

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA

HENRIQUE SILVA DA COSTA

**EVOLUÇÃO DA REDE DE COPATENTEAMENTO EM TECNOLOGIAS VERDES:
UMA ANÁLISE DE 1997 A 2016**

JUIZ DE FORA - MG
2021

HENRIQUE SILVA DA COSTA

**EVOLUÇÃO DA REDE DE COPATENTEAMENTO EM TECNOLOGIAS VERDES:
UMA ANÁLISE DE 1997 A 2016**

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Eduardo Gonçalves

JUIZ DE FORA - MG
2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silva da Costa, Henrique.
EVOLUÇÃO DA REDE DE COPATENTEAMENTO EM
TECNOLOGIAS VERDES : UMA ANÁLISE DE 1997 A 2016 /
Henrique Silva da Costa. -- 2021.
47 f.

Orientador: Eduardo Gonçalves
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2021.

1. Tecnologias Verdes. 2. Redes de Copatenteamento. 3. Análise
de Redes Sociais. I. Gonçalves, Eduardo, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo apoio, por toda a amizade e carinho. Por serem meu maior suporte em todos os sentidos.

Agradeço à Vitória Luisa, por todo amor, carinho e companheirismo em todos estes anos, mesmo estando distante.

Aos amigos que tive o prazer de conhecer no curso de Economia, Matheus Araújo, Mateus João e Gustavo Luz, por tornarem essa caminhada de quatro anos mais agradável.

Agradeço ao meu orientador, Professor Eduardo Gonçalves, por todo aprendizado que me proporcionou e por incentivar meu interesse pela Economia da Tecnologia.

À Professora Juliana Gonçalves Taveira pelo auxílio com os dados utilizados neste trabalho.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação, e a todos os servidores que tornam possível o funcionamento do departamento de Economia da UFJF, e a UFJF como um todo.

RESUMO

Considerando as barreiras existentes ao desenvolvimento de tecnologias verdes, a colaboração entre inventores surge como uma ferramenta útil. Uma vez que a estrutura da rede de colaborações formada entre agentes influencia diretamente os resultados obtidos individualmente e do grupo como um todo, o presente trabalho tem objetivo de analisar a evolução das características estruturais da rede de copatenteamento de tecnologias verdes formada por diferentes países ao longo do período 1997-2016. Para tal, a metodologia escolhida foi a de Análise de Redes Sociais, que permitiu analisar a rede tanto visualmente como quantitativamente. Os resultados encontrados apontam que a rede cresceu em termos de países participantes e laços formados entre eles. Em todos os períodos, a rede apresentou uma estrutura bastante centralizada em um pequeno grupo de países principais, no qual Estados Unidos, Grã-Bretanha, Alemanha, França e Canadá merecem destaque. Países emergentes como Índia e China merecem atenção pela evolução apresentada ao longo do período analisado, uma vez que conseguiram, nos últimos períodos, alcançar posições bastante centrais na rede.

PALAVRAS CHAVE: Tecnologias Verdes; Redes de Copatenteamento; Análise de Redes Sociais

ABSTRACT

Considering the existing barriers to the development of Green Technologies, the collaboration between inventors arises as a useful tool. Once the structure of the network of collaboration formed between agents has a direct influence on the results obtained individually and for the group as a whole, this work has the objective of analyzing the evolution of the structural characteristics of the Green Technologies co-patenting network formed by different countries, during the period 1997-2016. For such, the methodology chosen was the Social Network Analysis, that allowed analyzing the network visually and also quantitatively. The results point out that the network grew in terms of countries and ties formed between them. In all the periods, the network presents a structure very centralized in a small group of main countries, in which United States, Great Britain, Germany, France and Canada stand-out. Emerging countries such as India and China deserve attention for their evolution over the analyzed period, once they achieved, in the last periods, very central positions in the network.

KEYWORDS: Green Technologies; Co-patenting Networks; Social Network Analysis

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de grafo	14
Figura 2: Exemplo de matriz de adjacência	15
Figura 3: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (1997-2001).....	24
Figura 4: Distribuição do grau de centralidade da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2001).....	27
Figura 5: Distribuição do grau ponderado da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2001)	28
Figura 6: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (2002-2006).....	29
Figura 7: Distribuição do grau de centralidade da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2002-2006).....	31
Figura 8: Distribuição do grau ponderado da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2002-2006)	31
Figura 9: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (2007-2011).....	33
Figura 10: Distribuição do grau de centralidade da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2007-2011).....	35
Figura 11: Distribuição do grau ponderado da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2007-2011)	35
Figura 12: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (2012-2016).....	37
Figura 13: :Distribuição do grau de centralidade da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2012-2016).....	39
Figura 14: Distribuição do grau ponderado da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2012-2016)	39
Figura 15: Distribuição do grau ponderado da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2012-2016)	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Panorama do patenteamento de tecnologias verdes por país (1997-2016).....	22
Tabela 2: Medidas estruturais da rede internacional de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2016)	25
Tabela 3: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2001).....	26
Tabela 4: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2002-2006).....	30
Tabela 5: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2007-2011).....	34
Tabela 6: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2012-2016).....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRICS – Brasil, Rússia, Índia e China

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

OMPI – Organização Mundial de Propriedade Intelectual

ONU – Organização das Nações Unidas

PCT – Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

TICs – Tecnologias de Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	9
3	METODOLOGIA E DADOS	14
3.1	Dados.....	19
4	RESULTADOS.....	21
4.1	Panorama do patenteamento de tecnologias verdes ao longo do período 1997-2016 21	
4.2	Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 1997- 2001	24
4.3	Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 2002- 2006	28
4.4	Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 2007- 2011	32
4.5	Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 2012- 2016	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Em décadas mais recentes, um movimento mundial de maior preocupação com questões ambientais tem se tornado cada vez mais evidente. Pode-se dizer que este movimento ganha força a partir da década de 1970, quando ocorre a primeira conferência, organizada pelas Nações Unidas, com intuito de discutir questões ambientais, a Conferência de Estocolmo. A partir daí, outras conferências colocaram em destaque o compromisso dos países com questões acerca das mudanças climáticas e do desenvolvimento sustentável, como as conferências Rio 92, realizada em 1992, Rio +10, de 2002 e Rio +20, de 2012. Na mesma tendência pró meio-ambiente, merece atenção o tratado de Kyoto, elaborado durante a década de 1990 com vistas em minimizar os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, em especial, por meio da criação de metas de redução da emissão de gases de efeito estufa aos países signatários.

Os impactos sobre o meio-ambiente causados pelas atividades humanas de produção e consumo podem e devem ser reduzidos e/ou revertidos, a fim de proporcionar uma melhor qualidade de vida a esta e às futuras gerações. Conforme aponta Montenegro (2016), inovações ambientais são o meio mais eficiente para que se mantenha equilíbrio entre o crescimento econômico concomitante à melhoria na qualidade de vida. Ultrapassando o conceito de crescimento, e seguindo o conceito de desenvolvimento econômico sob uma ótica schumpeteriana – segundo a qual o desenvolvimento de inovações tecnológicas é condição essencial ao desenvolvimento econômico – o surgimento de inovações tecnológicas com enfoque ambiental se torna condição *sine qua non* para que os países entrem em uma trajetória de desenvolvimento sustentável. Assim sendo, um novo paradigma tecnológico focado em cuidado ambiental precisa tomar corpo, no qual o desenvolvimento de novas tecnologias deve favorecer uma estrutura produtiva limpa em termos ambientais, além de gerar produtos ambientalmente amigáveis.

Conforme aponta Jabbour (2010), a literatura define o conceito de tecnologias ambientais de diferentes maneiras. A Agenda 21 das Nações Unidas, por exemplo, define as tecnologias ambientalmente saudáveis como “aquelas que protegem o meio-ambiente, poluem menos, utilizam os recursos de maneira mais sustentável e lidam com resíduos de uma maneira mais

aceitável que as tecnologias as quais elas se propõem a substituir”.¹ Tais tecnologias são muitas vezes chamadas de Tecnologias Verdes e, segundo a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), dentro desta definição são consideradas tecnologias de energias alternativas, transportes, conservação de energia, gerenciamento de resíduos e agricultura sustentável.

Segundo Mazzucato (2014), o desenvolvimento de tecnologias com enfoque ambiental é um fenômeno relativamente recente. Jabbour (2010) atenta ainda ao fato de que o desenvolvimento de tecnologias ambientais muitas vezes foge à lógica econômica de aumento de lucros, priorizando os benefícios ambientais. Dessa forma, pode-se imaginar que há uma série de barreiras à realização de P&D em tecnologias verdes, entre elas, elevados custos e um grau de risco maior do que o usual. Em vista desse contexto, a colaboração entre inventores pode ser uma ferramenta útil àqueles que buscam desenvolver tecnologias verdes. De fato, a colaboração entre entidades inovadoras acaba por dividir os custos das pesquisas e os riscos associados, além de promover difusão de novas tecnologias e gerar transbordamentos de conhecimento. A colaboração pode ainda facilitar o processo de inovação, tendo em vista que inventores e firmas distintas tendem a possuir uma gama de conhecimentos diferentes, e, muitas vezes, complementares.

Dado o papel que a colaboração entre inventores possui como facilitadora do processo inovativo, entende-se que esta pode ser uma ferramenta de alavancagem ao desenvolvimento de tecnologias verdes. Conforme apontam Borgatti, Everett e Johnson (2013), a estrutura da rede de relações formada por entidades que interagem é importante, pois molda os resultados obtidos pelos participantes de uma rede. O presente trabalho, portanto, se propõe a analisar a evolução da rede de copatenteamento de tecnologias verdes ao longo do período 1997-2016. O período sob estudo será subdividido em quatro quinquênios a fim de que se possa analisar a evolução das características da rede, através da comparação das redes relativas a cada quinquênio. Para a realização das análises, assim como em outros trabalhos (MAGGIONI; UBERTI; USAI, 2012; MAGGIONI; UBERTI, 2009; LI *et al.*, 2015), serão utilizadas técnicas de Análise de Redes Sociais². Mais especificamente, será construída uma rede de copatenteamento de tecnologias verdes para cada período analisado, na qual cada nó

¹ Definição disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf#page=305>>

² Questões acerca da metodologia de Análise de Redes sociais serão melhor explicadas ao longo da seção metodológica.

da rede representa um país. Em segundo lugar, serão utilizadas ferramentas de Análises de Redes Sociais para caracterizar a rede de colaborações em cada período, o que permitirá comparar as principais características das redes construídas. Por fim, serão analisadas as modificações na estrutura da rede e seus possíveis impactos sobre o desenvolvimento das tecnologias verdes.

Além desta introdução, este trabalho possui outras cinco partes. A segunda seção apresenta contribuições da literatura que ajudaram a motivar empírica e teoricamente este trabalho. Em especial, destacam-se trabalhos sobre colaborações entre inventores e questões adjacentes, trabalhos com ferramental metodológico similar ao deste – a saber, trabalhos que se utilizam da Análise de Redes Sociais - e estudos sobre o desenvolvimento de tecnologias verdes. A terceira seção tem objetivo de esclarecer a metodologia utilizada no presente trabalho, apresentando não apenas as medidas quantitativas que serão utilizadas, mas revisitando conceitos importantes da Análise de Redes Sociais. A seção seguinte apresenta a os resultados obtidos, enquanto a quinta e última seção encerra este trabalho com algumas considerações.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Tendo em vista o objetivo do presente trabalho, apresentado na introdução, esta seção buscou destacar alguns estudos que colaboram para sua motivação teórica e empírica. Em primeiro lugar, foi abordada a relevância do estudo das colaborações entre inventores. Posteriormente foram enfocados alguns trabalhos acerca dos determinantes da formação de laços em redes de copatenteamento, e discutidas algumas implicações das colaborações entre inventores de países distintos. Esta seção se encerra apresentando trabalhos que, assim como este, buscam analisar a estrutura das redes de colaboração com o propósito de obter respostas aos seus respectivos problemas de pesquisa - sendo alguns destes trabalhos focados na análise do desenvolvimento de tecnologias verdes.

