisa em tuberculose no Brasil nos dois períodos avaliados. A alta centralidade de grau indica um alto número de conexões diretas (colaborações), a alta centralidade de intermediação mostra que a instituição tem o poder de controlar o fluxo de informação na rede, funcionando como uma ponte entre grupos que na sua ausência estariam desconectados, e a alta centralidade de auto-vetor mostra que a instituição está relacionada a outras instituições altamente conectadas da rede. Isso torna a Fiocruz um ator influente na rede

de pesquisa brasileira, que pode facilitar tanto o acesso a novas informações ou recursos como a transferência de conhecimento, além de coordenar esforços em toda a rede.

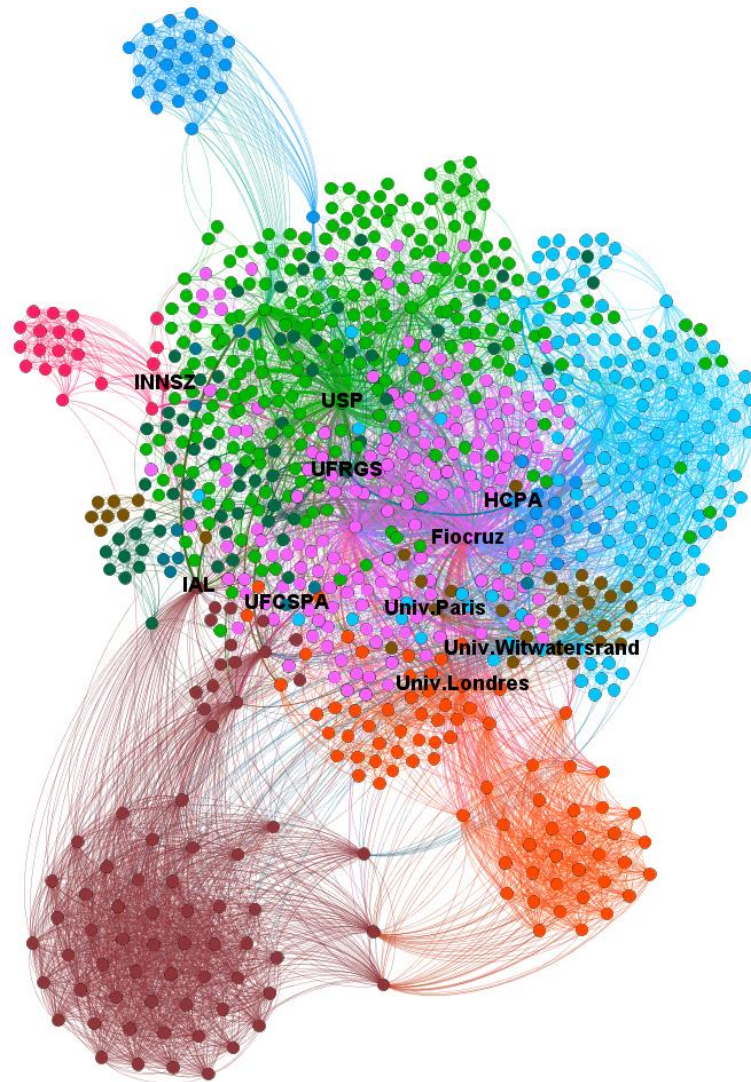
A Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o Instituto Adolfo Lutz (IAL) e a Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) também tiveram participação importante na rede. Como organizações centrais elas provavelmente tiveram papel na manutenção da coesão/conectividade da rede, garantido que organizações menos conectadas ou periféricas tivessem acesso a novos conhecimentos e informações.

Os parceiros mais frequentes da Fiocruz foram as universidades, incluindo a UFRJ e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com 131 (32%) e 32 (7%) artigos em colaboração. Colaboradores internacionais mais frequentes incluíram a Universidade Johns Hopkins (EUA) e a Universidade de Londres (Inglaterra).

A análise da formação de comunidades na rede institucional mais recente (2010-2014) revelou a existência de 10 diferentes comunidades dentro do componente gigante da rede (Figura 5). Essa análise permitiu identificar os principais grupos de instituições que colaboram mais frequentemente na pesquisa sobre tuberculose.

A Figura 5 mostra as diferentes comunidades e suas instituições mais influentes, identificadas por meio da soma de seus *rankings* nas três medidas de centralidade calculadas (grau, intermediação e auto-vetor). Observa-se que as instituições nacionais mais influentes de cada comunidade estão localizadas no Rio de Janeiro (Fiocruz), em São Paulo (USP, IAL) e em Porto Alegre (UFRGS, UFCSPA, HCPA). Os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul estão entre os quatro estados brasileiros com maior número de novos casos de tuberculose em todo o período avaliado.

FIGURA 5: Estrutura de comunidades da rede institucional de pesquisa em tuberculose envolvendo instituições brasileiras (2010-2014).



Legenda: Cada nó é uma instituição e duas instituições foram consideradas conectadas se seus membros compartilharam a autoria de um artigo. As instituições estão coloridas de acordo com a comunidade a que pertencem ( $n=10$ ). A espessura das linhas indica a frequência de colaboração. Para fins de visualização apenas o componente gigante é mostrado. As organizações mais influentes de cada comunidade estão indicadas. USP: Universidade de São Paulo; UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz; UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro; IAL: Instituto Adolfo Lutz; HCPA: Hospital das Clínicas de Porto Alegre; UFCSPA: Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre; INNSZ: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (México).

