

Artigo

Redes de Colaboração Científica do INCT de Energia e Ambiente

Vieira, R. P.; Monteiro, R. L. S.; Pereira, H. B. B.; de Andrade, J. B.;
Guariero, L. L. N.*

Rev. Virtual Quim., 2016, 8 (4), 1234-1248. Data de publicação na Web: 30 de julho de 2016

<http://rvq.sbg.org.br>

Scientific Collaboration Networks of the “Energy and Environment INCT”

Abstract: The National Institutes of Science and Technology (INCT) aim to streamline and figure up through joints, reference groups in strategic areas for the sustainable development of Brazil. Among the goals for the creation of INCT, we can highlight the need to mobilize and aggregate pivotally groups of excellence in frontier areas of science and strategic areas for sustainable development. Thus, this study aimed to evaluate the behavior of network collaboration INCT Energy and Environment (INCT EA) from 2009 to 2014. Thus, were created standardized databases using the periodicals of the INCT EA researchers (indexed journals described in the annual activity reports of the INCT EA and lattes curriculum). After validation of the information were generated specific attributes for construction and evaluation of networks formed. The properties of the generated networks were calculated, analyzed and interpreted. It is observed the existence of the small world phenomenon in the INCT EA collaboration network, as well as the distribution of degrees of co-authorship networks before and after the creation of the institute suggests the existence of a power law. The results obtained in this study it were concluded that the INCT EA carry out its role as the joints created between the research team. Much of the principal researcher / articuladors INCT EA are part of the committee of the Institute. This strengthens the collaboration network and promotes the dissemination of knowledge for the development of Science, Technology and Innovation in Brazil.

Keywords: Network theory; co-authorship networks; INCT EA.

Resumo

Os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) objetivam dinamizar e agregar, através de articulações, os grupos referências em áreas estratégicas visando o desenvolvimento sustentável do Brasil. Dentre as metas para a criação dos INCT, pode-se destacar a necessidade de mobilizar e agregar de forma articulada os grupos de excelência em áreas de fronteira da ciência e em áreas estratégicas para o desenvolvimento sustentável do país. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da rede de colaboração do INCT de Energia e Ambiente (INCT EA) no período de 2009 a 2014. Para tanto, foram criados bancos de dados padronizados utilizando às publicações periódicas dos pesquisadores do INCT EA (periódicos indexados descritos nos relatórios de atividades anuais do INCT EA e currículo lattes). Após validação das informações, foram gerados atributos específicos para construção e avaliação das redes formadas. As propriedades das redes geradas foram calculadas, analisadas e interpretadas. É observada a existência do fenômeno *small world* na rede de colaboração do INCT EA, assim como as distribuições de graus das redes de coautoria antes e depois da criação do instituto sugerem a existência de uma lei de potência. Através dos resultados obtidos neste estudo foi possível concluir que o INCT EA cumpre seu papel quanto às articulações geradas entre o grupo de pesquisadores. Grande parte dos principais pesquisadores/articuladores do INCT EA compõe o comitê gestor do Instituto. Isto fortalece a rede de colaboração e impulsiona a disseminação do conhecimento para o desenvolvimento da Ciência, Inovação e Tecnologia no Brasil.

Palavras-chave: Teoria de redes; redes de coautoria; INCT EA.

* Faculdade SENAI CIMATEC, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

✉ lilian.guariero@fieb.org.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20160088](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160088)

Redes de Colaboração Científica do INCT de Energia e Ambiente

Rodrigo P. Vieira,^a Roberto Luiz S. Monteiro,^{a,b} Hernane B. B. Pereira,^{a,b}
Jailson B. de Andrade,^{c,d} Lilian L. N. Guarieiro^{a,d,*}

^a SENAI CIMATEC, Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

^b Universidade do Estado da Bahia, CEP 41150-000, Salvador-BA, Brasil.

^c Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, CEP 40210-730, Salvador-BA, Brasil.

^d Universidade Federal da Bahia, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energia e Ambiente, CEP 40210-730, Salvador-BA, Brasil.

* lilian.guarieiro@fieb.org.br

Recebido em 30 de julho de 2016. Aceito para publicação em 30 de julho de 2016

1. Introdução
2. Teoria de Redes
3. Metodologia
 - 3.1. Elaboração do Banco de dados
 - 3.2. Estabelecimento e análise da rede
4. Resultados e discussão
 - 4.1. Cenário
 - 4.2. Caracterização topológica
 - 4.3. Análise dos autores preeminentes
5. Conclusões

1. Introdução

Os primeiros Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) foram criados em 2008 por meio da Portaria de número 429 em 2008 do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), através do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A criação dos INCT (Edital MCT/CNPq/FNDCT/CAPES/FAPEMIG/FAPERJ/FAPESP N^o 015/2008 - Institutos Nacionais

de Ciência e Tecnologia) na época teve suporte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com o objetivo de desenvolver a Ciência, Inovação e Tecnologia no Brasil e consolidar o sistema de pesquisa brasileiro.¹

Os Institutos foram criados para mobilizar e agregar de forma articulada, os grupos de excelência em áreas de fronteira da ciência e em áreas estratégicas para o

desenvolvimento sustentável do país. Desta forma, nasceram 126 Institutos nas seguintes áreas de conhecimento (Figura 1): Agrária (12), Energia (10), Engenharia e Tecnologia da Informação (12), Exatas e Naturais (11), Humanas e Sociais (10), Ecologia e Meio Ambiente (21), Nanotecnologia (10) e Saúde

(40).² Os Institutos, portanto, funcionam de maneira multicêntrica tendo coordenação de uma instituição-sede que possui *know how* na área referência da pesquisa. A maior parte dos institutos concentram-se na região sudeste, seguido da região nordeste.³