Powell e Gianella (2010) utilizaram dados sobre patentes nas áreas de tecnologias aeroespacial, biotecnologia, comunicações ópticas, semicondutores e compostos farmacêuticos, durante o período 1975-2005, e chegaram à conclusão de que o número médio de inventores por patente aumentou ao longo período analisado. Em média, a colaboração entre inventores foi sendo progressivamente utilizada, em detrimento de invenções feitas por um único indivíduo. Tal resultado ajuda a demonstrar a necessidade do estudo mais aprofundado do fenômeno da colaboração entre inventores.

Desse modo, um aumento nas colaborações entre inventores pode ser reflexo de dois fatores. Primeiro, do aumento do estoque de conhecimento necessário para inovar – tornando cada vez mais difícil que um único inventor ou firma seja autossuficiente em inovação, incentivando, assim, a busca por conhecimentos externos de outros inventores. Além disso, a necessidade de mitigar custos e riscos associados ao processo inovativo pode ser um segundo fator que vem levando inventores a colaborar.

Outro resultado encontrado pelos autores foi o aumento da distância média entre inventores com o passar do tempo, que se explica não apenas pela melhoria nas tecnologias de informação e comunicação (TICs) – que facilitam a transferência de conhecimento entre indivíduos distantes - mas também pelo fato de que inventores distantes geograficamente – possivelmente de países distintos - tendem a possuir conhecimentos diferentes e, possivelmente, complementares, o que facilita a inovação.

O impacto da distância geográfica nas colaborações entre inventores, contudo, é motivo de debate entre os diversos autores. Apesar dos indícios de que a distância geográfica permanece atuando como uma das principais barreiras às colaborações (INOUE *et al.*, 2019; HOEKMAN, FRENKEN, OORT, 2009), alguns autores enfatizam que em períodos mais recentes este é um fator que perdeu poder impeditivo das colaborações (SCHERGENELL e LATA, 2012), graças à programas governamentais de incentivo à projetos colaborativos de P&D e à melhoria das tecnologias de informação e comunicação (TICs).

Uma vez compreendida a importância que as colaborações ganharam para a inovação tecnológica, o estudo deste fenômeno vem sendo extensivamente realizado. Em especial, alguns trabalhos têm intuito de melhor compreender os fatores determinantes das colaborações entre os inventores. Boschma (2005) merece destaque por nortear diversos estudos a este respeito, ao propor que os laços de colaboração são formados não apenas de acordo com a proximidade geográfica entre inventores, mas também por outras quatro dimensões de proximidade, a saber, as proximidades cognitiva, social, institucional e organizacional. Para o autor, apesar de tais proximidades serem importantes para a formação de laços de colaboração entre inventores, o excesso de proximidade em qualquer uma de suas dimensões pode gerar um efeito *lock-in*³, sendo prejudicial à inovação. Crescenzi *et al.* (2016) realizam um trabalho empírico a respeito dos determinantes da formação de laços de colaborações entre inventores ao estudar as colaborações inovativas do Reino Unido entre os anos 1978 e 2007. A proximidade organizacional se apresentou como um importante determinante das colaborações, enquanto a proximidade geográfica assume papel secundário, sendo determinante relevante apenas em conjunto com outras formas de proximidade.

As redes de colaboração entre inventores podem ainda estar ligadas a algumas questões econômicas. Wanzenbock e Piribauer (2018) estimaram o efeito da imersão de 229 regiões europeias em redes de P&D sobre a produção de conhecimento regional entre os anos 1998 e 2010. Como resultado encontraram que uma maior imersão nas redes de inovação tem um efeito positivo sobre produção de conhecimento regional a curto prazo, porém, com rápido decréscimo destes impactos ao longo do tempo. Os autores encontraram um aumento de mais de 0,5% na produção de conhecimento de uma região ao aumentarem em 1% o grau de

³ O efeito *lock-in* ocorre quando determinada entidade se torna “aprisionada” a determinada tecnologia, não conseguindo transpassa-la apesar da existência de tecnologias melhores. Arthur (1994) ressalta que até economias mais avançadas estão sujeitas ao aprisionamento em tecnologias inferiores.

centralidade desta no período imediatamente anterior. Além disso, regiões com menor dotação inicial de conhecimento – que em geral são regiões periféricas da rede - são as mais beneficiadas ao criarem novas ligações na rede de inovação.

Colaborações internacionais em inovação tecnológica podem trazer amplos benefícios aos envolvidos. Apesar das dificuldades de se compartilhar conhecimentos em meio a grandes distancias, os benefícios podem ser maiores que os custos em certos casos. Alnuaimi *et al.* (2012) analisam 238 corporações multinacionais do ramo de semicondutores sediadas nos Estados Unidos e suas respectivas subsidiárias ao longo do período 1980-2005. As evidências encontradas sugerem que patentes geradas por inventores de países distintos geram maior impacto. Além disso, a experiência de colaborar internacionalmente melhora a habilidade inovativa de um indivíduo. Foi encontrado que patentes geradas internamente tendem a ter 11,74% mais citações caso ao menos um membro do grupo de inventores tenha passado por uma experiência prévia de colaboração com inventores de outros países.

Giuliani *et al.* (2016) tem objetivo de compreender o impacto que as colaborações inovativas internacionais têm sobre os países emergentes. Brasil, China e Índia foram os escolhidos para a realização deste estudo, que cobriu o período 1990-2012. Ao diferenciarem as invenções feitas apenas por pessoal local daquelas feitas através de colaborações com países da União Europeia, descobriu-se que apenas 2% das patentes geradas no grupo de países emergentes eram em colaboração com a União Europeia, contudo, foi verificado que este tipo de patente possuía maior qualidade. A conclusão a que chegam é que a coinvenção envolvendo países emergentes e países da União Europeia pode ser uma ferramenta de *catch up*⁴ para o primeiro grupo, uma vez que através destas colaborações países emergentes têm a oportunidade de melhorar suas capacidades inovativas ao entrarem em contato com novos conhecimentos tecnológicos de fronteira.

Em suma, a escolha do presente estudo em analisar apenas patentes verdes geradas por meio de colaborações internacionais, portanto, tem intuito de captar inovações de alta qualidade e de fornecer uma perspectiva inicial sobre a extensão na qual os países de menor desenvolvimento tecnológico estão, aos poucos, se inserindo no cenário de inovações tecnológicas verdes através da colaboração com outros países.

⁴ O termo *catch up* significa alcançar. Conforme Pávoa (2008), o *catching-up* tecnológico consiste na redução das disparidades de desenvolvimento tecnológico existentes entre os países mais e menos desenvolvidos.

Em conformidade com o presente trabalho, alguns autores interessados em estudar colaborações entre entidades buscaram respostas na própria estrutura das redes. Borgatti, Everett e Johnson (2013) apresentam uma hipótese genérica da teoria das redes, segundo à qual a posição de um nó na rede determina suas restrições e oportunidades, o que deve refletir na performance deste nó. Estendendo esta hipótese pode-se dizer que os resultados de um grupo de agentes podem ser explicados, em parte, pela estrutura da rede de conexões existentes entre eles. Assim sendo, tanto a posição relativa de um país na rede como toda a estrutura da rede de copatenteamento de tecnologias verdes deve influenciar diretamente nas performances inovativas dos países.

Através de um referencial teórico semelhante, Cowan e Jonard (2003) e Cowan e Jonard (2004), por meio de simulações computacionais, analisam em que extensão a estrutura das redes de inventores influencia no nível de conhecimento agregado atingido por seus participantes e no grau de equidade de distribuição deste conhecimento. Como resultado, descobriram que o nível de conhecimento atingido depende não apenas da estrutura da rede, mas da capacidade de absorção de conhecimento dos agentes, não sendo possível apontar uma estrutura de rede mais eficaz neste sentido. Além disso, redes de caráter aleatório demonstraram maior equidade na distribuição dos conhecimentos gerados.

Alguns estudos merecem destaque pela escolha da mesma abordagem metodológica que este estudo se propõe a utilizar, a saber, Análise de Redes Sociais. Gao *et al.* (2011) utilizaram uma estratégia empírica bastante similar ao do presente trabalho ao analisar a evolução da estrutura da rede de copatentes das províncias chinesas dentro do período 1985-2007. Como resultado, encontraram que as colaborações se deram principalmente entre inventores de uma mesma região e internacionalmente, sendo a rede de colaborações inter-regional pouco expressiva. As províncias de Pequim, Xangai, Cantão e Jiangsu destacaram-se pelo elevado grau de centralidade nas redes de inovação. Em linhas gerais a rede de copatenteamento chinesa se tornou mais densa e menos centralizada com o passar do tempo, com expressivo aumento das colaborações internacionais. De Paulo e Porto (2017) utilizaram Análise de Redes Sociais para estudar as colaborações em pesquisas na área de energia solar através de artigos publicados entre 2000 e 2014. Verificou-se que boa parte das pesquisas na área de energia solar é feita por meio de colaborações, onde 75% dos trabalhos publicados apresentaram três autores ou mais. Colaborações internacionais se demonstraram predominantes em países como Espanha, Alemanha, França e Holanda.

Jeong *et al.* (2018) analisam a evolução do P&D em tecnologias verdes na Coreia do Sul, identificando as tendências de pesquisa na área durante o período entre os anos de 2011 e 2016. Por meio da Análises de Redes Sociais caracterizou-se a rede por meio das métricas de grau de centralidade, centralidade *closeness* e centralidade *betweness*, levando os autores à conclusão de que o P&D coreano em tecnologias verdes demonstrou-se voltado aos setores de energia renovável e eficiência energética. Além disso, os autores destacaram o importante papel do governo no suporte ao desenvolvimento destas tecnologias.

Conforme argumenta Mazzucato (2014), o desenvolvimento de tecnologias verdes ainda se encontra em estágios iniciais, o que gera grande incerteza a seu respeito, tanto em termos tecnológicos como em termos de mercado consumidor. O risco de se investir neste tipo de tecnologia leva a crer que apenas alguns poucos países estejam plenamente dispostos a se engajar neste tipo de P&D, em especial países com base tecnológica mais avançada. Espera-se, portanto, que a participação de países emergentes na rede de copatenteamento de tecnologias verdes seja pequena. Contudo, em vista às possibilidades de *catch up* tecnológico apontadas por Giuliani *et al.* (2016), é possível que países emergentes estejam buscando desenvolver tecnologias verdes por meio da colaboração com outros países, levando-os a contar com uma participação crescente na rede ao longo do tempo.

Com base no exposto até então acerca de estudos empíricos e teóricos, espera-se, com este trabalho, contribuir com a literatura de duas formas. Primeiro, ao levar em conta diversas classes tecnológicas verdes, tem-se o intuito de apresentar um panorama mais amplo, em contraposição à maioria dos trabalhos existentes, que têm enfoque em apenas algumas classes específicas de tecnologias verdes. Segundo, como o enfoque aqui escolhido é analisar a evolução das colaborações entre inventores, utiliza-se métodos de Análises de Redes Sociais, ferramenta ainda pouco explorada em estudos sobre tecnologias verdes. Por meio desta ferramenta, será possível conhecer de que forma a rede de copatenteamento de tecnologias verdes se estrutura, e como ela se modificou ao longo do tempo. Desse modo, será mais fácil delinear estratégias no intuito de modificar a estrutura da rede existente e torná-la mais eficiente no sentido de fomentar uma maior colaboração entre os países e um maior desenvolvimento de tecnologias verdes.