#### 4.2.2 Colaboração Individual

Para identificar pesquisadores<sup>2</sup> influentes da Fiocruz na rede brasileira de pesquisa em tuberculose, a rede de coautoria foi construída com base em todos os artigos recuperados dos anos de 2005 a 2014 (Figura 6).

A rede brasileira de pesquisa em tuberculose envolve 6.403 pesquisadores, dentre autores principais e coautores, incluindo 208 pesquisadores da Fiocruz (3,25%). A confirmação da afiliação desses pesquisadores foi feita por meio da consulta a uma lista institucional oficial de todos os servidores da Fiocruz, optando-se por não incluir os pesquisadores autores de artigos que não eram formalmente vinculados à instituição, tais como bolsistas e pesquisadores visitantes.

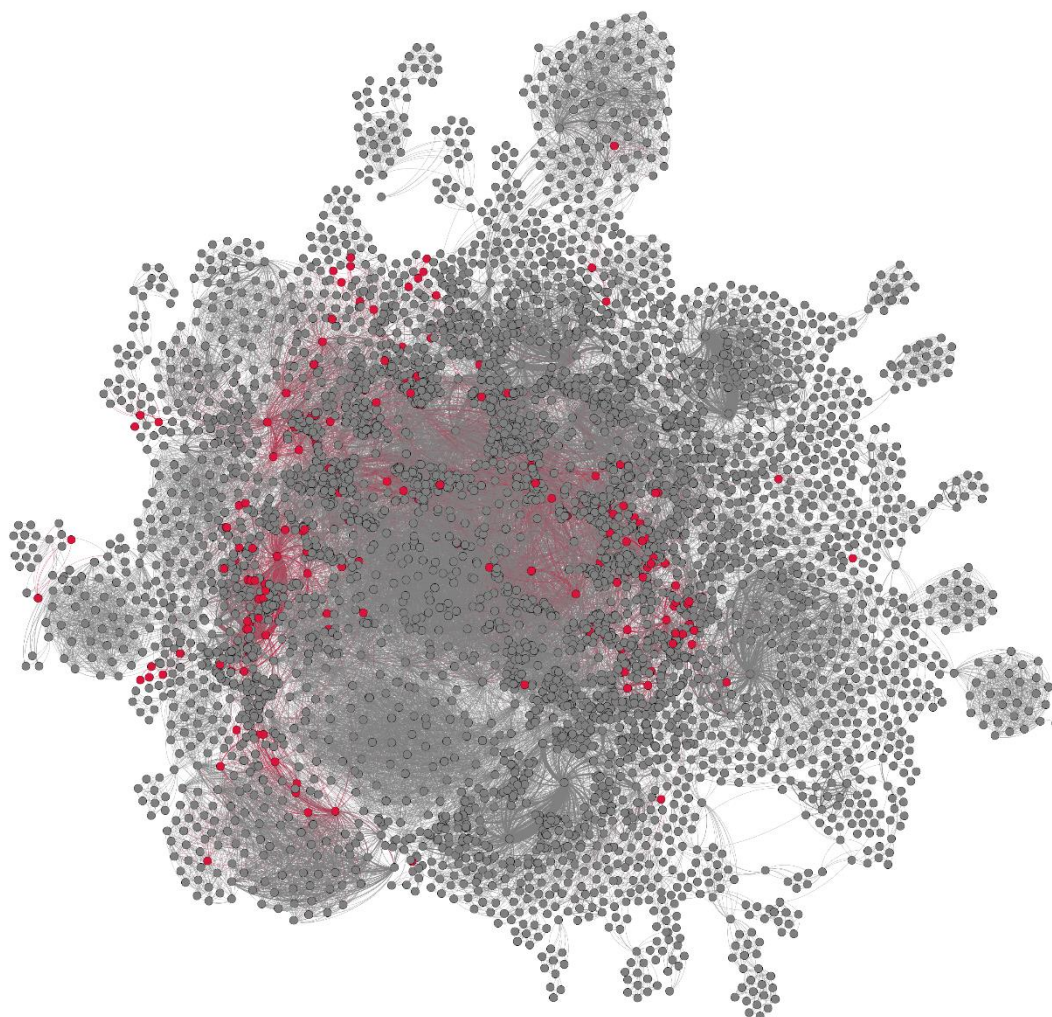
É importante mencionar que para a avaliação da produção científica da Fiocruz (item 4.1) e da rede interinstitucional (item 4.2.1), foram considerados todos os artigos que continham pelo menos um pesquisador que declarava afiliação à Fiocruz, independentemente do caráter formal dessa afiliação. Apenas para a análise da colaboração individual e intrainstitucional optou-se por excluir os pesquisadores informalmente vinculados à instituição por entender-se que apesar de esse grupo de indivíduos representar boa parte do esforço de pesquisa da Fiocruz, o mapeamento da rede de pesquisadores da Fiocruz deveria considerar apenas suas capacidades de pesquisa permanentes.