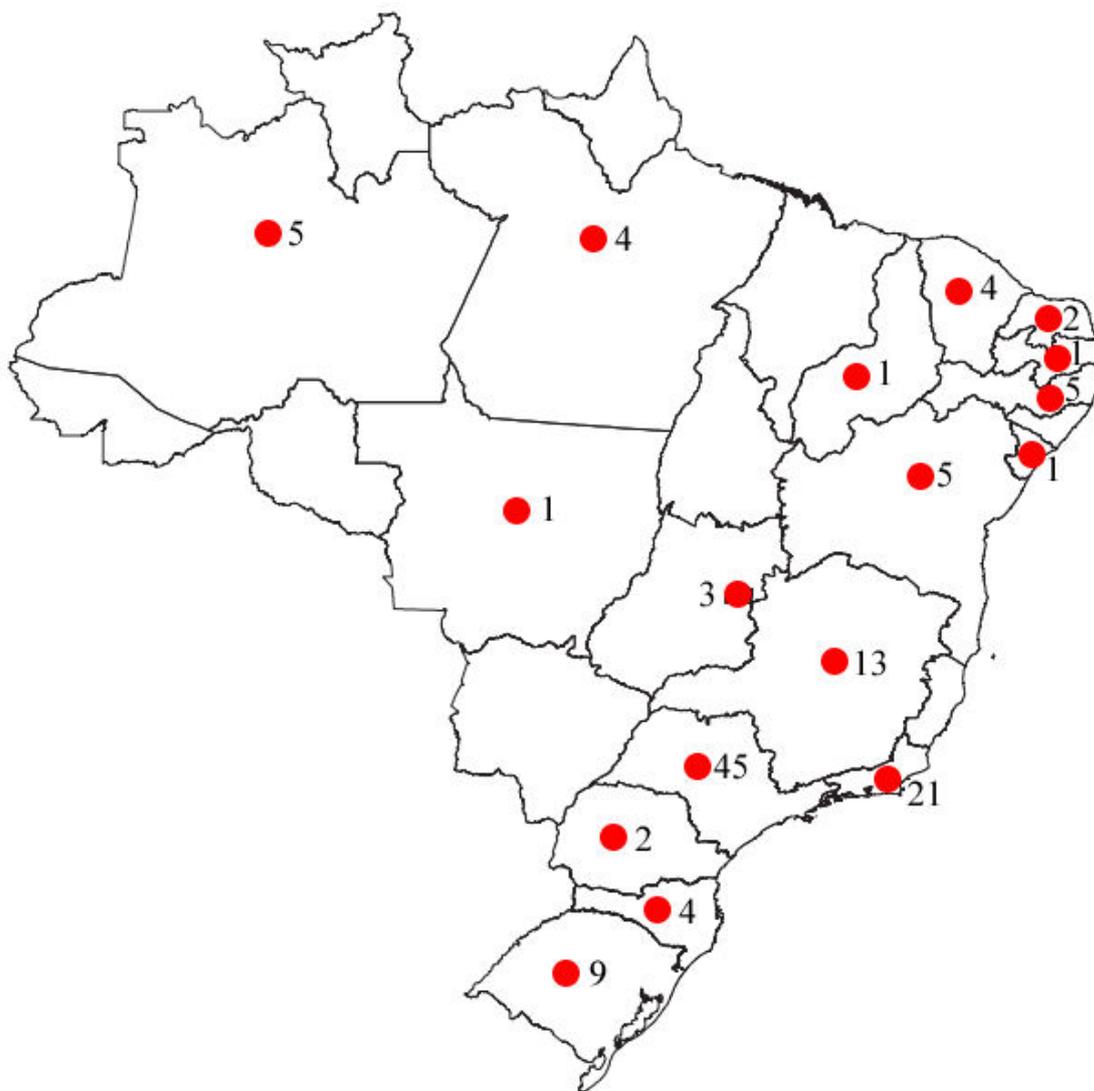


Figura 1. Distribuição Nacional dos INCT. Fonte: Modificado de IBGE (<http://mapas.ibge.gov.br/>)

A grande maioria dos INCT iniciou em 2009 em uma amplitude Nacional, reunindo grupos de pesquisas para promover análises, pesquisas científicas e novas tecnologias em suas áreas de concentração, visando articulação dos Pesquisadores. Além disso, um grande número de empresas de

diferentes portes também coopera com os INCT, visando objetivos convergentes no desenvolvimento da ciência. Dentre os INCT que surgiram em 2009, pode-se destacar o INCT de Energia e Ambiente (INCT EA), que possui sua sede na Universidade Federal da Bahia, no Centro Interdisciplinar de Energia e

Ambiente (CIEnAm). O INCT EA é uma rede nacional de grupos de pesquisa, formada para estudar, de forma concertada, a preparação de biocombustíveis, associada à valorização de seus dos co-produtos (Figura 2); a formulação e certificação de combustíveis e de misturas de combustíveis

fósseis e biocombustíveis; a combustão em motores estacionários e em dinamômetro de rolos; e o impacto dos gases e material particulado (em escala micrométrica e nanométrica) emitidos na atmosfera de centros urbanos brasileiros.⁴

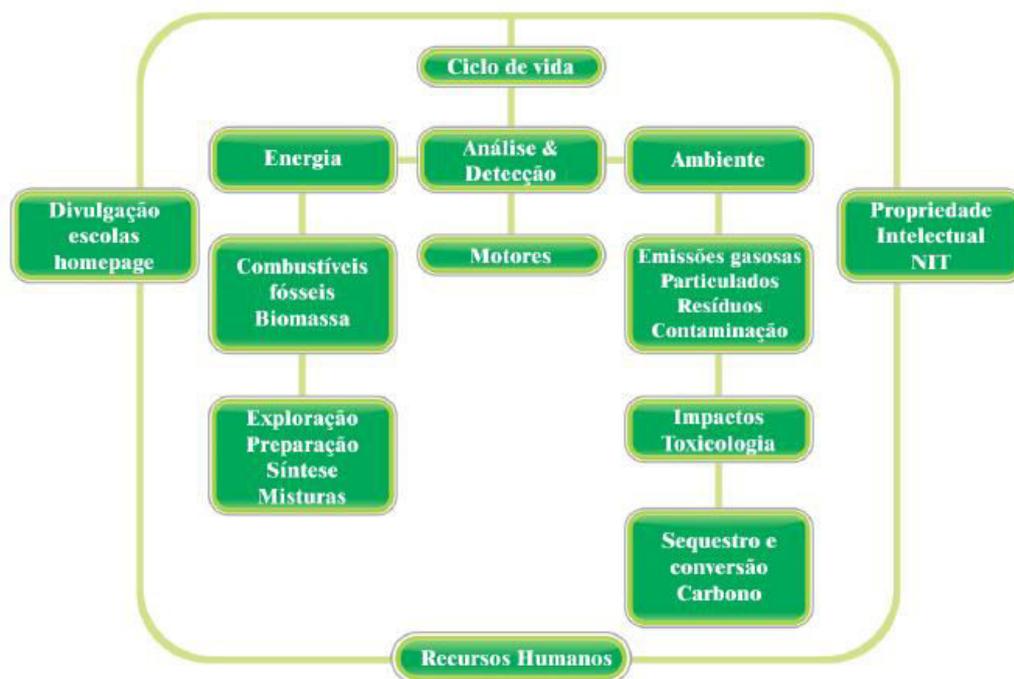


Figura 2. Representação organizacional do Ciclo de vida do INCT EA. Fonte: INCT EA⁴