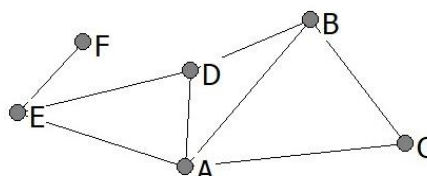
3 METODOLOGIA E DADOS

Uma vez que este trabalho busca analisar a evolução das características da rede internacional de copatenteamento em tecnologias verdes, faz-se necessário explicar ao leitor em que consiste a Análise de Redes Sociais, e, para tal, nesta seção serão apresentados alguns elementos básicos da teoria dos grafos. Além disso, esta seção tem por objetivo apresentar intuitiva e formalmente métodos e métricas que serão utilizadas para caracterizar as redes de copatenteamento, além de ser a seção na qual a base de dados da pesquisa será apresentada. Vale ressaltar que as questões metodológicas desta seção são baseadas nos trabalhos de Borgatti, Everett e Johnson (2013) e Vera (2011).

Tendo como referência Borgatti, Everett e Johnson (2013), compreende-se a Análise de Redes Sociais como uma ciência social cujo interesse é analisar as redes de relações entre entidades que participam de um sistema. De fato, esta é uma ciência de escopo bastante amplo, sendo ferramenta potencialmente útil para estudos em diversas áreas, desde as ciências sociais – analisando redes de relações interpessoais, como amizade ou colaborações entre inventores - até estudos nas áreas da saúde – onde seria possível utilizá-la, por exemplo, no estudo de espriamento de doenças. Para tornar possível a análise quantitativa destas relações, a Análise de Redes Sociais se interliga e é dependente de um ramo da matemática chamado teoria dos grafos.

A figura 1 apresenta um grafo bastante simples. Podemos supor, a título de ilustração, que nela esteja representada uma rede de copatenteamento entre países - seguindo o propósito deste trabalho. Neste sentido, os países participantes da rede são representados por círculos em cinza, nomeados de A até F. Se dois países trabalharam cooperativamente na geração de uma nova tecnologia verde, existirá uma linha interligando estes dois países. Compreende-se, portanto, que o país E gerou colaborativamente patentes com os países F, D, e A, enquanto o país F colaborou apenas com E.

Figura 1: Exemplo de grafo



Fonte: Elaborado pelo autor, utilizando o *software* UCINET 6

Um grafo seria uma maneira de conceber matematicamente uma rede de relações entre entidades. Formalmente tem-se que um grafo é composto por vértices e arestas – que também podem ser chamados de nós e laços, respectivamente. No caso acima, cada país se configura como um nó, e quando há uma colaboração entre dois países quaisquer existe um laço que os interliga. Um grafo G é tal que:

$$G(V, E) \quad (1)$$

onde V é um conjunto de nós e E é um conjunto de laços. Portanto, um grafo consiste em um conjunto de nós e laços.

Outra forma de conceber matematicamente uma rede é por meio de matrizes de adjacência. Seja K uma matriz na qual as linhas e colunas são compostas pelos agentes que colaboram, tem-se que o elemento k_{ij} da matriz assume valor 1 ou maior que 1, se os agentes i e j possuem um laço, e k_{ij} é igual a 0 caso os agentes i e j não se interliguem. No contexto do presente trabalho, vale ressaltar que dois países podem gerar mais de uma patente conjuntamente em determinado quinquênio, de forma que as entradas da matriz de adjacência podem assumir valores maiores que 1, de acordo com o número de patentes que foram geradas pela colaboração entre dois países. É possível, também dicotomizar a matriz de adjacência, de forma a tornar todas as entradas nas quais há interação entre os agentes iguais a 1, e iguais 0 caso contrário. Para facilitar a compreensão deste conceito, a figura 2 contém a representação em forma matricial da mesma rede que foi apresentada na figura 1.

Figura 2: Exemplo de matriz de adjacência

	1	2	3	4	5	6
	A	B	C	D	E	F
1	A	0	1	1	1	1
2	B	1	0	1	1	0
3	C	1	1	0	0	0
4	D	1	1	0	0	1
5	E	1	0	0	1	0
6	F	0	0	0	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor, utilizando o *software* UCINET 6

É importante perceber que a rede possui laços diretos e indiretos. Utilizando como exemplo o país F, nota-se que ele possui um laço direto com o país E, enquanto se interliga apenas de

forma indireta com todos os outros países. Supondo que F queira alcançar o país C, ele não pode fazê-lo diretamente pois não está conectado a ele. O país F, portanto, deverá utilizar um caminho indireto para alcançar C, e tal caminho é composto pelos laços existentes na rede. Ademais, existem vários caminhos possíveis para que o país F alcance C. Por exemplo, os caminhos E-D-A-B-C, E-D-B-C e E-A-C são opções possíveis, contudo, F alcançará C mais rapidamente ao escolher o caminho de menor comprimento, ou seja, E-A-C. Assim sendo, ressalta-se o conceito de distância geodésica, que consiste no comprimento do caminho mais curto que interliga dois nós na rede. Assim, a distância geodésica entre F e C é igual a três.

A partir da hipótese exposta em Borgatti, Everett e Johnson (2013) a respeito da estrutura das redes e sua influência sobre os resultados obtidos pelos agentes participantes desta – conforme mencionado na seção anterior - várias métricas foram desenvolvidas com propósito de caracterizar quantitativamente a estrutura das redes, levando em conta questões relacionadas ao formato e à coesão destas. Na monografia serão utilizadas as métricas de grau de centralidade, grau ponderado, e as centralidades dos tipos *closeness* e *betweenness* para a caracterização quantitativa dos nós nas redes. Além disso, as medidas de número de nós, número de laços, grau médio, grau médio ponderado, densidade, diâmetro, comprimento médio de caminho e coeficiente de *clustering* médio serão utilizadas a fim de caracterizar a estrutura da rede de cada quinquênio.

Compreende-se como grau de centralidade o número de laços que um nó possui. Assim, na figura 1, o país A possui grau de centralidade igual a quatro – pois possui laços com os países B, C, D e E - enquanto o país C tem grau dois, uma vez que se interliga apenas aos países A e B. Medidas de centralidade tem intuito de captar a extensão na qual um nó é importante para a estrutura da rede. O grau de centralidade de um nó é tal que:

$$d_i = \sum_j k_{ij} \quad (2)$$

Onde d_i é o grau de centralidade do nó i , e o termo $\sum_j k_{ij}$ representa o somatório dos elementos de uma linha ou coluna da matriz de adjacência dicotomizada.

No presente trabalho as redes são do tipo valoradas, ou seja, é levado em conta o fato de que dois países podem gerar mais de uma patente conjuntamente. O conceito de grau ponderado é importante exatamente por levar em conta não apenas o número de laços que um nó da rede possui, mas também o peso de cada laço. Intuitivamente, suponha que o nó A da rede representada na figura 1 possua dois laços com cada um dos outros nós aos quais ele já se conecta. Enquanto a medida de grau do agente A permanece com valor igual a 4, o grau ponderado de A será 8. Desta forma, a medida de grau ponderado, assim como a medida de grau de centralidade, consiste no somatório dos elementos de uma linha ou coluna da matriz de adjacência, contudo, tal matriz, no caso da medida de grau ponderado, não será dicotomizada.

Serão utilizadas outras duas medidas de centralidade, a saber, as centralidades dos tipos *closeness* e *betweenness*. A primeira leva em conta a soma das distâncias geodésicas de um nó a todos os outros nós da rede a fim de mensurar o quão próximo de todos os outros nós determinado agente se encontra. A centralidade *closeness* pode ser calculada como:

$$CC_i = \frac{N - 1}{\sum_j d(i, j)} \quad (3)$$

Onde CC_i é a centralidade *closeness* do nó i , N é o número de nós que a rede possui e o denominador indica o somatório das distâncias geodésicas entre i e quaisquer outros nós j , tal que $i \neq j$.

A centralidade *betweenness* mensura a frequência com a qual um determinado agente está no caminho de menor percurso entre dois outros, em suma, mede a extensão na qual determinado nó exerce função de “ponte” na rede. Supondo um nó j , sua centralidade *betweenness* pode ser calculada como:

$$B_j = \sum_{i < k} \frac{g_{ijk}}{g_{ik}} \quad (4)$$

Onde g_{ijk} é o número de caminhos geodésicos que passam por j ao conectar i e k , e g_{ik} é o número total de caminhos geodésicos entre i e k .

Para a caracterização da rede como um todo, além do número de nós e de laços, algumas outras métricas serão utilizadas. O grau médio, capta o número médio de laços que cada agente da rede possui. Formalmente, definimos grau médio como:

$$G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^j k_{ij} \quad (5)$$

Onde N é o número de nós da rede e $\sum_{i=1}^j k_{ij}$ é o somatório dos elementos k_{ij} de uma matriz de adjacência dicotomizada. A métrica supracitada é útil na medida em que fornece uma ideia do nível de coesão da rede, ou seja, se os agentes são muito ou pouco conectados entre si.

Uma vez que a rede estudada é valorada, a medida de grau ponderado médio é crucial para a sua caracterização estrutural. Esta métrica pode ser calculada exatamente como o grau médio, com a única diferença de que é preciso levar em conta uma matriz de adjacência não dicotomizada.

A densidade é outra medida com intuito de auferir o grau de coesão da rede, contudo, de uma maneira distinta do grau médio. A densidade é a razão entre o número de laços que os agentes da rede de fato formam e o total de laços possíveis, dado o número de agentes. Assim, temos que a medida de densidade é tal que:

$$D = \frac{2T}{N(N-1)} \quad (6)$$

Onde T é o número de laços formados, e N é o número de nós existentes na rede.

Outras medidas de rede serão necessárias neste trabalho, uma vez que, por si só, o grau médio, o grau médio ponderado e a densidade não ajudam a entender como os nós estão distribuídos. O diâmetro da rede é o elemento d_{ij} da matriz de distâncias geodésicas que possui maior valor, enquanto a métrica de comprimento médio de caminho quantifica a distância geodésica média entre os nós da rede, e é calculada como:

$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j} d_{ij} \quad (7)$$

Onde N é o número de nós da rede e d_{ij} é um elemento que contém a distância geodésica entre os agentes i e j de uma matriz D de distâncias geodésicas.

Uma última métrica utilizada para caracterizar a rede como um todo será o coeficiente de *clustering* médio, tal que:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{2E_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (8)$$

A intenção é quantificar o quão densas são as conexões próximas a um nó da rede, ou seja, a extensão na qual os vizinhos de determinado agente também estão conectados entre si. Assim, N é o número de nós da rede, i é um nó, $\frac{1}{2}k_i(k_i - 1)$ representa o número máximo de ligações possíveis entre os vizinhos de i , e E_i o número de ligações de fato existentes entre os vizinhos de i . De fato, o coeficiente de *clustering* funciona como uma medida de densidade para uma rede egocêntrica – ou seja, rede que considera apenas as conexões de determinado nó.

3.1 Dados

Os dados sobre patentes utilizados foram extraídos da base OECD REGPAT, de março de 2018. Foram considerados para a análise todos os países presentes na base da OECD que apresentaram ao menos uma patente verde colaborativa com outro país ao longo do período 1997-2016.⁵ Além disso, foram utilizadas apenas patentes requeridas sob o Tratado de

⁵ Em análises prévias foram construídas redes de copatenteamento de tecnologias verdes para períodos anteriores a 1997, contudo, percebeu-se que estas redes continham um número bastante reduzido de países. A partir do período 1997-2001 percebeu-se uma quantidade mais expressiva de países participantes na rede. Sendo assim, as redes formadas a partir de 1997 possibilitam uma análise mais interessante, e, portanto, são objeto de estudo do presente trabalho.

Cooperação em Matéria de Patentes⁶ (PCT). O PCT representa um instrumento facilitador àqueles interessados em requerer uma patente em mais de um país. Tradicionalmente, caso uma entidade queira patentear uma invenção em mais de um país é necessário depositar pedidos de patenteamento individuais em cada um dos países de interesse. Sob o PCT, é possível solicitar o patenteamento em um amplo número de países com um único pedido de patente, que pode ser realizado junto à Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI). Atualmente 153 países fazem parte do PCT.