O algoritmo utilizado para ajustar o *layout* da rede (Forced Atlas 2) posiciona os nós de acordo com a força das ligações entre eles, fazendo com que os pesquisadores mais fortemente conectados encontrem-se mais próximos uns dos outros. É possível observar que os pesquisadores afiliados à Fiocruz estão distribuídos por toda a rede e não concentrados em um agrupamento institucional. Isso mostra que esses pesquisadores cooperam de maneira abrangente com os demais pesquisadores atuantes na área, independentemente de estes serem afiliados à Fiocruz.

---

<sup>2</sup> A definição de “pesquisador” utilizada ao longo deste relatório refere-se a qualquer profissional afiliado **formalmente e oficialmente** à Fiocruz, que esteja incluído na rede brasileira de pesquisa em tuberculose. Esta definição não está associada ao cargo específico de pesquisador, atribuído por meio de concurso público para ingresso na Fiocruz.

FIGURA 6: Rede de cientistas afiliados a instituições brasileiras que realizam pesquisa sobre tuberculose e seus coautores (2005-2014).



Legenda: Cada nó é um pesquisador e dois pesquisadores foram considerados conectados se compartilharam a autoria de um artigo. Os nós são codificados por cores - vermelho para pesquisadores afiliados à Fiocruz e cinza para afiliação a outras instituições. A espessura das linhas indica a frequência de colaboração. Para fins de visualização apenas o componente gigante é mostrado.

Os pesquisadores mais influentes da rede brasileira de pesquisa em tuberculose foram identificados por meio do cálculo de duas medidas de centralidade: a centralidade de grau e a centralidade de intermediação (Tabela 4).

TABELA 4: Pesquisadores afiliados a instituições brasileiras que são influentes na rede de pesquisa em tuberculose (2005 a 2014).

<b>Indicador</b>	<b>Rank</b>	<b>Pesquisador</b>	<b>Afiliação</b>	<b>Valor</b>	<b>Número de publicações</b>
<b>Centralidade de Grau</b>	1	Pesquisador A	UFRJ	0,059	72
	2	Pesquisador B	UNESP	0,042	70
	3	<b>Pesquisador C</b>	<b>Fiocruz</b>	0,040	32
	4	<b>Pesquisador D</b>	<b>Fiocruz</b>	0,034	63
	5	Pesquisador E	UNESP	0,032	50
	6	Pesquisador F	FEPPS	0,031	34
	7	Pesquisador G	USP	0,031	49
	8	<b>Pesquisador H</b>	<b>Fiocruz</b>	0,029	18
	9	Pesquisador I	USP	0,027	56
	10	Pesquisador J	PUC-RS	0,023	66
<b>Centralidade de Intermediação</b>	1	Pesquisador A	UFRJ	0,124	72
	2	<b>Pesquisador D</b>	<b>Fiocruz</b>	0,064	63
	3	Pesquisador B	UNESP	0,063	70
	4	Pesquisador I	USP	0,054	56
	5	Pesquisador G	USP	0,052	49
	6	Pesquisador L	UFMG	0,036	14
	7	Pesquisador M	UFRJ	0,036	20
	8	<b>Pesquisador C</b>	<b>Fiocruz</b>	0,033	32
	9	Pesquisador N	IAL	0,029	16
	10	Pesquisador O	UNIFESP	0,023	7

Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz; USP: Universidade de São Paulo; UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro; UNESP: Universidade do Estado de São Paulo; FEPPS: Fundação Estadual de Produção e Pesquisa Em Saúde; PUC-RS: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais; IAL: Instituto Adolfo Lutz; UNIFESP: Universidade Federal de São Paulo.

Três pesquisadores da Fiocruz pertencentes ao Instituto Oswaldo Cruz (Fiocruz RJ) estão dentre os dez cientistas mais influentes da rede brasileira de pesquisa em tuberculose. Esses pesquisadores atuam principalmente nas áreas de Microbiologia



aplicada e Genética de micro-organismos, possuem um alto número de conexões com outros autores da rede e também atuam como intermediadores do fluxo de informação. Essas características os tornam indivíduos importantes para a Fiocruz uma vez que eles têm acesso frequente a novas informações ou recursos e podem facilitar a transferência de conhecimento para a instituição.