O INCT EA surgiu reunindo grupos de pesquisas de diferentes estados da federação, com 59 pesquisadores de 39 grupos de pesquisa de 10 instituições.⁵ Os pesquisadores do INCT EA estão distribuídos em diferentes Estados Brasileiros. Na Bahia os pesquisadores trabalham em instituições como a UFBA, SENAI CIMATEC, UEFS, UNEB, UESB; em Sergipe na UFA e UNIT; outros na UFMG em Minas Gerais; UERJ e UFRJ no Rio de Janeiro; USP, UNICAMP, UFABC em São Paulo; UEL e UFPR no Paraná; UFSC em Santa Catarina; e UFRGS no Rio Grande do Sul, formando na sua base de articulação uma rede que interliga instituições no Brasil.⁴ Atualmente, o Instituto possui mais de 100 pesquisadores distribuídos em 27 instituições nacionais e internacionais.

O comitê gestor de pesquisadores do INCT

EA para a gestão de 2009 a 2015 é composto pelos seguintes membros: Jailson Bittencourt de Andrade, Ednildo Andrade Torres, Antônio Salvio Mangrich, Bernhard Welz, Claudio José de Araújo Mota, Elina Bastos Caramão, Leonardo Sena Gomes Teixeira, Luiz Pereira Ramos, Maria Goreti Rodrigues Vale, Pedro Afonso de Paula Pereira, Sérgio Luis Costa Ferreira.

A geração do conhecimento possui uma função essencial dentro das atividades do instituto e assim, inúmeras publicações são resultado do trabalho dos pesquisadores do INCT EA cujos resultados são divulgados em importantes periódicos nacionais e internacionais. Tais publicações precisam ser discriminadas nas ferramentas de avaliação dos INCT, feitas pela gestão operacional do CNPq, em articulação com outras entidades

que aportam recursos financeiros ao programa.

Atualmente, os INCT são avaliados por meio de relatórios anuais e de Seminários de acompanhamento e avaliação dos projetos. Dentre os principais quesitos que são enumerados e respondidos pelos coordenadores dos INCT, surgem algumas questões como: qualidade das pesquisas desenvolvidas e se o padrão de competitividade internacional na área de atuação são satisfatórias; os indicadores escolhidos pelo instituto possuem adequação para acompanhar o desempenho do grupo; a produção científica atende o proposto; os resultados das pesquisas possuem destaque e avanço tecnológico na área de atuação; como o instituto difunde conhecimento e como forma recursos humanos a exemplo de mestrados e doutorados com novos potenciais pesquisadores e; o instituto demonstrou articulação nacional com os outros institutos ou redes de pesquisa?

Os avaliadores dos Projetos ficam com uma tarefa complexa de leitura e análise dos mesmos, podendo ocorrer o estabelecimento de critérios importantes de forma equivocada, dificultando o processo de identificação do desempenho dos Institutos. Assim, é razoável afirmar que uma metodologia de avaliação oportuna para este tipo de análise fundamenta-se na teoria de redes.

As redes fazem parte de todo contexto que cerca a humanidade. Seja na internet, nas relações econômicas e comerciais, na rede virais e de transmissão de doenças e inclusive em redes de terrorismo.⁶ Os questionamentos que podem ser destacados no contexto de teoria de redes são: as variações possíveis de criação de redes, as possibilidades de análises das formas e estruturas que o sistema pode representar, quais sistemas podem ser mensurados e propriedades relativas à sua formação, dentre estes quesitos a forma como os dados são estruturados e projetados.⁷

Com o crescimento da complexidade e interatividade na conjuntura de dados,

muitas vezes é difícil fazer projeções, já que algumas chegam a conter milhões de vértices que são ligações entre objetos de estudo.⁷

Dentro do contexto das redes complexas, onde propriedades emergem na medida em que os sistemas (i.e. redes) crescem, é possível elaborar um instrumento para avaliar o desempenho de articulações geradas pelos pesquisadores de cada INCT. Tal avaliação necessitará de informações sobre as pesquisas desenvolvidas e publicadas em periódicos indexados pelos pesquisadores do instituto. Estas publicações compõem a lista de trabalhos publicados que são geralmente descritas em Relatórios de Atividade Anuais, disponíveis nas homepages dos INCT ou presentes na plataforma lattes dos respectivos pesquisadores.

Considerando as coautorias de publicações de artigos, a teoria de redes pode ser uma excelente ferramenta para auxiliar no desenvolvimento de modelos de avaliação de desempenho de projetos de pesquisa visando a explicação e a predição do comportamento da rede de colaboração formada. Dessa forma, este trabalho visou avaliar o comportamento da rede de colaboração do INCT EA no período de 2009 a 2014 (Primeiro ciclo do Projeto). Além disso, foi realizada uma análise das articulações de colaboração entre os pesquisadores antes de fazerem parte da rede (2004 a 2008).

Vale ressaltar que o Programa INCT lançado em 2008 pelo Ministério de Ciência e Tecnologia tem sido avaliado em vários momentos pelo CNPq, sendo este Programa de primordial importância para viabilizar ações concertadas de ciência, tecnologia, inovação, formação de recursos humanos, divulgação científica, transferência de conhecimentos para a sociedade, governo e empresas, acopladas a uma grande mobilidade de estudantes e profissionais. O sucesso alcançado por este Programa o qualifica para que seja potencializado e continuado, em benefício do País e da Sociedade.