Tendo em vista os objetivos da monografia já especificados, a base de dados foi filtrada para conter apenas patentes de tecnologias verdes. Para a identificação das patentes que representam algum tipo de tecnologia verde, consultou-se o *IPC Green Inventory*⁷, que contém os códigos IPC das tecnologias consideradas verdes segundo a OMPI. Outro processo de filtragem realizado foi com relação ao período de análise, mantendo-se apenas as observações cujo pedido de patenteamento foi realizado entre os anos 1997 e 2016.

Para gerar os resultados foram utilizadas as ferramentas Excel, UCINET 6 para Windows e Gephi 0.9.2. O Excel foi importante para a organização primária dos dados, o qual foi utilizado para formatação dos dados para que estes fossem posteriormente utilizados nos *softwares* de Análises de Redes Sociais. Os dados da rede foram organizados por meio de uma lista de laços, na qual foram construídas duas colunas, uma contendo os países inventores e outra os países coinventores, de forma que em cada linha da planilha haveria um par de países que geraram uma patente verde conjuntamente. Optou-se pela utilização de duas ferramentas de Análises de Redes Sociais diferentes, a saber, UCINET 6 e Gephi 0.9.2. O primeiro *software* foi utilizado na construção das figuras de rede, enquanto o segundo permitiu o cálculo das medidas de rede.

⁶ Para maiores informações sobre o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes consultar: <https://www.wipo.int/export/sites/www/pct/pt/basic_facts/faqs_about_the_pct.pdf>

⁷ Disponível em: https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/green_inventory/

4 RESULTADOS

Nesta seção, em primeiro momento, será realizada uma breve análise descritiva de dados sobre patenteamento de tecnologias verdes nos países, com intuito de apresentar um panorama e a evolução do desenvolvimento deste tipo de tecnologia, ao longo do período 1997-2016. Posteriormente, a partir da segunda subseção, as redes de copatenteamento de tecnologias verdes de cada quinquênio serão analisadas com auxílio das figuras de rede, de medidas quantitativas – apresentadas na seção metodológica – e das matrizes de adjacência - que permitem conhecer a frequência de colaboração entre os países para o desenvolvimento de patentes verdes.

4.1 Panorama do patenteamento de tecnologias verdes ao longo do período 1997-2016

A tabela 1 apresenta um panorama do patenteamento de tecnologias verdes dos países, ao longo do período 1997-2016. Na tabela, destacou-se os vinte países que obtiveram o maior número de patentes verdes, por meio do PCT, em cada quinquênio. A coluna de proporção apresenta o quanto cada país contribuiu para o total de patentes verdes PCT em cada período. Ao fim da tabela encontram-se as linhas “Soma 20”, que apresenta a soma das patentes verdes geradas pelos vinte países com o maior número de patentes verdes no período, “outros” que apresenta o somatório das patentes verdes desenvolvidas pelos outros países que não os vinte principais, e “soma total” que apresenta o total de patentes verdes PCT do período. A última linha da tabela apresenta o número de patentes verdes geradas por meio de colaborações entre países, além da proporção que estas patentes colaborativas representam sobre o total de patentes verdes.

Percebe-se, através da tabela 1, que as patentes verdes PCT estão concentradas em um grupo bastante restrito de países. De fato, em todos os períodos analisados, vinte países contribuem com mais de 94% do total de patentes verdes, enquanto todos os outros países, em conjunto, têm uma contribuição que varia entre 3,64% e 5,60%, dependendo do período. No grupo de países com maior número de patentes destacam-se Estados Unidos, Japão e Alemanha, por serem, em todos os quinquênios, os três países com maior número de patentes. Vale destacar, contudo, que, ao longo dos quinquênios, Estados Unidos e Alemanha passam a contribuir proporcionalmente menos com o total de patentes verdes, enquanto o Japão apresenta um crescimento contínuo de participação no total de patentes verdes.

Tabela 1: Panorama do patenteamento de tecnologias verdes por país (1997-2016)

Posição	1997-2001			2002-2006			2007-2011			2012-2016		
	País	Patentes verdes PCT	Proporção	País	Patentes verdes PCT	Proporção	País	Patentes Verdes PCT	Proporção	País	Patentes verdes PCT	Proporção
1	Estados Unidos (US)	12919	44.44%	Estados Unidos (US)	17713	38.49%	Estados Unidos (US)	19162	28.84%	Estados Unidos (US)	22515	25.29%
2	Alemanha (DE)	3233	11.12%	Japão (JP)	8444	18.35%	Japão (JP)	15660	23.57%	Japão (JP)	22187	24.92%
3	Japão (JP)	2906	10.00%	Alemanha (DE)	4125	8.96%	Alemanha (DE)	6036	9.08%	Alemanha (DE)	7054	7.92%
4	Grã-Bretanha (GB)	1436	4.94%	Grã-Bretanha (GB)	2053	4.46%	Coréia do Sul (KR)	3640	5.48%	Coréia do Sul (KR)	6974	7.83%
5	França(FR)	1161	3.99%	França(FR)	1641	3.57%	China (CN)	2589	3.90%	China (CN)	6670	7.49%
6	Holanda (NL)	864	2.97%	Coréia do Sul (KR)	1421	3.09%	França(FR)	2542	3.83%	França(FR)	3387	3.80%
7	Canadá (CA)	816	2.81%	Canadá (CA)	1239	2.69%	Grã-Bretanha (GB)	2177	3.28%	Grã-Bretanha (GB)	2554	2.87%
8	Suécia (SE)	755	2.60%	Holanda (NL)	1149	2.50%	Canadá (CA)	1687	2.54%	Canadá (CA)	1878	2.11%
9	Austrália (AU)	675	2.32%	Austrália (AU)	1079	2.34%	Holanda (NL)	1384	2.08%	Holanda (NL)	1661	1.87%
10	Coréia do Sul (KR)	599	2.06%	Itália (IT)	668	1.45%	Austrália (AU)	1223	1.84%	Austrália (AU)	1314	1.48%
11	Israel (IL)	410	1.41%	Suécia (SE)	618	1.34%	Itália (IT)	1024	1.54%	Itália (IT)	1157	1.30%
12	Finlândia (FI)	358	1.23%	Israel (IL)	542	1.18%	Suécia (SE)	996	1.50%	Suécia (SE)	1112	1.25%
13	Suíça (CH)	331	1.14%	China (CN)	531	1.15%	Israel (IL)	732	1.10%	Índia (IN)	1038	1.17%
14	Itália (IT)	312	1.07%	Finlândia (FI)	497	1.08%	Espanha (ES)	698	1.05%	Israel (IL)	909	1.02%
15	Rússia (RU)	280	0.96%	Suíça (CH)	467	1.01%	Índia (IN)	671	1.01%	Espanha (ES)	784	0.88%
16	Noruega (NO)	230	0.79%	Rússia (RU)	332	0.72%	Finlândia (FI)	664	1.00%	Suíça (CH)	683	0.77%
17	Dinamarca (DK)	207	0.71%	Espanha (ES)	330	0.72%	Suíça (CH)	572	0.86%	Finlândia (FI)	683	0.77%
18	Áustria (AT)	206	0.71%	Dinamarca (DK)	294	0.64%	Áustria (AT)	476	0.72%	Rússia (RU)	556	0.62%
19	Bélgica (BE)	168	0.58%	Áustria (AT)	283	0.61%	Rússia (RU)	405	0.61%	Áustria (AT)	507	0.57%
20	Espanha (ES)	149	0.51%	Noruega (NO)	270	0.59%	Dinamarca (DK)	391	0.59%	Dinamarca (DK)	480	0.54%
	Soma 20	28015	96.36%	Soma 20	43696	94.95%	Soma 20	62729	94.40%	Soma 20	84103	94.47%
	Outros	1058	3.64%	Outros	2322	5.05%	Outros	3719	5.60%	Outros	4922	5.53%
	Soma Total	29073	100.00%	Soma Total	46018	100.00%	Soma Total	66448	100.00%	Soma Total	89025	100.00%
	Copatentes verdes	1160	3.99%	Copatentes verdes	1768	3.84%	Copatentes verdes	2655	4.00%	Copatentes verdes	2616	2.94%

Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos dados da OECD REFPAT de março de 2018

É possível destacar ainda a China e a Coréia do Sul pelo crescimento que apresentaram no patenteamento de tecnologias verdes. A China, que nem se quer fazia parte do *ranking* dos vinte países principais no primeiro período, foi o quinto país com maior número de patentes verdes PCT no período 2012-2016, sendo responsável por, aproximadamente, 7,50% do total de patentes. A Coréia do Sul, apesar de fazer parte do *ranking* desde o primeiro período analisado, destaca-se por apresentar um crescimento contínuo no número de patentes verdes e na participação proporcional no total de patentes verdes. Se no primeiro período o país ocupava a décima posição, contribuindo com 2,06% das patentes verdes, no período 2012-2016 o país ocupava a quarta posição, e contribuía com 7,83% do total de patentes verdes.

Com relação às patentes verdes desenvolvidas de forma colaborativa entre os países – que é o objeto principal de estudo deste trabalho – destaca-se que estas corresponderam, em média a, aproximadamente, 3,7% das patentes verdes em cada quinquênio. Apesar de não ter sido verificado um crescimento na proporção das patentes verdes colaborativas frente ao total de patentes verdes, o número de copatentes verdes apresenta crescimento ao longo de todo o período, evoluindo de 1160 copatentes verdes, no primeiro período analisado, para 2616 no último período - o que representa um crescimento de 125,52%.

As quatro figuras de rede contidas nas subseções seguintes – a saber, as figuras 3,6,9 e 12 -, apresentam as redes de copatenteamento de tecnologias verdes relativas a cada quinquênio analisado. O tamanho dos nós é compatível com o grau de centralidade de cada país na rede no período específico, e a espessura dos laços é proporcional à força destes, ou seja, à frequência com a qual há colaboração entre dois países específicos. As métricas estruturais da rede de cada período podem ser consultadas na tabela 2, enquanto as medidas específicas dos nós - grau de centralidade, grau ponderado, centralidade *betweenness* e centralidade *closeness* - se encontram nas tabelas 3, 4, 5 e 6. A fim de simplificar as análises, as tabelas contendo as medidas dos nós da rede apresentam medidas de rede apenas para os vinte países que obtiveram os maiores graus de centralidade, ou seja, que colaboraram com o maior número de países em cada um dos quinquênios.

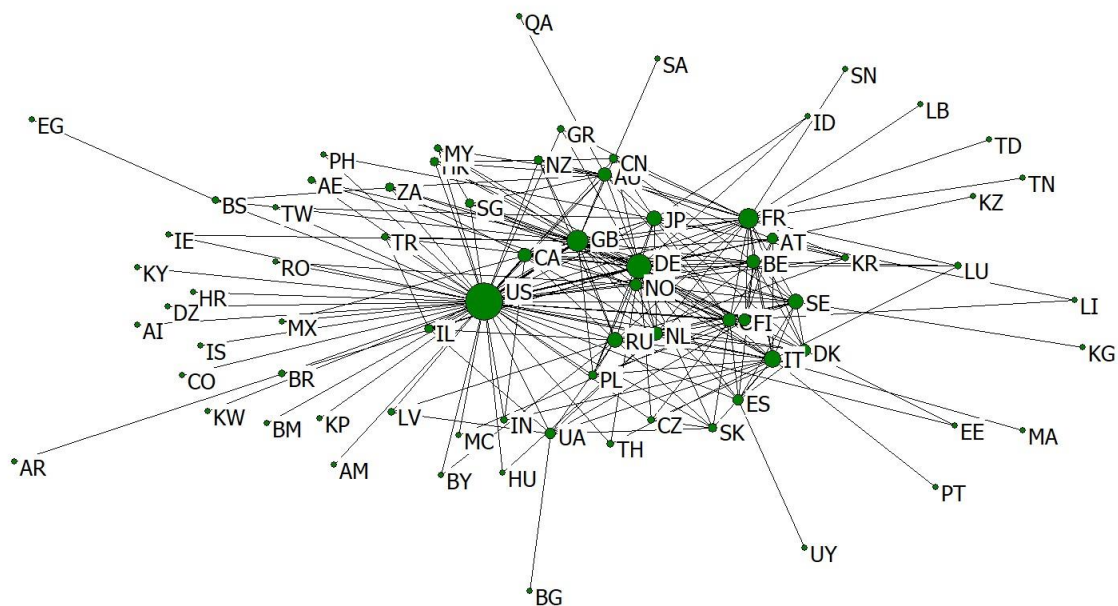
É importante destacar que as análises das figuras de rede fornecem uma visão mais intuitiva das suas características estruturais, enquanto as medidas de rede fornecem um enfoque mais rigoroso e quantitativo. Ambos os tipos de análise, contudo, devem ser considerados

importantes, na medida em que podem fornecer visões complementares a respeito das características estruturais das redes.