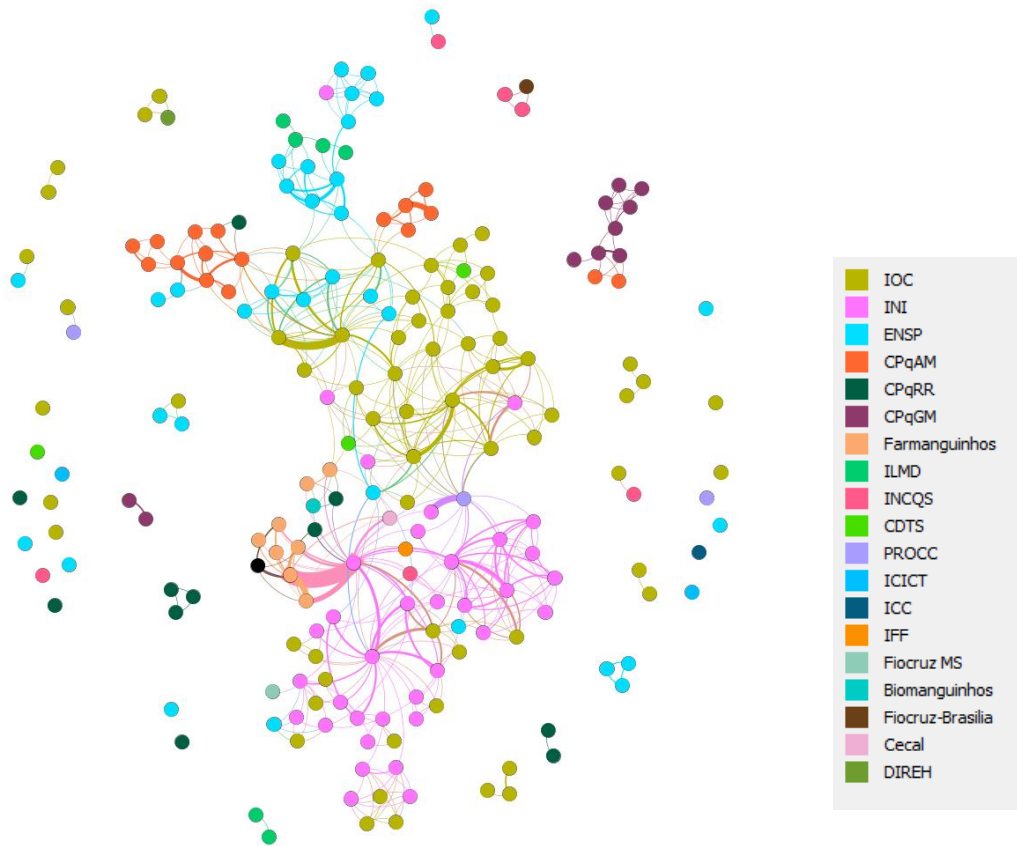
É importante mencionar que a medida de centralidade de grau é um indicativo de colaboração e não reflete necessariamente a quantidade de publicações. O Pesquisador C, por exemplo, possui uma alta centralidade de grau na rede, mas está atrás do Pesquisador D em número de publicações (Tabela 4). Isso significa que o Pesquisador C tem um comportamento mais colaborativo, e que a maioria de seus artigos é publicada em coautoria com outros pesquisadores.

### 4.3 REDE FIOCRUZ DE PESQUISA EM TUBERCULOSE

#### 4.3.1 Colaboração Intrainstitucional

Para analisar a cooperação intrainstitucional, as redes de coautoria entre os pesquisadores afiliados à Fiocruz foram construídas com base em todos os registros recuperados dos anos de 2005 a 2014 (Figura 7). Nessa rede estão representadas apenas as relações dos pesquisadores afiliados à Fiocruz com outros afiliados à mesma instituição, afim de avaliar a interação entre eles. Uma vez que todos pertencem à rede brasileira de pesquisa em tuberculose e, conseqüentemente, trabalham com a mesma temática, a análise da rede de colaboração interna tem o potencial de verificar o quanto eles estão imersos na estrutura interna da rede e de identificar oportunidades de melhoria para sua integração.

FIGURA 7: Rede intrainstitucional de pesquisa em tuberculose da Fiocruz (2005-2014).