2. Teoria de Redes

As redes sociais e complexas são sistemas cujas teorias, quando aplicadas em determinado problema, podem responder de forma simples e prática diversas categorias de questionamentos, dentre eles o impacto da estrutura de uma rede a partir das relações estabelecidas entre entidades. Tais teorias possuem propriedades não triviais que são importantes para a interpretação e descrição de problemas de diversas áreas do conhecimento.

Dentre as propriedades de redes sociais e complexas podemos destacar a densidade, o coeficiente de aglomeração médio, o caminho mínimo médio, a distribuição de graus e as medidas de preeminência de vértices. Através da análise das propriedades de uma rede é possível extrair correlações significativas que antes não podiam ser previstas a partir de uma compreensão isolada de cada uma das partes.

A teoria de redes vem sendo aplicada a tempos nos mais diversos campos do conhecimento e possui sua origem na teoria dos grafos. Uma rede pode ser caracterizada como um grafo e possui um conjunto de elementos chamados vértices ou nós, que por sua vez são ligados por elementos de outro conjunto, chamados arestas ou arcos.⁸

De uma forma geral, definimos uma rede social como um conjunto de pessoas ou grupos de pessoas que possuem algum padrão de contato, interação ou relacionamento entre elas.⁹ Já uma rede complexa possui propriedades que as diferenciam dos grafos não complexos, de modo que a emergência de algumas propriedades dessas redes não existe em redes não complexas e em redes regulares.

À guisa de síntese, Pereira¹⁰ argumenta que:

Muitas redes sociais e complexas possuem propriedades não triviais, inexistentes em modelos mais simples. Essas redes são sistemas complexos que, em geral, envolvem

inúmeros elementos organizados em estruturas que podem existir, ou coexistir, em diferentes escalas. Seus processos de ação e de organização não são usualmente descritos por regras simples ou redutíveis a apenas um nível explanatório. Frequentemente, suas características principais emergem de interações entre suas partes constituintes e não podem ser previstas a partir de uma compreensão isolada de cada uma destas partes. (PEREIRA, 2013, p. 39)

No âmbito das redes complexas, uma tarefa importante é sua caracterização topológica. De forma simplificada, podemos usar os seguintes índices para caracterizar uma rede como aleatória, livre escala ou mundo pequeno: o caminho mínimo médio (L), o coeficiente de aglomeração médio (C) e a distribuição de graus.¹¹ Dessa forma, podemos definir uma rede como sendo mundo pequeno, quando o seu C for muito maior que o coeficiente de aglomeração médio de uma rede aleatória equivalente e que seu L for comparável com o caminho mínimo médio da mesma rede aleatória.

Já para observar a topologia de uma rede livre de escala, devemos calcular a sua distribuição de graus e averiguar se segue uma lei de potência. Um modelo de rede livre de escala baseado em duas propriedades (i.e. o crescimento contínuo e a ligação ou adesão preferencial) foi proposto por Barabási e Albert (1999)¹² para capturar o efeito de que alguns vértices são altamente conectados enquanto outros têm poucas conexões.

Dentro do contexto descrito anteriormente, é possível aplicar a teoria de redes em busca da avaliação de relacionamentos de pesquisadores no âmbito de um projeto de pesquisa em que estão envolvidos vários outros pesquisadores. Dessa forma, são avaliadas as capacidades individuais de cada pesquisador na construção do conhecimento científico relacionando seu fluxo de informação através da análise dos índices obtidos na construção da rede. Para tanto, outro aspecto que merece destaque é a centralidade. Os índices associados à centralidade são capazes de

indicar a presença de pesquisadores importantes no desenvolvimento do projeto e disseminação do conhecimento, sob as perspectivas local e global.

3. Metodologia

3.1. Elaboração do Banco de dados

Objetivando avaliar o grau de interação entre os pesquisadores do Instituto, buscou-se a representação por meio de redes. Para a montagem da Rede de Colaboração do INCT EA foram utilizados como fonte de coleta de dados os relatórios anuais do INCT EA, o site institucional (<http://www.inct.cienam.ufba.br/site/>) onde possuem descrições das publicações anuais e por fim análise do currículo lattes na plataforma CNPQ (<http://www.cnpq.br/>) para todos os pesquisadores pertencentes da rede.

A ênfase da pesquisa converge para a análise de publicações em periódicos, portanto, excluem-se deste contexto dissertações de mestrado, teses doutorado, livros publicados, capítulos de livros e patentes que também são resultados de trabalhos de colaboração.

O universo da pesquisa trata dos anos de 2009 (ano de criação do Instituto) até 2014. Os dados foram coletados e as publicações enumerados em planilhas, separadas por ano de publicação. Como parâmetros de análise foram também analisadas as publicações dos pesquisadores participantes do INCT EA nos 5 anos anteriores à criação do Instituto para que pudesse ser verificado o grau de colaboração comparativo antes e depois da criação do INCT-EA. Para elaboração do banco de dados dos 5 anos anteriores a criação do projeto, foram prospectadas informações de publicações no currículo lattes de todos os pesquisadores do INCT EA. Através de todas as publicações encontradas, foram apenas selecionadas aquelas que estavam dentro de tema do instituto (Energia

e Ambiente) para compor o banco de dados. Portanto, os pesquisadores que não mantêm seus currículos atualizados com as informações de publicações podem gerar falta de dados para a criação da rede de colaboração antes da criação do INCT EA.

3.2. Estabelecimento e análise da rede

Os índices de rede são importantes para definição das características e comportamento das redes analisadas. Desta forma, são identificados: o tamanho da rede, a forma como seus componentes interagem, a quantidade de ligações entre os nós (representados pelos pesquisadores), a forma como se distribui a conectividade entre os atores. O tamanho da rede é representado pela maior distância entre dois nós da rede. O caminho menor, além de identificar os nós centrais da rede e os nós que possuem maior conectividade é a representação mais importante da rede.

Dessa forma, foram analisadas as redes que envolveram os pesquisadores e sua interatividade, bem como o processo de coautoria entre participantes do INCT EA no período descrito. Os principais índices analisados foram: caminho mínimo médio, a distribuição de graus, coeficiente de aglomeração, densidade, diâmetro, centralidade e proximidade e quantidade de componentes.

Para preservar a identidade dos pesquisadores optamos por usar um código no seguinte formato: "Pesq#", onde # é um número sequencial de 1 a n.