4.2 Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 1997-2001

A figura 3 apresenta a rede de copatenteamento de tecnologias verdes para o quinquênio 1997-2001. Ao longo do primeiro período analisado, 74 países desenvolveram ao menos uma patente verde por meio da colaboração com outros países, e a rede apresentou 243 laços de copatenteamento. Conforme apresentado na tabela 2, em média, cada país colaborou com outros 6,568 países, enquanto o grau ponderado médio – sendo esta uma medida de grau médio que leva em conta a frequência de cada laço formado – apresentou valor de 36,946. O diâmetro da rede – ou seja, a maior distância geodésica encontrada entre dois países da rede – é igual a 4, representando as distâncias existentes entre países como Argentina e Coreia do Sul, Argentina e Uruguai ou Estônia e Portugal – países estes que visivelmente não se apresentam como componentes centrais da rede. O comprimento médio de caminho é de 2,227, medida que deve ser compreendida como a distância média, na rede, entre dois países quaisquer aleatoriamente escolhidos. Uma outra importante medida de coesão estrutural da rede é a densidade. Uma vez que de fato são formados 243 dos 2701 laços possíveis, a rede possui densidade aproximada de 0,09.

Figura 3: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (1997-2001)



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do *software* UCINET 6

Tabela 2: Medidas estruturais da rede internacional de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2016)

Período	Nós	Laços	Grau médio	Grau ponderado médio	Diâmetro	Densidade	Coefficiente de clustering médio	Comprimento médio de caminho
1997-2001	74	243	6,568	36,946	4	0,09	0,722	2,227
2002-2006	86	364	8,465	48,860	5	0,100	0,686	2,227
2007-2011	98	478	9,755	65,408	5	0,101	0,702	2,267
2012-2016	101	500	9,901	63,881	4	0,099	0,727	2,234

Fonte: Elaborado pelo autor

Dos 243 laços existentes na rede, 55 deles envolveram os Estados Unidos, tornando-o o país com maior grau de centralidade, conforme ilustra a tabela 3. Este também foi o país que apresentou maior grau ponderado. Assim, é possível afirmar que os Estados Unidos não apenas colaboraram com uma grande variedade de países, mas, também, desenvolveram um grande número de patentes verdes com estes países – se comparado aos demais países da rede. Como exemplo, a Alemanha, segundo país com maior número de laços na rede, colaborou com outros 33 países e apresentou um valor de 321 na medida de grau ponderado, números bastante inferiores aos dos Estados Unidos.

As parcerias mais frequentes dos Estados Unidos se deram, respectivamente, com Grã-Bretanha, Canadá e Alemanha, o que se pode notar pela espessura dos laços existentes entre os Estados Unidos e estes países, na figura 3. Além dos principais parceiros dos Estados Unidos, países como França, Itália e Rússia merecem destaque por também desfrutarem de posições centrais na rede.

É interessante analisar a inserção de economias emergentes na rede deste primeiro período. Utilizando como exemplo os países que compõe o grupo dos BRICS⁸, é possível perceber que, enquanto a Rússia e a China se inserem no grupo dos vinte países com maior número laços na rede, a Índia e o Brasil participam da rede de forma mais periférica. Deste grupo, a Rússia se destaca por ter desenvolvido patentes verdes com 18 países diferentes, e a China com outros 7 países, enquanto a Índia e o Brasil colaboraram com apenas 3 países cada. Os Estados Unidos se caracterizaram como o principal parceiro de todos os países dos BRICS, tendo desenvolvido 13 patentes junto à Rússia, 10 em colaboração com a China, 12 com a

⁸ Grupo formado por Brasil, Rússia, Índia e China

Índia e 5 com o Brasil. Além dos Estados Unidos, merece destaque como grande parceiro do grupo BRICS a Alemanha.

Tabela 3: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2001)

País	Grau	Grau ponderado	Closeness	Betweenness
Estados Unidos (US)	55	759	0.802	1409.198
Alemanha (DE)	33	321	0.635	306.092
Grã-Bretanha (GB)	28	315	0.608	211.106
França (FR)	24	157	0.579	326.089
Itália (IT)	20	69	0.566	197.699
Rússia (RU)	18	60	0.549	88.015
Japão (JP)	16	79	0.533	54.703
Suécia (SE)	16	70	0.545	81.474
Suíça (CH)	15	71	0.541	73.180
Canadá (CA)	14	144	0.525	25.730
Holanda (NL)	14	79	0.533	22.800
Bélgica (BE)	14	58	0.533	16.206
Austrália (AU)	14	50	0.521	86.490
Noruega (NO)	13	46	0.525	19.775
Finlândia (FI)	12	29	0.521	44.017
Dinamarca (DK)	11	20	0.510	7.327
Áustria (AT)	9	43	0.497	31.707
Espanha (ES)	9	21	0.500	72.993
Ucrânia (UA)	9	19	0.487	76.603
China (CN)	7	19	0.490	1.394

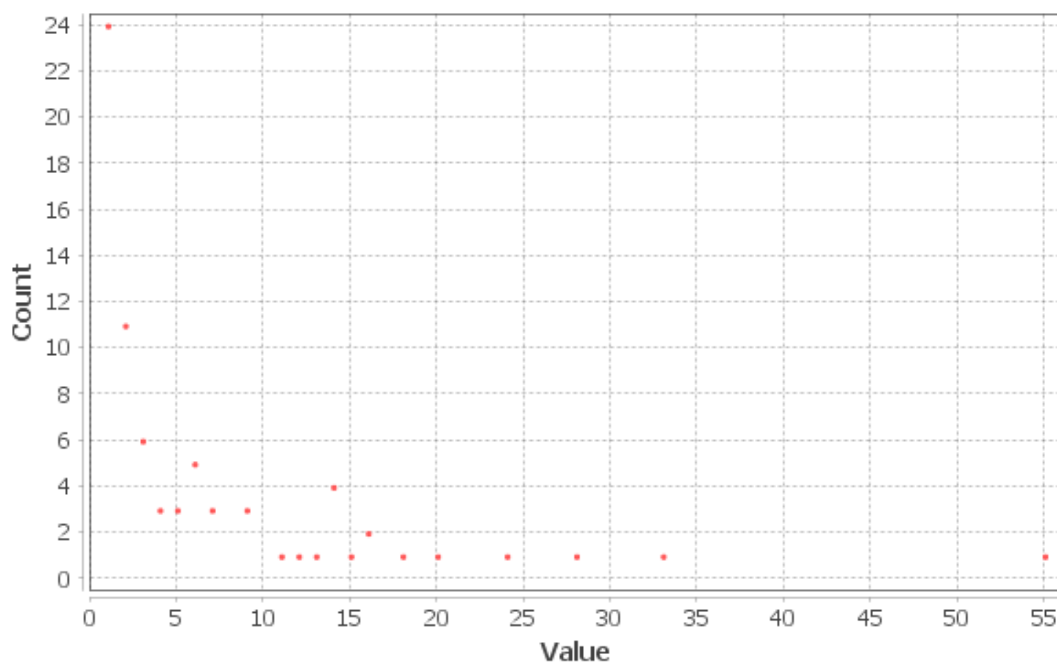
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos através do software Gephi 0.9.2

Os Estados Unidos são, também, o país que mais está presente no caminho geodésico entre dois países quaisquer. De fato, os países com maior centralidade *betweenness*, ou seja, países que de certa forma funcionam como pontes na rede de copatenteamento de tecnologias verdes deste primeiro período são, respectivamente, Estados Unidos, França, Alemanha, Grã-Bretanha, Itália e Rússia, sendo estes países vitais para que a estrutura da rede permaneça formada por um componente único. Vale aqui ressaltar a importância do uso de diferentes medidas de centralidade, uma vez que países como Itália e Rússia, que a princípio não seriam países tão centrais como o Canadá em termos de grau ponderado, apresentam uma centralidade *betweenness* maior que este último, sendo mais importantes para a estrutura da rede em termos de facilitar as conexões entre os países.

Por fim, os Estados Unidos são também o país com maior proximidade a todos os outros em termos de distância na rede, seguido, respectivamente por Alemanha, Grã-Bretanha, França e Itália, conforme demonstrado na tabela 3. No presente estudo, é possível imaginar que países com maior centralidade *closeness* são beneficiados, pois sua proximidade a todos os outros países da rede representa uma possibilidade maior de entrar em contato com ideias distintas desenvolvidas nos mais diversos países.

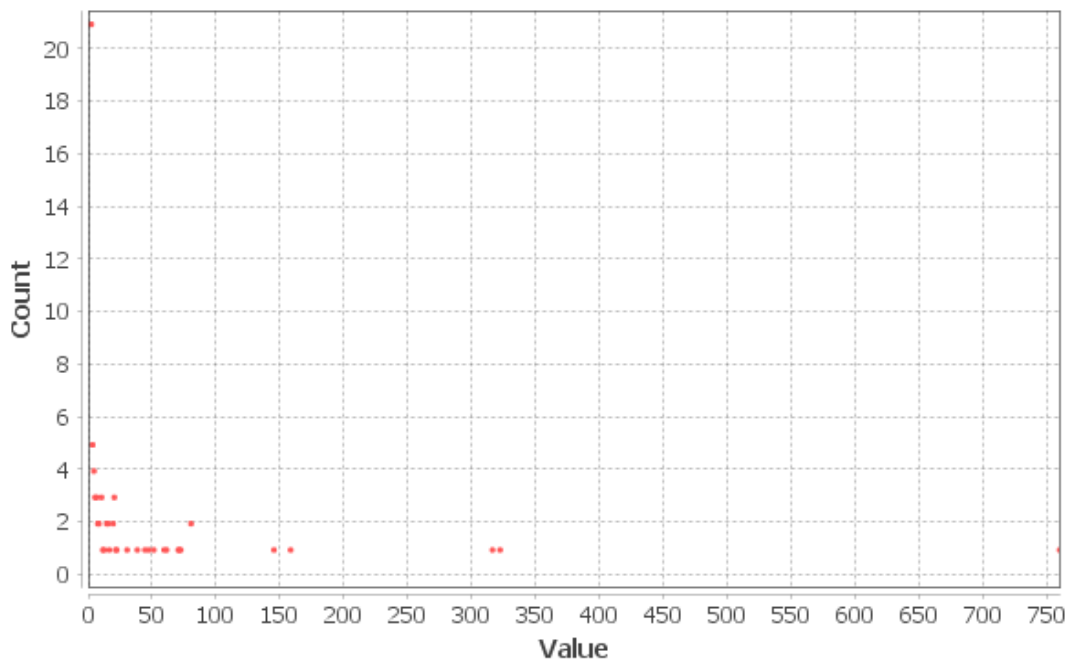
Como última forma de análise da rede do período 1997-2001, os gráficos representados nas figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, a distribuição do grau de centralidade e da medida de grau ponderado dos países componentes da rede de copatenteamento de tecnologias verdes. No eixo horizontal estão dispostos os graus apresentados pelos países, enquanto no eixo vertical está o número de países que possuem determinado grau – ou grau ponderado. A distribuição do grau de centralidade na rede deste primeiro quinquênio segue a *lei de potência*, segundo a qual há um pequeno número de países com elevado número de conexões e um grande número de países com um reduzido número de conexões. A distribuição do grau ponderado apresenta comportamento similar, demonstrando que um pequeno grupo de países apresenta conexões intensas, enquanto a maior parte dos países se conecta a outros de maneira mais fraca – ou seja, suas colaborações geram apenas um pequeno número de patentes verdes.