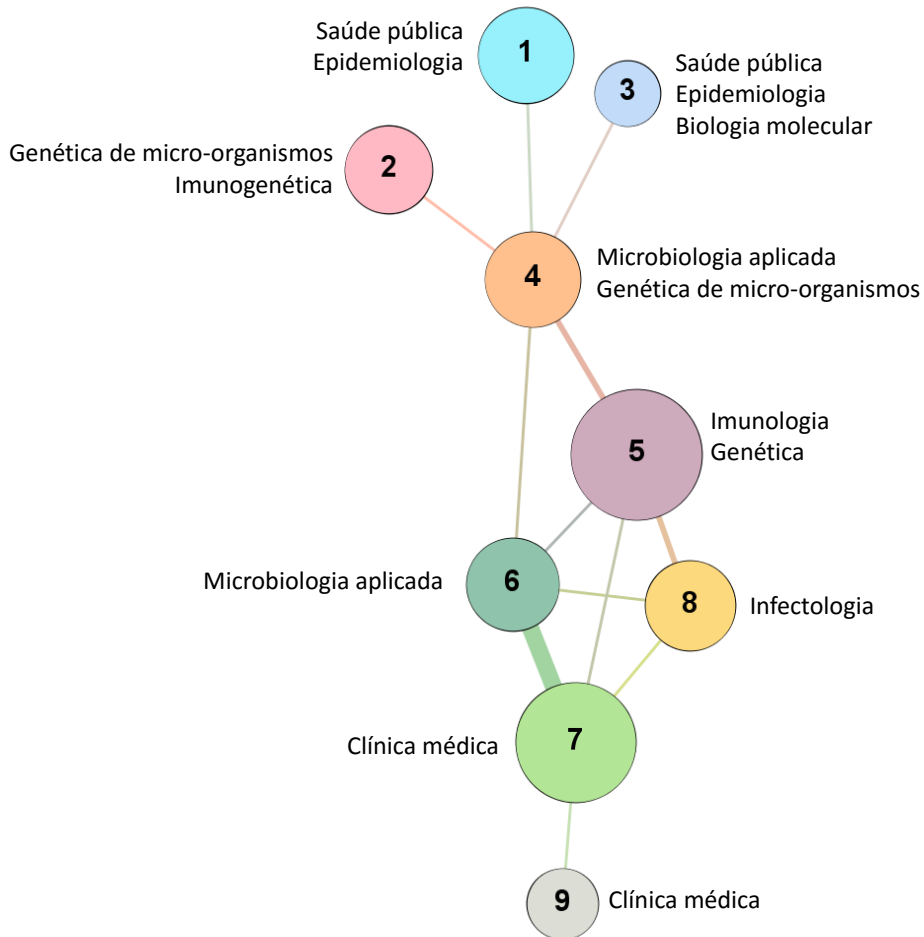


Legenda: Cada nó é um pesquisador e dois pesquisadores foram considerados conectados se compartilharam a autoria de um artigo. Os pesquisadores estão coloridos de acordo com a unidade técnico-científica, unidade técnico-administrativa, escritório ou órgão de assistência da presidência/vice-presidências ao qual pertencem dentro da Fiocruz. A espessura das linhas representa o número de colaborações entre os pesquisadores. IOC: Instituto Oswaldo Cruz, INI: Instituto Nacional de Infectologia Evandro Chagas, ENSP: Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, CPqAM: Centro de Pesquisa Aggeu Magalhães (Fiocruz Pernambuco), CPqRR: Centro de Pesquisa René Rachou (Fiocruz Minas Gerais), CPqGM: Centro de Pesquisa Gonçalo Muniz (Fiocruz Bahia), Farmanguinhos: Instituto de Tecnologia em Fármacos, ILMD: Instituto Leônidas e Maria Deane (Fiocruz Amazônia), INCQS: Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, CDTS: Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde, PROCC: Programa de Computação Científica, ICICT: Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnologia em Saúde, ICC: Instituto Carlos Chagas (Fiocruz Paraná), IFF: Instituto Fernandes Figueira, Fiocruz MS: Fiocruz Mato Grosso do Sul, Biomanguinhos: Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos, Cecal: Centro de Criação de Animais de Laboratório, DIREH: Diretoria de Recursos Humanos.

O IOC é a unidade com o maior número de pesquisadores na rede (31,4%), seguido do Instituto Nacional de Infectologia Evandro Chagas - INI (16,91%) e da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca - ENSP (16,43%). É possível observar que há alguns pesquisadores não conectados ao componente gigante (maior componente totalmente conectado) da rede, o que indica a ausência de artigos científicos publicados em colaboração com os demais integrantes da rede. Isto revela certa fragmentação da rede interna de pesquisa em tuberculose da Fiocruz, sinalizando uma possibilidade de intervenção para integrar esses pesquisadores. Nota-se ainda agrupamentos entre pesquisadores pertencentes à mesma unidade, indicando uma maior tendência de colaboração dentro da própria unidade do que interunidades.

No componente gigante há nove comunidades diferentes. Para cada comunidade foram identificadas as principais áreas de pesquisa de acordo com informações sobre as áreas de atuação dos pesquisadores integrantes, constantes de seus Currículos Lattes (Figura 8).

FIGURA 8: Relações entre as comunidades da rede intrainstitucional de pesquisa em tuberculose da Fiocruz (2005-2014)



Legenda: Cada nó é uma comunidade, composta por pesquisadores afiliados à Fiocruz. Duas comunidades foram consideradas conectadas se seus integrantes compartilharam a autoria de um artigo. O tamanho dos nós é proporcional ao número de integrantes da comunidade. A espessura das linhas indica a frequência de colaboração. Para fins de visualização apenas o componente gigante é mostrado.

A estrutura de comunidades da rede intrainstitucional mostra um distanciamento entre as comunidades 7, 8 e 9, que atuam na área de Clínica médica (medicina, pesquisa clínica) e as comunidades 1 e 3, que atuam em Saúde pública (saúde coletiva, epidemiologia). Evidencia também o papel integrador das comunidades 4, 5 e 6 que atuam nas áreas de Microbiologia aplicada, Imunologia e Genética, e funcionam como “pontes” entre essas áreas.

A descrição de cada uma das comunidades presentes no maior componente da rede intrainstitucional está evidenciada na Tabela 5.

TABELA 5: Descrição das comunidades presentes na rede interna de colaboração em pesquisa sobre tuberculose da Fiocruz

<b>Comunidade</b>	<b>Temas principais</b>	<b>N. de integrantes</b>
1	Saúde pública, Epidemiologia	16
2	Genética de micro-organismos, Imunogenética	13
3	Saúde pública, epidemiologia, biologia molecular	5
4	Microbiologia aplicada, Genética de micro-organismos	16
5	Imunologia, Genética	29
6	Microbiologia Aplicada	15
7	Clínica médica	25
8	Infectologia	14
9	Clínica médica	7

## 5. DISCUSSÃO

A análise da rede interinstitucional de pesquisa em tuberculose sugere que as instituições brasileiras estão incorporadas em redes altamente conectadas, fortalecidas ao longo dos anos. Esse aumento da cooperação científica está em concordância com a tendência mundial de intensificação da colaboração em todas as áreas da ciência, associada ao aumento do número de artigos publicados em coautoria (GLANZEL & SCHUBERT, 2004; PERSSON et al., 2004). Especialmente nas áreas de medicina, ciências biológicas e pesquisa biomédica, a média de coautoria tem aumentado ao longo dos anos (GLANZEL; SCHUBERT, 2004). A oportunidade de descobrir novos conhecimentos, a crescente especialização dentro da ciência, a maior complexidade dos equipamentos científicos, bem como a necessidade de combinar diferentes tipos de conhecimentos e competências para resolver problemas complexos motiva cientistas e

fornece uma base para a colaboração (KATZ & MARTIN, 1997; SONNENWALD, 2007).