4. Resultados e discussão

4.1. Cenário

Usando o banco de dados como ponto de partida, foram criadas quatro redes de coautoria: (1) Rede de coautoria baseada na

produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA, cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008), doravante chamada de **Rede Antes** (Figura 3a); (2) Rede de coautoria baseada na produção intelectual somente dos pesquisadores pertencentes ao INCT EA, cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008), excluídos os coautores que não são vinculados ao instituto, doravante chamada de **Rede Pesquisadores Antes** (Figura 3b); (3) Rede de coautoria baseada na

produção intelectual dos pesquisadores e coautores vinculados ao INCT EA de 2009 a 2014, doravante chamada de **Rede INCT EA** (Figura 3c); e (4) Rede de coautoria baseada na produção intelectual somente dos pesquisadores vinculados ao INCT EA de 2009 a 2014, excluídos os coautores que não são vinculados ao instituto, doravante chamada de **Rede Pesquisadores do INCT EA** (Figura 3d). Na Figura 3, estão apresentadas as redes criadas.

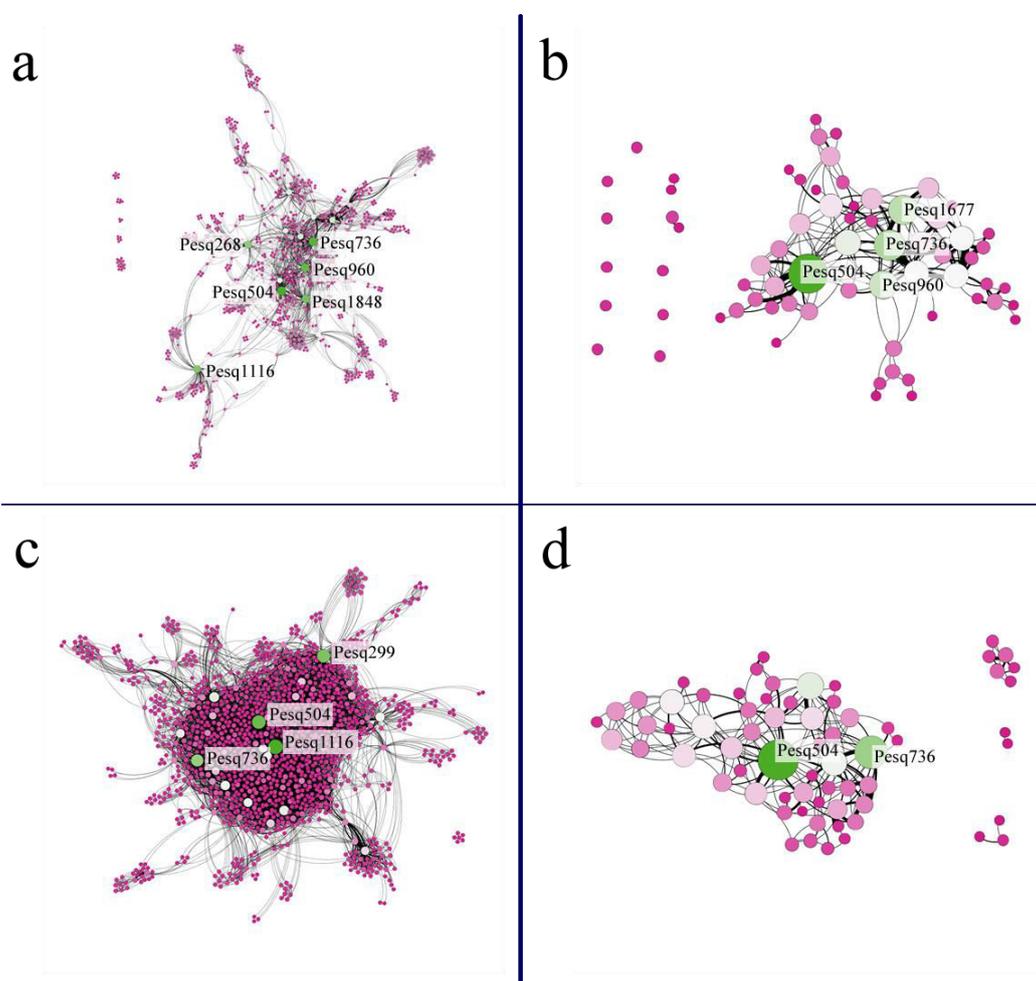


Figura 3. Redes de coautoria: a) Rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA, cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008); b) Rede de coautoria baseada na produção intelectual somente dos pesquisadores pertencentes ao INCT EA, cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008), excluídos os coautores que não são vinculados ao instituto; c) Rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores vinculados ao INCT EA de 2009 a 2014; d) Rede de coautoria baseada na produção intelectual somente dos pesquisadores pertencentes ao INCT EA excluídos os coautores que não são vinculados ao instituto de 2009 a 2014. Fonte: Autores, 2016

As redes de coautoria baseadas na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA, antes e depois da criação do instituto, foram desenhadas usando o algoritmo ForceAtlas2¹³ que, ao estimular um sistema físico onde há uma dependência entre os vértices (e.g. repulsão de vértices, similar a partículas carregadas ou atração de vértices por suas arestas, similar a molas), cria-se uma distribuição espacial que nos ajuda a interpretar a rede.

O diâmetro dos vértices está associado a seus graus; em outras palavras, quanto mais coautores um pesquisador tiver, maior será o tamanho do vértice que o representa. Usamos também um padrão de cores (de magenta para verde, passando pelo branco) para destacar na rede os vértices mais importantes em termos de graus (os vértices em verde são aqueles mais importantes). Pela inspeção visual, dois pesquisadores chamam a atenção por estarem nas quatro redes (Figuras 3a, 3b, 3c e 3d) entre os mais

importantes: Pesq504 e Pesq736, ambos são membros do comitê gestor INCT EA.

Com as redes supracitadas, foi realizado um cotejamento entre o *modus faciendi* dos pesquisadores antes e depois da criação do INCT EA, assim como entre o comportamento dos pesquisadores pertencentes ao INCT EA cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008) e de 2009 a 2014, excluídos os coautores que não são vinculados ao instituto.