Figura 4: Distribuição do grau de centralidade da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2001)



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do *software* Gephi 0.9.2

Figura 5: Distribuição do grau ponderado da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (1997-2001)



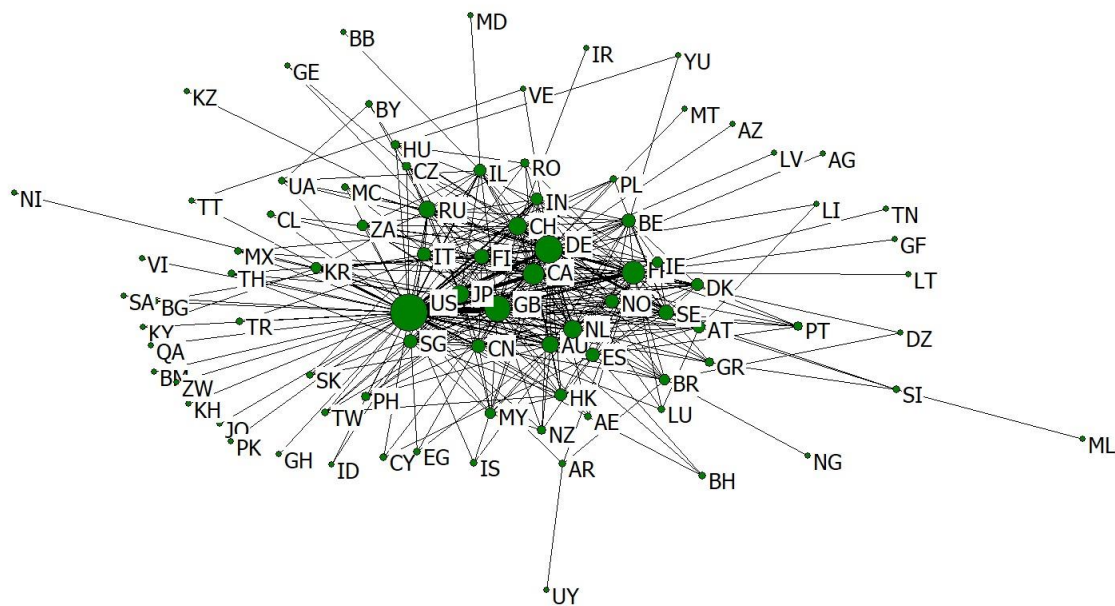
Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do *software* Gephi 0.9.2

4.3 Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 2002-2006

A figura 6 apresenta a rede de copatenteamento de tecnologias verdes do quinquênio 2002-2006. Neste segundo período de análise, a rede conta com 12 países a mais, e 121 novos laços, o que representa uma ampliação da rede. O diâmetro da rede aumenta em uma unidade, sendo a maior distância geodésica da rede representada, agora, pela distância entre países como Hungria e Nova Zelândia. A medida de comprimento médio de caminho, contudo, se mantém inalterada, apesar de a rede apresentar um diâmetro maior.

Visualmente, a rede apresenta uma maior conectividade no segundo quinquênio de análise. Quantitativamente, percebe-se um aumento de, aproximadamente, 29% na medida de grau médio se comparado ao período anterior, indicando que, agora, cada país possui, em média, mais laços. Há, ainda uma elevação na densidade da rede, o que surpreende, uma vez que um pequeno aumento no número de nós em uma rede tende a aumentar consideravelmente o número de laços possíveis – de forma que uma densidade menor para redes com mais participantes é algo esperado. Vale destacar, ainda, o aumento de 32% na medida de grau ponderado médio, indicando uma interação, em média, mais intensa entre os países da rede.

Figura 6: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (2002-2006)



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do *software* UCINET 6

Por meio da tabela 4, percebe-se que Estados Unidos, Alemanha, Grã-Bretanha, França e Canadá permaneceram como os países de maior centralidade. Em linhas gerais, nota-se que estes países mais centrais em termos de grau também apresentam uma alta importância relativa na rede em termos de centralidades *closeness* e *betweenness*. Destaca-se, ainda, a entrada de Singapura, Índia e Israel no grupo dos vinte países com maior grau de centralidade na rede, assim como a saída de Dinamarca, Áustria e Ucrânia deste grupo.

O laço mais forte da rede deste período se deu entre Estados Unidos e Grã-Bretanha, que, ao todo, obtiveram 191 patentes verdes, por meio do PCT, de forma colaborativa. Em seguida, destacam-se as colaborações dos Estados Unidos com Canadá – parceria que gerou 150 patentes verdes - e Alemanha – que gerou 115 patentes verdes em colaboração com os Estados Unidos.

Com relação à participação dos países emergentes na rede, é preciso destacar a evolução da Índia e da China. A China que no período anterior ocupava a vigésima posição em termos de países com maior número de laços de copatenteamento, agora passa a ocupar a décima terceira posição, tendo colaborado com 17 países diferentes – dez a mais que no período anterior. A Índia merece atenção ainda maior, na medida em que nem se quer compunha o *ranking* de vinte maiores colaboradores na geração de patentes verdes anteriormente -

ocupando apenas a trigésima quarta posição -, no período 2002-2006 já ocupava a décima nona posição. O Brasil evoluiu ao triplicar o número de países com os quais colaborou, além de apresentar uma medida de grau ponderado maior que o dobro apresentado no quinquênio anterior. Apesar de o Brasil ter ficado fora do *ranking* dos vinte principais países da rede, ele ocupa posições estruturalmente mais importantes na rede deste quinquênio, passando da trigésima quinta posição, ocupada no quinquênio anterior, para a vigésima oitava. A Rússia, assim como o Brasil também foi mais participativa na rede deste segundo período de análise, contudo, perdeu posições no *ranking* dos vinte principais países da rede, para Japão, Suíça, Holanda e Austrália, países que apresentaram uma evolução ainda maior em termos de colaborações.

Tabela 4: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2002-2006)

País	Grau	Grau ponderado	Closeness	Betweenness
Estados Unidos (US)	61	1133	0.773	1468.966
Alemanha (DE)	44	455	0.664	585.937
Grã-Bretanha (GB)	39	385	0.634	254.264
França (FR)	34	232	0.616	428.259
Canadá (CA)	32	247	0.607	197.122
Japão (JP)	25	144	0.574	56.519
Suíça (CH)	24	147	0.567	134.479
Holanda (NL)	24	111	0.567	163.527
Austrália (AU)	22	99	0.552	62.064
Rússia (RU)	21	71	0.556	185.812
Finlândia (FI)	19	50	0.548	14.953
Suécia (SE)	18	69	0.535	85.937
China (CN)	17	83	0.528	13.025
Singapura (SG)	17	51	0.515	26.405
Bélgica (BE)	16	72	0.535	64.353
Noruega (NO)	16	43	0.528	5.207
Itália (IT)	16	43	0.538	31.074
Espanha (ES)	15	48	0.525	22.945
Índia (IN)	14	82	0.509	7.484
Israel (IL)	14	82	0.525	172.694

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos através do software Gephi 0.9.2

As distribuições das medidas de grau e grau ponderado neste segundo período de análise, apresentadas nas figuras 7 e 8, revelam a manutenção de uma estrutura de concentração na rede, onde apenas um pequeno grupo de países se sobressai. A partir do gráfico apresentado

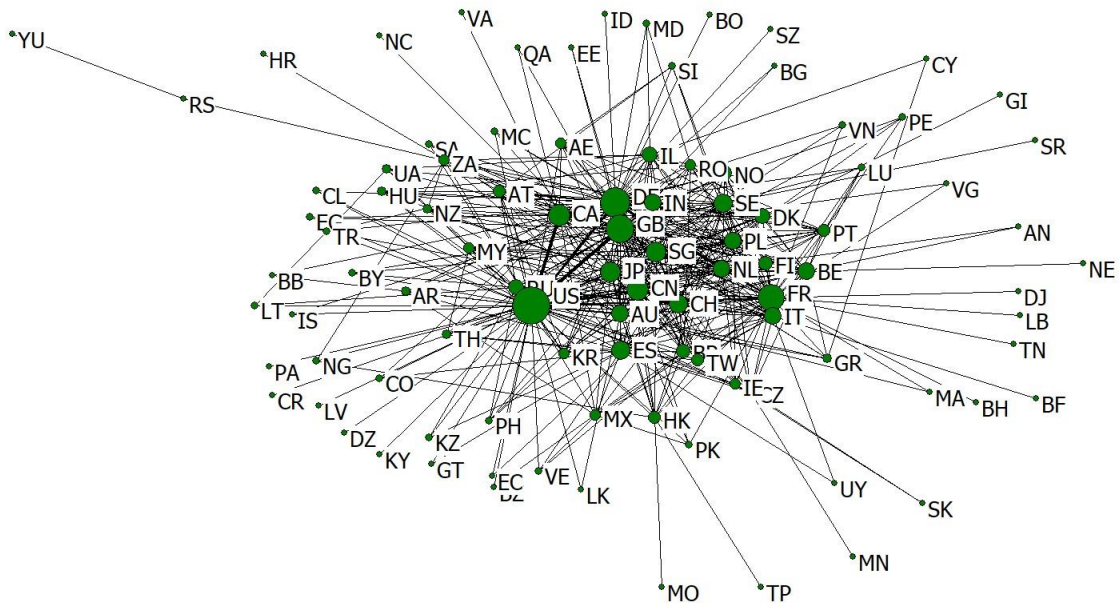
4.4 Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 2007-2011

No terceiro quinquênio, 2007-2011, a rede passa a contar com 98 países que, ao todo, formam 478 laços de copatenteamento. A rede deste período é apresentada na figura 9. Apesar de a rede ter crescido em número de países, a medida de densidade, se comparada a do quinquênio anterior, mantém-se praticamente inalterada. O diâmetro da rede não sofre alteração, e cada país passa a colaborar, em média, com outros 9,755 países. Assim como a medida de grau médio, o grau ponderado médio apresenta, novamente, crescimento com relação ao quinquênio anterior. Estes resultados indicam uma rede com maior coesão, uma vez que cada país passa a colaborar com um número maior de países e cada conexão entre países produz, em média, mais patentes. O coeficiente de *clustering* e o comprimento médio de caminho apresentaram aumento, desta forma, compreende-se que, apesar de a rede apresentar uma maior interação colaborativa dentro de subgrupos formados pelos países da rede – devido a um coeficiente de *clustering*, ou coeficiente de agrupamento, maior – há um aumento da distância média entre dois países quaisquer da rede, se comparado ao período anterior.

A partir da tabela 5, percebe-se que o mesmo grupo de cinco países permanece como o mais central, grupo este formado por: Estados Unidos, Alemanha, Grã-Bretanha, França e Canadá. Estes não apenas são os países com maior número de laços da rede, como estão geodesicamente muito próximos dos outros países, e possuem grande importância estrutural na rede, uma vez que acabam exercendo o papel de pontes para fluxo de conhecimentos – o que se percebe por meio dos elevados valores na medida de centralidade *betweenness* que estes países apresentam.

O laço mais forte encontrado na rede deste terceiro período foi, novamente, entre Estados Unidos e Grã-Bretanha. De fato, 213 patentes verdes PCT foram desenvolvidas por meio da colaboração entre inventores destes dois países, seguido das 210 patentes geradas por Estados Unidos e Canadá e 150 geradas por colaborações entre inventores da Alemanha e dos Estados Unidos. Levando em conta laços que não incluem os Estados Unidos, destacam-se a frequência de colaborações que Áustria e Suíça possuem com a Alemanha – tendo cada um gerado, respectivamente, 79 e 71 patentes verdes colaborativas com este país.