Apesar do envolvimento de instituições internacionais na rede ter aumentado no segundo período avaliado, a diminuição do índice E-I indica que as instituições nacionais cooperam mais frequentemente entre si do que com outras instituições estrangeiras. De fato, os pesquisadores têm, naturalmente, uma maior propensão a colaborar quando trabalham na mesma região geográfica, especialmente porque a troca de conhecimento se torna mais fácil quando os indivíduos enfrentam nenhuma ou pequenas barreiras espaciais (ABRAMOVSKY & SIMPSON, 2011; D'ESTE et al., 2012). Barreiras de linguagem (idioma) e culturais, tais como paradigmas conflitantes de pesquisa, divergências sobre convenções ou normas de conduta, bem como a falta de adequação à protocolos de pesquisa internacionais, também podem afetar a propensão a estabelecer colaborações internacionais frequentes (DE GRIJS, 2015).

A análise de centralidade da rede interinstitucional mostra que a Fiocruz teve papel importante tanto na disseminação de conhecimento quanto na manutenção do acesso a esse conhecimento por outras instituições. Isso indica uma articulação importante e positiva entre a pesquisa científica que é realizada na Fiocruz e a geração de conhecimento em tuberculose no país. A alta centralidade de grau da instituição mostra que a pesquisa realizada na Fiocruz tem caráter intensamente colaborativo.

A análise de centralidade da rede individual apontou os pesquisadores afiliados a instituições brasileiras que são mais influentes. A maioria desses pesquisadores está atuando há pelo menos 10 anos na área de pesquisa e isso certamente confere a eles uma “conexão preferencial”, em que novos pesquisadores que entram na rede se conectam preferencialmente aos já existentes, que já são bem conectados, ou seja, com maior centralidade de grau (BARABÁSI & ALBERT, 1999). Segundo essa visão, quando um novo pesquisador se insere em uma área de pesquisa, sua estratégia básica é procurar se conectar a um pesquisador que já é mais central na rede. De fato, já foi demonstrado em redes de coautoria que maiores centralidades de grau e de intermediação têm papel importante na conexão preferencial de novos atores (ABBASI et al., 2012).

Em meio à aproximadamente 6.400 indivíduos, três pesquisadores afiliados à Fiocruz têm papel influente na rede brasileira de pesquisa em tuberculose. Para a Fiocruz, a identificação das pessoas altamente centrais na rede externa pode servir a muitos propósitos. No intuito de ativar esta rede e torná-la mais conectada para o avanço da pesquisa científica em tuberculose, estes pesquisadores podem funcionar como fontes de

informação sobre as tendências tecnológicas para os próximos anos e identificar possíveis parceiros para cooperação no desenvolvimento de novas pesquisas. Além disso, sua experiência pode referenciar decisões estratégicas sobre o investimento institucional em novas tecnologias, além de funcionar como líderes de informação no desenvolvimento de produtos. Estes indivíduos podem formar um núcleo de indivíduos centrais (alta centralidade de grau e de intermediação) para melhorar a troca de informação, integração de sistemas e inovação dentro da Fiocruz. Adicionalmente, os pesquisadores com maior centralidade de intermediação também podem servir como “agentes de mudança” (VALENTE, 2012), podendo identificar projetos que possam ser executados em parceria e integrar à rede os membros desconectados.

É importante identificar o motivo pelo qual existem componentes desconectados na rede interna e buscar sua integração por meio de posturas estratégicas de indução. Em alguns casos, são esses pesquisadores que funcionam como fontes de novas ideias e inovações ou por terem contato com outras comunidades científicas ou por estarem livres da “pressão social” que afeta os membros mais centrais (VALENTE, 2012).

A estrutura de comunidades mostra o quanto um grupo se relaciona mais entre si do que com outros grupos da rede. Na Fiocruz, observa-se uma clara divisão, principalmente entre os indivíduos que trabalham na área de Clínica médica e na área de Saúde pública. Isso significa que essas áreas interagem muito pouco dentro da pesquisa em tuberculose. É imediato se pensar que, mesmo dentro de uma única temática, algumas áreas podem estar relacionadas a tipos de pesquisa diferentes (ex. pesquisa básica, pesquisa aplicada, pesquisa clínica etc.) e, por esse motivo, não teriam estímulo ou razão para cooperar em artigos científicos. Por outro lado, a diversidade de equipes de trabalho facilita a inovação (POST et al., 2009). A multidisciplinaridade das equipes aumenta e acelera o sucesso das inovações de várias maneiras: i) a diversidade intelectual da equipe faz com que as novas ideias sejam avaliadas e “filtradas” de maneira mais robusta e eficiente, evitando falhas; ii) as diferentes experiências dos membros da equipe ajudam a desenvolver uma forma de “pensamento conectivo”, na qual são feitas conexões dinâmicas entre ideias muito diferentes, que tornam a ideia inicial substancialmente melhorada; iii) a diversidade da equipe abarca as redes de cada indivíduo, facilitando a retenção da descoberta (DISIS & SLATTERY, 2010). Assim, acredita-se que, principalmente na Fiocruz, uma interação entre essas diferentes áreas deva ser estimulada. Seria importante compor um grupo que unisse os pesquisadores pertencentes às diferentes

comunidades para fornecer uma visão mais holística e integrada dos processos e projetos da Fiocruz, agregando diferentes visões sobre a pesquisa em tuberculose.