A análise comparativa realizada considerou aspectos quantitativos e qualitativos. Na Tabela 1, são apresentadas as propriedades estatísticas das redes analisadas. Cabe destacar que os nomes das redes foram definidos no início desta seção, exceto as redes que apresentam as letras RD em seu nome (i.e. Rede RD Antes, Rede RD Pesq. Antes, Rede RD INCT EA e Rede RD Pesq. INCT EA). Essas redes são redes aleatórias criadas a partir do número de vértices e grau médio das redes reais equivalentes.

Tabela 1. Propriedades estatísticas das redes de coautoria

Redes	$n= V $	$m= E $	$\langle k \rangle$	D	Δ	Mod.	C	L	Qt. Comp.
Rede Antes	843	3624	8,59	10	0,010	0,791	0,86	4,00	6
Rede Antes *	812	3545	8,73	10	0,011	0,782	0,85	4,00	1
Rede RD Antes	812	3313	8,16	11	0,005	0,298	0,006	4,03	1
Rede Pesq. Antes	68	169	4,97	6	0,074	0,49	0,61	2,91	12
Rede Pesq. Antes *	55	167	6,07	6	0,112	0,48	0,61	2,92	1
Rede RD Pesq. Antes	55	167	6,07	5	0,056	0,31	0,055	2,00	1
Rede INCT EA	1415	6724	9,50	8	0,007	0,766	0,85	3,85	2
Rede INCT EA *	1409	6709	9,52	8	0,007	0,768	0,85	3,85	1
Rede RD INCT EA	1409	6580	9,34	15	0,003	0,267	0,003	4,43	1
Rede Pesq. INCT EA	66	188	5,69	5	0,088	0,532	0,60	2,53	4
Rede Pesq. INCT EA *	55	175	6,36	5	0,118	0,479	0,58	2,54	1
Rede RD Pesq. INCT EA	55	183	6,65	5	0,062	0,279	0,04	1,95	1

Legenda: $n=|V|$: nº de vértices; $m=|E|$: nº de arestas; $\langle k \rangle$: grau médio; D : diâmetro; Δ = densidade; Mod. : modularidade; C : coeficiente de aglomeração médio; L : caminho mínimo médio; Qt. Comp. : quantidade de componentes.

* Rede do maior componente usada para verificar a existência do fenômeno mundo pequeno pelo método de Watts e Strogatz (1998).

Fonte: Autores, 2016.

Apesar do INCT EA possuir em sua criação (2009) 59 pesquisadores, no período de 2009 a 2014 foram credenciados novos membros, totalizando 70 pesquisadores até 2014. Espera-se que o número de vértices corresponda ao número total de pesquisadores (70). Isto não foi observado (Tabela 1), visto que na rede criada para o período existem 4 pesquisadores que não publicaram trabalhos associados ao tema de Energia e Ambiente, logo estes pesquisadores não entram na rede de colaboração científica do INCT EA (ver Rede Pesq. INCT EA na Tabela 1).

4.2. Caracterização topológica

Os métodos propostos por Watts e Strogatz (1998)¹¹ e Barabási e Albert (1999)¹² para realizar a análise da topologia das redes de coautoria foram utilizados. De acordo com Watts e Strogatz (1998)¹¹ e Watts (1999),¹⁴ uma rede apresenta o fenômeno mundo pequeno (do inglês: *small world*) se seu

coeficiente de aglomeração médio for muito maior que o de uma rede aleatória (Tabela 1) e seu caminho mínimo médio for similar ao da mesma rede aleatória criada pelo modelo $G(n, p)$ de Erdős e Rényi (1960).¹⁵ Podemos concluir que as redes analisadas apresentam o fenômeno mundo pequeno, i.e. possuem pesquisadores que localmente são altamente conectados e, quando a rede tende a crescer, o caminho mínimo médio cresce de maneira logarítmica. Isso significa que são eficientes em termos de fluxo de informação.

Por outro lado, ao analisarmos as distribuições de graus da (1) rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA, cinco antes da criação do instituto (Figura 4a); e (2) rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores vinculados ao INCT EA de 2009 a 2014 (Figura 4b), observamos que há indícios que ambas as distribuições seguem uma lei de potência na forma $P(k) \sim k^{-\gamma}$, com ajustes $R^2 = 0,70$ e $R^2 = 0,71$, respectivamente.

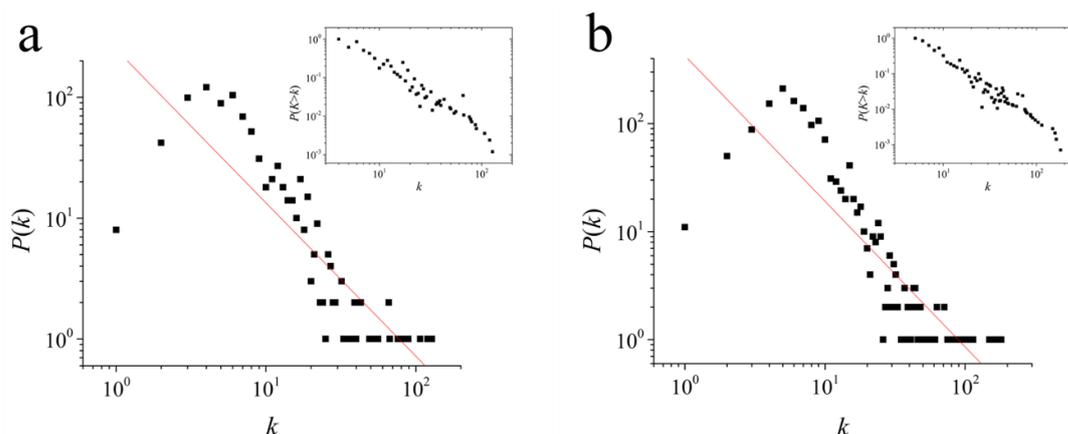


Figura 4. Distribuições de graus das redes de coautoria: a) Distribuição de graus da rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA, cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008), com o $\gamma = 1.26 \pm 0,11$ e ajuste $R^2 = 0,70$; b) Distribuição de graus da rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores vinculados ao INCT EA de 2009 a 2014, com $\gamma = 1.34 \pm 0,10$ e ajuste $R^2 = 0,71$. Os *insets* apresentam suas respectivas distribuições de graus cumulativas. Fonte: Autores, 2016

As distribuições de graus das redes de coautoria apresentadas permitem-nos sugerir que as redes são livres de escala. Isso significa que existem, em ambas as redes de coautoria, muitos pesquisadores com poucas conexões e poucos pesquisadores com muitas conexões. Esse tipo de comportamento indica que os autores com maior número de coautores continuarão nessa condição com o crescimento das redes.