Figura 9: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (2007-2011)



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do *software* UCINET 6

Vale destacar o aumento na métrica de grau de centralidade da China, que passa a fazer parte do grupo dos seis países com maior número de laços. O país supracitado, que no quinquênio 1997-2001 colaborou apenas com 7 países, no presente período desenvolveu patentes de tecnologias verdes com outros 32 países. Os principais parceiros da China, contudo, permanecem os mesmos, sendo eles Estados Unidos e Alemanha. A Índia também evolui em direção à uma maior importância relativa na rede, ganhando, quatro posições no *ranking*. O crescimento da importância estrutural de Índia e China na rede se torna evidente, também, pelo crescimento que estes países apresentaram na medida de centralidade *betweenness*.

Quanto ao Brasil, o que se percebe é, novamente, uma maior participação na rede, assim como no período anterior. O país, no quinquênio 2007-2011, passa a ocupar a vigésima primeira posição dentre os países com maior número de laços de copatenteamento. É possível confirmar a maior importância estrutural do Brasil na rede de copatenteamento de tecnologias verdes não apenas em termos das medidas de grau de centralidade e grau ponderado, mas também pelo fato de o país apresentar, neste quinquênio, valores mais elevados nas centralidades *closeness* e *betweenness*. A Rússia, contrariamente aos outros componentes dos BRICS, se apresenta em uma posição estruturalmente menos importante na rede, se

comparado ao quinquênio anterior, uma vez que apresenta queda em todas as métricas de rede.

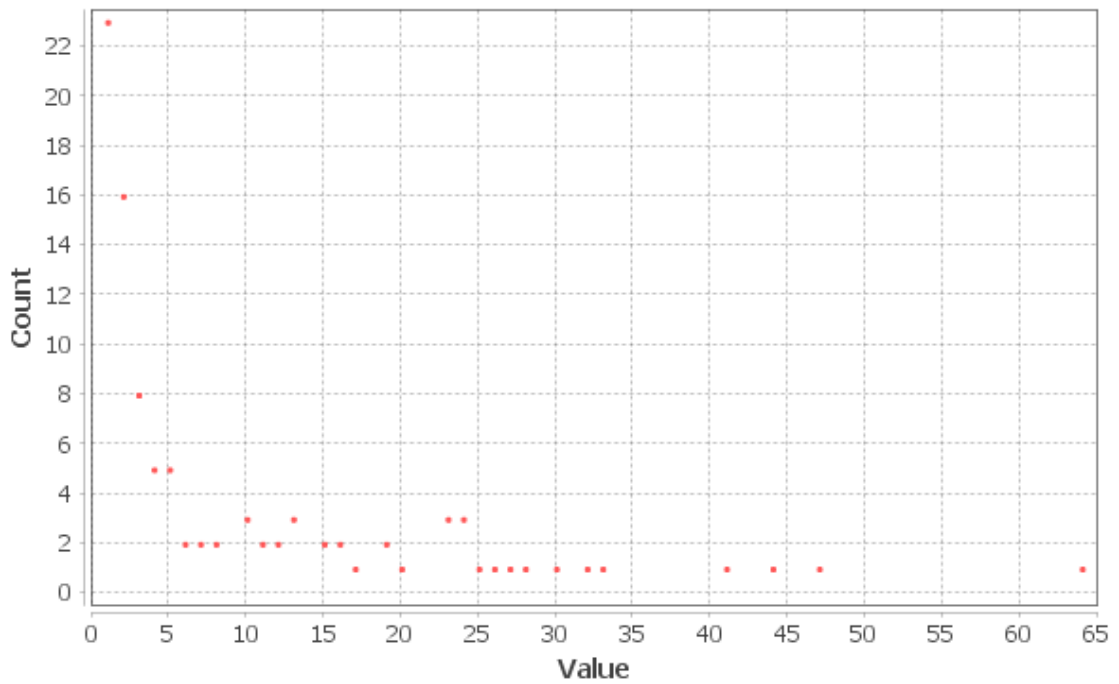
Tabela 5: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2007-2011)

País	Grau	Grau ponderado	Closeness	Betweenness
Estados Unidos (US)	64	1553	0.740	1489.788
Alemanha (DE)	47	744	0.655	671.529
Grã-Bretanha (GB)	44	514	0.630	385.230
França (FR)	41	364	0.618	611.785
Canadá (CA)	33	310	0.581	366.948
China (CN)	32	246	0.584	88.843
Singapura (SG)	30	131	0.571	109.938
Japão (JP)	28	214	0.561	79.830
Espanha (ES)	27	67	0.557	153.512
Suíça (CH)	26	215	0.557	51.849
Suécia (SE)	25	119	0.554	142.053
Holanda (NL)	24	167	0.548	72.093
Bélgica (BE)	24	137	0.548	168.159
Itália (IT)	24	99	0.548	167.886
Índia (IN)	23	169	0.542	70.656
Austrália (AU)	23	115	0.548	96.331
Polônia (PL)	23	57	0.539	61.040
Dinamarca (DK)	20	84	0.527	103.120
Israel (IL)	19	66	0.533	108.486
Rússia (RU)	19	58	0.522	69.662

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos através do software Gephi 0.9.2

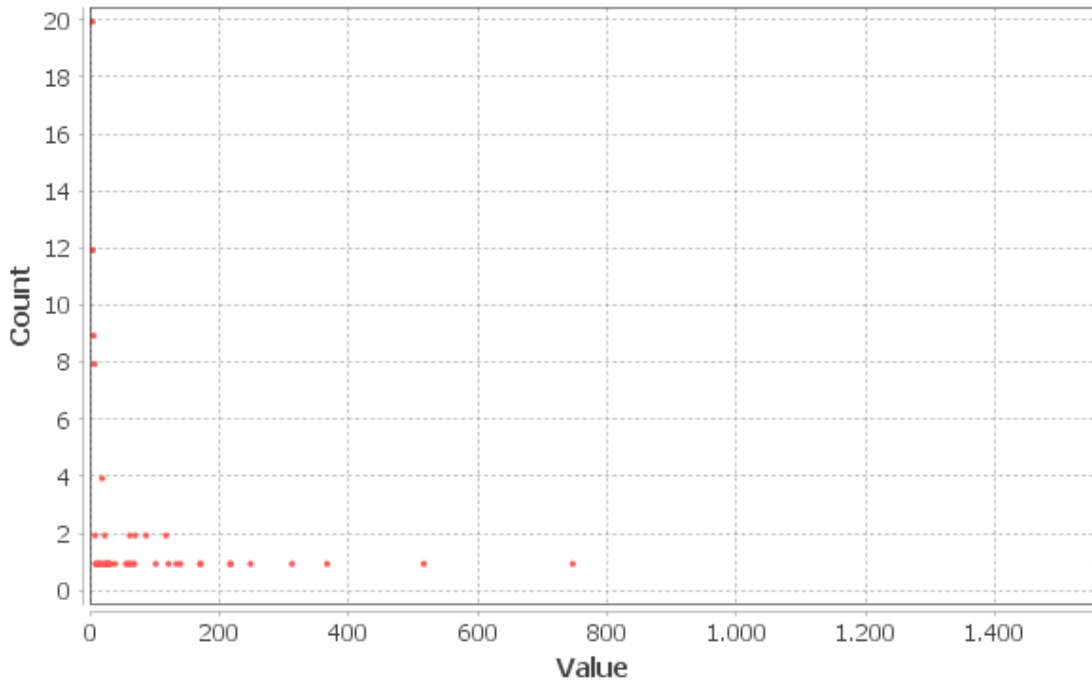
As figuras 10 e 11 apresentam, respectivamente, a distribuição das medidas de grau de centralidade e grau ponderado, para o período 2007-2011. Apesar de uma rede maior e mais coesa – na medida em que a rede cresce tanto em número de países participantes como em número médio de laços formados entre eles - e de um notório processo de *catching up* de alguns países, a distribuição destas métricas segundo a *lei de potência* prevalece também para este quinquênio. É possível averiguar, ainda, que a maior parte dos países colaborou com outros trinta países ou menos, e que a vasta maioria dos países permanece concentrada em regiões do gráfico que representam baixos valores relativos de grau ponderado.

Figura 10: Distribuição do grau de centralidade da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2007-2011)



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do software Gephi 0.9.2

Figura 11: Distribuição do grau ponderado da rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2007-2011)



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do software Gephi 0.9.2

4.5 Caracterização da rede de copatenteamento de tecnologias verdes do período 2012-2016

A rede do último quinquênio ganha 3 novos países e possui 22 laços a mais, em comparação com a rede do quinquênio imediatamente anterior. Observou-se uma queda na densidade da rede, o que, a princípio, não significa uma rede menos coesa, tendo em vista as questões anteriormente expostas a respeito da métrica de densidade. A medida de grau médio, assim como em todos os períodos estudados até aqui, evolui para um número maior, contudo, contrariamente ao que se observou em outros períodos, o grau ponderado médio decresce. Sendo assim, apesar de os países possuírem um maior número médio de laços, estes laços são, em média, menos intensos. O diâmetro da rede retorna ao valor de 4, assim como no primeiro período analisado, indicando que a maior distância geodésica possível a ser percorrida por determinado país a fim de alcançar outro, em termos de rede, será de quatro laços. Um diâmetro menor em uma rede mais ampla é um indicativo interessante de que os países se tornaram mais interconectados.

Destaca-se, ainda, um aumento do coeficiente de *clustering* médio e uma redução do comprimento médio de caminho, indicando uma maior coesão entre os agrupamentos de países que se formam na rede, e uma menor distância média entre todos os países. Pode-se dizer, portanto, que a estrutura da rede se tornou um pouco mais próxima do tipo *mundo pequeno*⁹ – estrutura que tem por característica um comprimento médio de caminho pequeno e um elevado coeficiente de *clustering* médio. Na prática, uma rede mais próxima de uma estrutura de *mundo pequeno* – como ocorre na rede deste período – implica em uma maior proximidade entre dois países quaisquer da rede, o que acaba facilitando que interações colaborativas ocorram. A figura 12 apresenta a rede de copatenteamento de tecnologias verdes para o último quinquênio analisado.

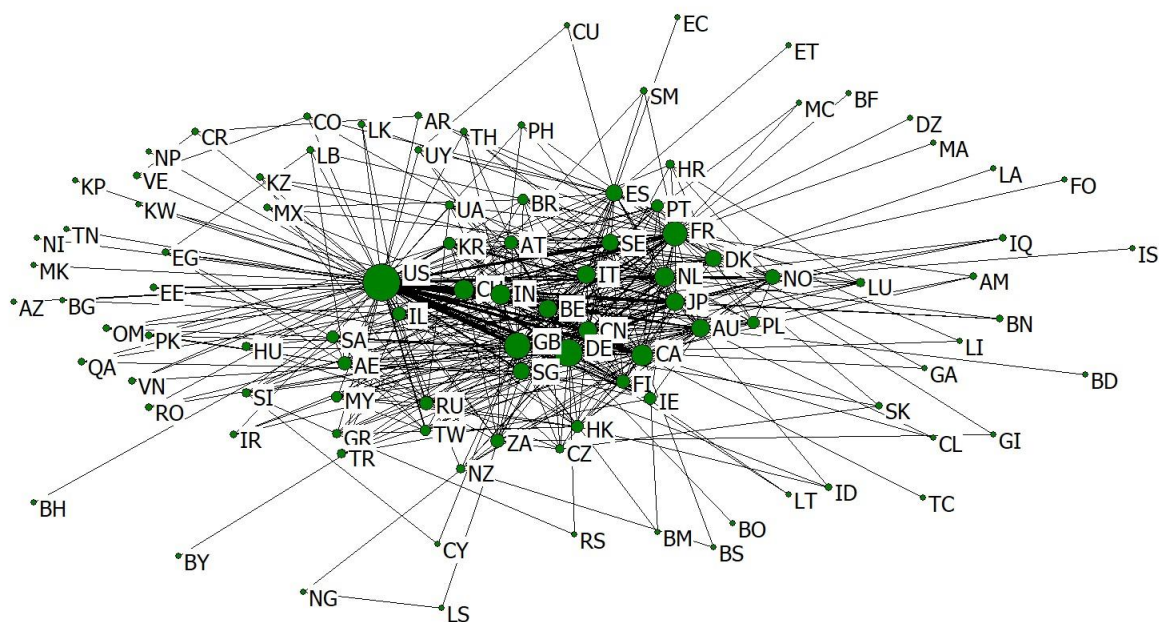
A respeito da posição relativa de cada país na rede, a partir da tabela 6, é possível perceber que muito do que se observou nas redes de períodos anteriores se manteve, em especial a elevada importância relativa do grupo de cinco países principais anteriormente mencionados. O *catching up* indiano permanece acelerado, de forma que a Índia passa a ocupar a sétima posição em termos de países com maior número de laços, ultrapassando a China e alguns

⁹ Para maiores detalhes sobre redes com estrutura do tipo *mundo pequeno* consultar Watts e Strogatz (1999).

países que se mostraram centrais na rede desde os primeiros períodos de análise, como Japão, e Holanda. Vale ressaltar, contudo, a importância dos Estados Unidos como principal parceiro de Índia e China no desenvolvimento de tecnologias verdes. Neste último quinquênio, 41,2% das colaborações chinesas para a geração de patentes verdes se deram com os Estados Unidos, enquanto que para a Índia esta proporção foi ainda maior, aproximadamente, 60,3%.