A análise de redes mostrou-se um mecanismo bastante amplo e útil para avaliar o desempenho e apoiar o desenvolvimento de instituições de C&T, na medida em que se revela uma importante ferramenta de diagnóstico organizacional. É claro que as organizações não se definem apenas por seu comportamento colaborativo e que a investigação desse comportamento não é suficiente para definir estratégias. Ainda assim, observar as redes internas e externas nas quais a organização está inserida, além do conjunto de conhecimentos e competências existentes nessas instituições é uma importante referência para estabelecer planos de ação e apoiar decisões estratégicas. As evidências identificadas para os gestores com este estudo envolvem principalmente a compreensão de aspectos importantes do padrão de colaboração da instituição, que influenciam em seu desempenho e que devem ser objeto de atenção dos dirigentes.

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

- O aumento do tamanho das redes de coautoria em publicações científicas ao longo dos anos reflete a complexidade da pesquisa científica e a necessidade crescente de cooperar como forma de atingir objetivos comuns;

- Durante o período de 2005 a 2014 o Brasil ampliou consideravelmente a colaboração em pesquisa em tuberculose. A rede brasileira de pesquisa em tuberculose se mostrou muito eficaz na geração, compartilhamento e difusão de conhecimento, mantida por instituições centrais chave, incluindo a Fiocruz;

- A Fiocruz teve papel importante tanto na disseminação de conhecimento em tuberculose quanto na manutenção do acesso a esse conhecimento por outras instituições;

- Ao longo do período avaliado a Fiocruz diminuiu as colaborações de caráter internacional;

- Existe uma fragmentação da rede interna de pesquisadores que realizam pesquisa em tuberculose na Fiocruz, sinalizando a necessidade de uma reorganização ou articulação dos pesquisadores não conectados por meio de estratégias de indução;

- Existem nove comunidades diferentes na rede de colaboração interna da Fiocruz: três delas atuam na área de Clínica médica, duas que atuam na área de Saúde pública, e



outras quatro comunidades atuam nas áreas de Microbiologia aplicada, Imunologia e/ou Genética;

- Há uma clara divisão/distanciamento entre a comunidade que atua na área de Clínica médica e a comunidade que atua em Saúde Pública, o qual é mitigado pelas comunidades que atuam nas áreas de Microbiologia aplicada, Imunologia e Genética. Seria importante compor um grupo que unisse os pesquisadores líderes de cada comunidade para fornecer uma visão mais holística e integrada dos processos e projetos da Fiocruz, agregando diferentes visões sobre a pesquisa em tuberculose;

- A Fiocruz possui três pesquisadores entre os dez mais influentes da rede de pesquisa em tuberculose nacional. Esses pesquisadores podem atuar como fontes de informação sobre as tendências tecnológicas para os próximos anos e identificar possíveis parceiros para cooperação no desenvolvimento de novas pesquisas;

- Poderíamos sugerir que os pesquisadores da Fiocruz identificados como mais centrais sejam mobilizados para assessorar e apoiar decisões estratégicas sobre os rumos e investimentos da pesquisa em tuberculose realizada na Fiocruz. Esses mesmos pesquisadores podem ter papel não só na integração de membros desconectados da rede interna, como também na aproximação de diferentes áreas de pesquisa em tuberculose que já estão sendo desenvolvidas na instituição. Novos projetos de pesquisa que atendam a necessidades de saúde pública, integrando diferentes visões dentro da temática da tuberculose podem ser importantes meios de fomentar essa cooperação.

## **7. LIMITAÇÕES**

Diferentes perspectivas sobre a colaboração na pesquisa poderiam ter sido exploradas. Reconhecemos a limitação do uso de dados de coautoria como indicador de colaboração científica sabendo que nem todos os esforços de colaboração resultam em publicações, e que nem todos os trabalhos em coautoria implicam necessariamente a colaboração sob a forma de compartilhamento de conhecimentos. Ainda assim, presume-se que na maioria dos casos, a coautoria indica uma cooperação ativa entre os parceiros, para além da simples troca de material ou informação.

Provavelmente nem todos os pesquisadores da Fiocruz que trabalham com tuberculose foram identificados como autores dos artigos recuperados do banco de dados da WoS e, por esse motivo, não estariam incluídos na análise. Embora a WoS tenha uma

cobertura de mais de 12.000 periódicos científicos, é possível que algumas revistas nacionais, regionais ou de disciplinas especializadas não estejam na base de dados.