As redes de coautoria baseada na produção intelectual somente dos pesquisadores pertencentes ao INCT EA antes e depois da criação do instituto, excluídos os coautores que não são vinculados ao instituto, não apresentam distribuições com comportamentos definidos (e.g. distribuição normal ou lei de potência).

4.3. Análise dos autores preeminentes

Um dos aspectos importantes da análise de redes sociais é o estudo sobre a importância dos atores em uma rede. Das várias medidas disponíveis, optamos por usar

a centralidade de grau e de intermediação, uma vez que com elas cobrimos local e globalmente conceitos relacionados com as posições estratégicas dos atores das redes estudadas. A seguir, faremos uma síntese breve sobre as duas centralidades com base em Freeman (1978/9)¹⁶ e Wasserman e Faust (1994).¹⁷

A **centralidade de graus** é uma medida de importância local que pode ser interpretada como a oportunidade de um ator influenciar e ser influenciado diretamente; esta propriedade do vértice dá-nos uma noção intuitiva de como bem conectado um vértice está dentro de seu ambiente local. Considerando a aplicação em uma rede de coautoria, usamos esta medida para observar a atividade na comunicação com vistas à produção intelectual de cada pesquisador.

Na Tabela 2, estão apresentados os dez mais importantes pesquisadores em termos de centralidade de graus na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA, cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008).

Tabela 2. Relação dos dez pesquisadores com as maiores centralidades de graus na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008)

Rede Antes		Rede Pesquisadores Antes	
Pesquisadores	Centralidade de grau	Pesquisadores	Centralidade de grau
Pesq504*	95	Pesq504*	23
Pesq736*	93	Pesq736*	18
Pesq960	89	Pesq1677	17
Pesq1848*	84	Pesq960	16
Pesq1116*	79	Pesq1848*	14
Pesq268	77	Pesq1959*	13
Pesq1959*	60	Pesq1889*	13
Pesq1677	57	Pesq1002	13
Pesq299*	54	Pesq268	12
Pesq1420*	50	Pesq60	11

*membros do comitê gestor INCT EA. Fonte: Autores, 2016.

Foi indicado em amarelo na Tabela 2 os 10 pesquisadores mais importantes em termos de quantidade de coautores (70%) que se mantiveram na rede de coautoria, após a retirada dos coautores que não são vinculados ao instituto. Esta análise nos permite notar que há uma articulação benéfica entre os pesquisadores para manterem parcerias em termos de produção científica. É importante destacar que, dentre os pesquisadores supracitados mais

importantes, 50% compõem o comitê gestor. Isto significa que a articulação destes pesquisadores contribuiu com a formação do INCT EA.

Na Tabela 3, estão apresentados os dez mais importantes pesquisadores em termos de centralidade de graus na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA depois da criação do instituto (i.e. 2009 a 2014).

Tabela 3. Relação dos dez pesquisadores com as maiores centralidades de graus na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores depois da criação do instituto (i.e. 2009 a 2014)

Rede INCT EA		Rede Pesquisadores INCT EA	
Pesquisadores	Centralidade de grau	Pesquisadores	Centralidade de grau
Pesq1116*	163	Pesq504*	26
Pesq504*	147	Pesq736*	18
Pesq299*	139	Pesq1848*	15
Pesq736*	125	Pesq659	14
Pesq1848*	92	Pesq863	13
Pesq448*	90	Pesq960	12
Pesq1959*	85	Pesq1045	12
Pesq803	83	Pesq1116*	11
Pesq1501*	79	Pesq1420*	11
Pesq960	76	Pesq1555	11

*membros do comitê gestor INCT EA. Fonte: Autores, 2016.

Com a criação do INCT EA, pode-se perceber que, apesar da redução do número de pesquisadores, após a retirada dos coautores que não são vinculados ao instituto, 50% dos pesquisadores mais importantes em termos de coautoria (indicados em amarelos) se mantiveram na rede de coautoria. Isso significa que alguns coautores que não são vinculados ao

instituto estabelecem um número grande de parcerias refletidas em suas publicações em termos de coautoria. Os interesses do INCT EA tendem a serem respeitados, devido a basicamente dois fatores: (1) o instituto possui muitos pesquisadores dentre os mais importantes em sua rede de coautoria e (2) 80% dos pesquisadores mais importantes fazem parte do comitê gestor do instituto,

incluindo o coordenador, na rede total de coautoria.

A **centralidade de intermediação** permite-nos observar quão estratégica é a localização de um ator na rede, entendendo-a como um emaranhado de canais de comunicação. É uma medida calculada considerando toda a rede. Nesse sentido, um vértice que ocupa uma posição privilegiada em termos de intermediação pode influenciar o grupo restringindo ou distorcendo a informação.^{16,17}

Sua aplicação em uma rede de coautoria permite-nos observar o potencial que um pesquisador tem para o “controle” da informação que transita na rede.

Na Tabela 4, apresentamos os dez mais importantes pesquisadores em termos de centralidade de intermediação na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA, cinco anos antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008).

Tabela 4. Relação dos dez pesquisadores com as maiores centralidades de intermediação na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores antes da criação do instituto (i.e. 2004 a 2008)

Rede Antes		Rede Pesquisadores Antes	
Pesquisadores	Centralidade de intermediação	Pesquisadores	Centralidade de intermediação
Pesq504*	0,251	Pesq504*	0,258
Pesq1116*	0,174	Pesq1889*	0,213
Pesq268	0,165	Pesq736*	0,183
Pesq736*	0,161	Pesq889	0,172
Pesq1889*	0,114	Pesq1677	0,153
Pesq960	0,114	Pesq268	0,114
Pesq1848*	0,099	Pesq494	0,114
Pesq66	0,084	Pesq960	0,097
Pesq1571	0,079	Pesq299*	0,091
Pesq1677	0,075	Pesq1848*	0,078

*membros do comitê gestor INCT EA. Fonte: Autores, 2016.