As medidas de centralidade utilizadas supõem uma posição mais favorável às oportunidades de troca de conhecimentos, com maior acesso ao fluxo de informações. Entretanto, a concretização e o aproveitamento dessas oportunidades são influenciados por fatores como: tempo de serviço e de permanência dentro da instituição, característica do vínculo, estrutura hierárquica e não hierárquica, dentre outros.

## **8. AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Dr. Fabius Esteves pelas contribuições e sugestões para análise das redes e ao Dr. Fabio Zicker pela leitura crítica e comentários sobre o texto.

## **9. REFERÊNCIAS**

ABBASI, A.; HOSSAIN, L.; LEYDESDORFF, L. Betweenness centrality as a driver of preferential attachment in the evolution of research collaboration networks. **Journal of Informetrics**, v. 6, n. 3, p. 403-412, 2012.

ABRAMOVSKY, L.; SIMPSON, H. Geographic proximity and firm-university innovation linkages: evidence from Great Britain. **Journal of Economic Geography**, v. 11, n. 6, p. 949-977, 2011.

ADAMS, J. Collaborations: the rise of research networks. **Nature**, v. 490, n. 7420, p. 335-336, 2012

BARABÁSI, A. L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v. 286, n. 5439, p. 509-512, 1999.

BARRETO, M. L. et al. Successes and failures in the control of infectious diseases in Brazil: social and environmental context, policies, interventions, and research needs. **The Lancet**, v. 377, n. 9780, p. 1877-1889, 2011.

BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. **ICWSM**, v. 8, p. 361-362, 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015**: balanço das atividades estruturantes 2011. Brasília, DF, 2012.

DE GRIJS, R. Ten Simple Rules for Establishing International Research Collaborations. **PLoS computational biology** v. 11, n. 10, 2015.

D'ESTE, P.; GUY, F.; IAMMARINO, S. Shaping the formation of university-industry research collaborations: what type of proximity does really matter? **Journal of Economic Geography**, v. 13, n. 4, p. 537-558, 2012.

DISIS, M. L.; SLATTERY, J. T. The road we must take: multidisciplinary team science. **Science Translational Medicine**, v. 2, n. 22, 2010.

FONSECA, B. P. F., FERNANDES, E., FONSECA, M. V. A. Collaboration in science and technology organizations of the public sector: a network perspective. **Science and Public Policy**, 2016. Disponível em: <<http://spp.oxfordjournals.org/content/early/2016/04/25/scipol.scw013.abstract>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

GLANZEL, W.; SCHUBERT, A. Analyzing scientific networks through co-authorship. In: MOED, H.; GLANZEL, W.; SCHMOCH, U.(Ed.). **Handbook of quantitative science and technology research**. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2004. p. 257-276.

HE, J.; FALLAH, M. H. Is inventor network structure a predictor of cluster evolution? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 76, n. 1, p. 91-106, 2009.

KATZ, J. S.; MARTIN, B. R. What is research collaboration? **Research Policy**, v. 26, n. 1, p. 1-18, 1997.

KRITSKI, AL, et al. Duas décadas de pesquisa em tuberculose no Brasil: estado da arte das publicações científicas. **Revista Saúde Pública**, v.41, (supl. 1), p. 9-14, 2007.

KRITSKI, A. et al. Brazilian Response to Global End TB Strategy: The National Tuberculosis Research Agenda. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 49, n.1, p.135-145, 2016.

MOREL, C. M. et al. Co-authorship network analysis: a powerful tool for strategic planning of research, development and capacity building programs on neglected diseases. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 3, n. 8, p.e501, 2009.

MOREL, C. M. et al. Health innovation networks to help developing countries address neglected diseases. **Science**, v. 309, n. 5733, p. 401-404, 2005.

NEWMAN, M. E. J. Co-authorship networks and patterns of scientific collaboration. **PNAS**, v. 101, p. 5200-5205, 2004. Supplement.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Global Consultation on Research for TB Elimination**. [Stockholm], 2014.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Global Action Framework for TB Research**. [Geneva], 2015a.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Global Tuberculosis Report 2015**. [Geneva]: 2015b.

PEDRIQUE, B. et al. The drug and vaccine landscape for neglected diseases (2000–11): a systematic assessment. **The Lancet Global Health**, v. 1, n. 6, p. e371-e379, 2013.

PERSSON, O.; GLÄNZEL, W.; DANELL, R. Inflationary bibliometric values: the role of scientific collaboration and the need for relative indicators in evaluative studies. **Scientometrics**, v. 60, n. 3, p. 421-432, 2004.

POST, C. et al. Capitalizing on thought diversity for innovation. **Research-Technology Management**, v. 52, n. 6, p. 14-25, 2009.

SONNENWALD, D. Scientific collaboration. **Annual Review of Information Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 643-681, 2007.

TIEMERSMA, E. W. et al. Natural history of tuberculosis: duration and fatality of untreated pulmonary tuberculosis in HIV negative patients: a systematic review. **PLoS One**, v. 6, n. 4, e17601, 2011.

VALENTE, T. W. Network interventions. **Science**, v. 337, n. 6090, p. 49-53, 2012.

VASCONCELLOS, A. G.; MOREL, C. M. Enabling policy planning and innovation management through patent information and co-authorship network analyses: a study of tuberculosis in Brazil. **PloS One**, v. 7, n. 10, p.e45569, 2012.