Similarmente ao que sucedeu aos pesquisadores em termos de centralidade de graus, notamos que 80% dos pesquisadores (indicados em amarelo) se mantiveram na rede de coautoria, após a retirada dos coautores que não são vinculados ao instituto. Por outro lado, cerca de 50% dos pesquisadores que compõem o comitê gestor fazem parte da rede de coautoria antes da criação do instituto. Notamos que estes pesquisadores potencialmente controlam a informação que flui na produção científica de certa forma associada ao INCT EA.

Na Tabela 5, estão apresentados os dez mais importantes pesquisadores em termos de centralidade de intermediação na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores pertencentes ao INCT EA depois da criação do instituto (i.e. 2009 a 2014).

Na Rede INCT EA, podemos perceber que em torno de 70% dos pesquisadores mais importantes em termos de intermediação compõem o comitê gestor do instituto. Esse resultado, indica-nos que o controle da

informação está concentrado entre os pesquisadores que compõem o comitê gestor e a Rede INCT EA.

Tabela 5. Relação dos dez pesquisadores com as maiores centralidades de intermediação na rede de coautoria baseada na produção intelectual dos pesquisadores e coautores depois da criação do instituto (i.e. 2009 a 2014)

Rede INCT EA		Rede Pesquisadores INCT EA	
Pesquisadores	Centralidade de intermediação	Pesquisadores	Centralidade de intermediação
Pesq504*	0,206	Pesq504*	0,327
Pesq1116*	0,203	Pesq736*	0,122
Pesq299*	0,121	Pesq1848*	0,119
Pesq1848*	0,093	Pesq1867*	0,115
Pesq1501*	0,090	Pesq863	0,086
Pesq803	0,082	Pesq494	0,066
Pesq736*	0,074	Pesq1045	0,061
Pesq448*	0,067	Pesq448*	0,059
Pesq653	0,060	Pesq1116*	0,053
Pesq1257*	0,058	Pesq659	0,051

*membros do comitê gestor INCT EA. Fonte: Autores, 2016.

Uma vez criado o INCT EA, percebemos que, após a retirada dos coautores que não são vinculados ao instituto, 50% dos pesquisadores mais importantes em termos de intermediação (indicados em amarelos) se mantiveram na rede de coautoria. Isso significa que alguns coautores que não são vinculados ao instituto, ao estabelecerem parcerias devido suas expertises, posicionam-se em localizações estratégicas que lhes permitem intermediar algumas articulações relacionadas ao instituto.

De uma forma geral, pode-se dizer que o INCT EA possui uma excelente representatividade de pesquisadores que participam das discussões estratégicas das atividades do instituto. Além disso, há um pesquisador que faz parte da coordenação do instituto que apresentou maior centralidade de graus e de intermediação, caracterizando

seu papel importante no instituto como articulador da rede de colaboração científica do INCT EA.

5. Conclusões

A forma de organização da pesquisa em temas estratégicos em grandes redes de cientistas e instituições requer cada vez mais o desenvolvimento de ferramentas que permitam identificar a participação individual e coletiva. O uso da teoria de redes como ferramenta é apropriada para analisar a colaboração científica em termos de rede de coautoria.

O estudo das redes do INCT EA (antes e depois de sua criação) apresentaram comportamentos similares; existem poucos pesquisadores com um número muito grande

de coautores e existem muitos pesquisadores com número reduzido de coautores; possivelmente por haver um núcleo de pesquisadores que já possuíam uma articulação informal. Entretanto, estas Redes apresentam o fenômeno mundo pequeno. Isto significa que são redes eficientes em termos de fluxo de informação. Nesse sentido, os membros do comitê gestor possuem papel importante na disseminação do conhecimento e este fator é bem caracterizado na rede de colaboração formada pelo INCT EA, reafirmando o compromisso dos pesquisadores para o Instituto.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB (Termo de Outorga de Bolsa No. BOL 0683/2013) e CNPq Processo 573783/2008-0. Ademais, agradecemos ao INCT EA e à Faculdade SENAI CIMATEC.

Referências Bibliográficas

- ¹ Souza-Paula, M. C.; Villela, A. B. C. Programas nacionais de ciência e tecnologia: dos indivíduos às redes. *Parcerias Estratégicas* **2014**, *19*, 143. [[Link](#)]
- ² Institutos Nacionais de Ciências e Tecnologias. INCT. Descritivo dos INCT 2008, 206. [[Link](#)]
- ³ Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – INCT. Memória do Programa INCT. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. [[Link](#)]
- ⁴ Sítio do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energia e Ambiente – INCT EA. Disponível em <<http://www.inct.cienam.ufba.br>>. Acesso em: 10 dezembro 2015.
- ⁵ Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energia Ambiental (INCT – EA). *Annual Activity Report INCT EA*. São Carlos: Cubo, 2009. [[Link](#)]
- ⁶ Newman, M.; Barabási, A.; Watts, D. J. The structure and dynamics of Networks. Princeton University Press, 2006. [[Link](#)]
- ⁷ Newman, M.E.J. *Networks An Introduction*. Oxford, 2010. [[Link](#)]
- ⁸ Barabási, A. *Linked. How Everything is Connected to Everything else and What it means for Business, Science, and Everyday Life*. Cambridge: Plume, 2003.
- ⁹ Wasserman, S.; Faust, K.; *Social Network Analysis: methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- ¹⁰ Pereira, H. B. B. Redes Sociais e Complexas: Aplicações em Difusão do Conhecimento. *Academia de Ciências da Bahia: Memória* **2013**, *3*, 39. [[Link](#)]
- ¹¹ Watts, D. J.; Strogatz, S. H. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature* **1998**, *393*, 440. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹² Barabási, A. L.; Albert, R. Emergence of Scaling in Random Networks. *Science* **1999**, *286*, 509. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹³ Jacomy, M; Venturini, T; Heymann, S; Bastian, M. ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. *Plos One* **2014**, *9*, 98679. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁴ Watts, D. J. Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon. *American Journal of Sociology* **1999**, *105*, 493. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Erdős, P.; Rényi, A. On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences* **1960**, *5*, 17. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Freeman, L. C. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification. *Social Networks* **1978-1979**, *1*, 215. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Wasserman, S.; Faust, K.; *Social Network Analysis: methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.