Ao contrário da tendência observada nos quinquênios anteriormente analisados, o Brasil apresentou uma queda em todas as métricas de centralidade e, retorna a posições de menor importância estrutural na rede. Seus principais parceiros, contudo, permanecem sendo países de grande centralidade na rede, destacando-se Estados Unidos, França e Canadá. Partindo da mesma perspectiva que Giuliani *et al.* (2016), o fato de o Brasil colaborar majoritariamente com os países mais centrais da rede pode ser interpretado como algo positivo, na medida em que o país entrará em contato com conhecimentos tecnológicos de fronteira, levando a uma melhoria em sua capacidade inovativa no campo das tecnologias verdes. Quanto à Rússia, neste quinquênio, o país apresenta um comportamento similar ao que já apresentava anteriormente, ao demonstrar novamente queda em suas medidas de centralidade. Neste quinquênio, o país não mais compõe o grupo de vinte principais países da rede.

Figura 12: Rede de copatenteamento de tecnologias verdes com base em patentes PCT (2012-2016)



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do *software* UCINET 6

Tabela 6: Medidas de rede dos vinte países com maiores graus de centralidade na rede de copatenteamento de tecnologias verdes (2012-2016)

País	Grau	Grau ponderado	Closeness	Betweenness
Estados Unidos (US)	67	1562	0.752	1656.655
Alemanha (DE)	48	632	0.658	591.026
Grã-Bretanha (GB)	43	473	0.637	401.978
França (FR)	39	361	0.610	595.236
Canadá (CA)	33	269	0.585	294.172
Suíça (CH)	32	252	0.585	146.104
Índia (IN)	31	269	0.585	143.035
Holanda (NL)	30	166	0.578	214.612
China (CN)	28	250	0.571	41.019
Itália (IT)	27	129	0.571	85.829
Austrália (AU)	27	111	0.562	210.486
Japão (JP)	26	208	0.559	130.593
Bélgica (BE)	26	159	0.559	56.335
Espanha (ES)	25	102	0.552	340.320
Suécia (SE)	24	117	0.562	77.836
Singapura (SG)	23	132	0.541	67.813
Dinamarca (DK)	23	89	0.549	184.206
Noruega (NO)	20	57	0.543	134.990
Finlândia (FI)	19	56	0.532	46.755
Israel (IL)	18	82	0.532	54.509

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos através do software Gephi 0.9.2

Por fim, a análise da distribuição do grau e do grau ponderado, por meio das figuras 13 e 14, demonstra que a *lei de potência* é, de fato, uma característica marcante da rede de copatenteamento de tecnologias verdes, estando presente ao longo de todo o período analisado por este trabalho. É importante destacar, contudo, o fato de que enquanto no primeiro período de análise a maior parte dos países estavam concentrados em uma região com menos de 20 laços colaborativos, no último período percebe-se uma expansão de muitos países em direção à faixa dos 35 laços de colaboração. Além disso, através da comparação das figuras 5 e 14 é possível perceber uma evolução também com relação à distribuição do grau ponderado. Se no primeiro quinquênio, os países, em sua maioria, possuíam um valor de grau ponderado menor que 50, no quinquênio 2012-2016 nota-se uma expansão do grau ponderado dos países menos centrais na rede, que chega até, aproximadamente, um valor de 200. Em suma, a rede permanece centralizada em alguns poucos países, contudo, é inegável o crescimento da

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados apontam que a rede internacional de copatenteamento de tecnologias verdes tornou-se mais ampla ao longo do tempo, tanto em termos do número de países participantes como de colaborações efetivadas entre estes países. A comparação visual das redes de cada quinquênio fornece indícios deste resultado, que pode ser confirmado quantitativamente através das medidas de rede. Ao longo dos quinquênios, tanto a medida de grau médio como a de grau ponderado médio apresentaram crescimento, indicando uma rede cujos países se tornaram não apenas mais interconectados, como mais fortemente conectados.

A análise da distribuição do grau e do grau ponderado demonstrou que, em todos os quinquênios, a *lei de potência* prevalece, ou seja, existem muitos países com reduzido número de parceiros, e um diminuto número de países com muitos parceiros. Além disso, a maioria dos países possui laços de pouca intensidade – ou seja, que repercutem apenas em um pequeno número de patentes verdes - enquanto um pequeno número de países se aproveita das colaborações ao desenvolverem um grande número de patentes com seus parceiros. Sendo assim, é possível dizer que a rede se mostrou dominada por um pequeno grupo de países mais centrais.

Notadamente os Estados Unidos possuem papel de ator principal na rede de copatenteamento internacional de tecnologias verdes, sendo este o país com maior grau de centralidade, grau ponderado, centralidade *betweenness* e centralidade *closeness* em todos os quinquênios analisados. Os Estados Unidos se configuram também como o principal parceiro inovativo da maioria dos países analisados, sejam eles centrais ou periféricos na rede. Alemanha, Grã-Bretanha, França e Canadá também se destacam como atores centrais da rede ao longo de todo o período analisado. Países como a China e, em especial, a Índia, merecem destaque por terem demonstrado um processo de *catching up*, alcançando posições cada vez mais centrais na rede.

Esta monografia traz à tona não apenas o tema do desenvolvimento das tecnologias verdes – que é essencial para o aumento do bem-estar atual e das gerações futuras – mas compreende a colaboração entre inventores como forma de reduzir as barreiras à inovação e como oportunidade de aprendizado via compartilhamento de conhecimentos. A análise da evolução da rede de copatenteamento de tecnologias verdes, portanto, demonstra de que forma os

países tem se organizado no intuito de gerar inovações ambientalmente saudáveis. Aos países emergentes, dado o compartilhamento de conhecimentos que ocorre no processo de inovação colaborativa, seria interessante a formulação de políticas não apenas no sentido de fomentar o desenvolvimento de tecnologias verdes, mas também de incentivar as colaborações inovativas com inventores de outros países. Tal estratégia seria essencial para os inventores destes países entrarem em contato com novos conhecimentos e alavancarem suas respectivas capacidades inovativas em tecnologias verdes.

O presente trabalho apresenta limitações, e abre espaço a futuros avanços no estudo das colaborações entre inventores de tecnologias verdes. Conforme as estatísticas descritivas apontaram, as patentes geradas através de colaborações entre inventores de diferentes países correspondem apenas a uma pequena parcela das patentes verdes totais – em torno de 3,7%, considerando a média quinquenal de todo o período analisado. Seria interessante que futuros estudos buscassem compreender o motivo desta baixa proporção. Possivelmente, fatores como a distância geográfica, ou características específicas dos conhecimentos necessários ao desenvolvimento de tecnologias verdes, atuem como barreiras às colaborações entre inventores de países distintos. Além disso, seria interessante analisar as redes internas de copatenteamento de tecnologias verdes dos países, levando em conta as colaborações instauradas entre inventores de um mesmo país.

REFERÊNCIAS

ALNUAIMI, Tufool; SINGH, Jasjit; GEORGE, Gerard. Not with my own: Long-term effects of cross-country collaboration on subsidiary innovation in emerging economies versus advanced economies. **Journal of Economic Geography**, v. 12, n. 5, p. 943-968, 2012.

ARTHUR, W. Brian. Positive feedbacks in the economy. **Scientific american**, v. 262, n. 2, p. 92-99, 1990.

BORGATTI, Stephen P.; EVERETT, Martin G.; JOHNSON, Jeffrey C. **Analyzing social networks**. Sage, 2018.

BOSCHMA, Ron. Proximity and innovation: a critical assessment. **Regional studies**, v. 39, n. 1, p. 61-74, 2005.

COWAN, Robin; JONARD, Nicolas. The dynamics of collective invention. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 52, n. 4, p. 513-532, 2003.

COWAN, Robin; JONARD, Nicolas. Network structure and the diffusion of knowledge. **Journal of economic Dynamics and Control**, v. 28, n. 8, p. 1557-1575, 2004.

CRESCENZI, Riccardo; NATHAN, Max; RODRÍGUEZ-POSE, Andrés. Do inventors talk to strangers? On proximity and collaborative knowledge creation. **Research Policy**, v. 45, n. 1, p. 177-194, 2016.

DE PAULO, Alex Fabianne; PORTO, Geciane Silveira. Solar energy technologies and open innovation: A study based on bibliometric and social network analysis. **Energy Policy**, v. 108, p. 228-238, 2017.

GAO, Xia; GUAN, Jiancheng; ROUSSEAU, Ronald. Mapping collaborative knowledge production in China using patent co-inventorships. **Scientometrics**, v. 88, n. 2, p. 343-362, 2011.

GIULIANI, Elisa; MARTINELLI, Arianna; RABELLOTTI, Roberta. Is co-invention expediting technological catch up? A study of collaboration between emerging country firms and EU inventors. **World Development**, v. 77, p. 192-205, 2016.

HOEKMAN, Jarno; FRENKEN, Koen; VAN OORT, Frank. The geography of collaborative knowledge production in Europe. **The Annals of Regional Science**, v. 43, n. 3, p. 721-738, 2009.

INOUE, Hiroyasu; NAKAJIMA, Kentaro; SAITO, Yukiko Umeno. Localization of collaborations in knowledge creation. **The Annals of Regional Science**, v. 62, n. 1, p. 119-140, 2019.

JABBOUR, Charbel José Chiappetta. Tecnologias ambientais: em busca de um significado. **Revista de Administração Pública**, v. 44, n. 3, p. 591-611, 2010.

JEONG, Jae et al. Network Analysis on Green Technology in National Research and Development Projects in Korea. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 1043, 2018.

LI, Dandan; WEI, Yehua Dennis; WANG, Tao. Spatial and temporal evolution of urban innovation network in China. **Habitat International**, v. 49, p. 484-496, 2015.

MAGGIONI, Mario A.; UBERTI, Teodora Erika. Knowledge networks across Europe: which distance matters?. **The Annals of Regional Science**, v. 43, n. 3, p. 691-720, 2009.

MAGGIONI, Mario A.; UBERTI, Teodora Erika; USAI, Stefano. Treating patents as relational data: knowledge transfers and spillovers across Italian provinces. **Industry and Innovation**, v. 18, n. 1, p. 39-67, 2011.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado**. Portfolio-Penguin, 2014.

MONTENEGRO, Rosa Livia Goncalves. **Inovações ambientais e sistemas nacionais de inovação: caracterizações para o período 1990-2010**. 2016.

PÓVOA, Luciano Martins Costa. A crescente importância das universidades e institutos públicos de pesquisa no processo de catching-up tecnológico. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 12, n. 2, p. 273-300, 2008.

POWELL, Walter W.; GIANNELLA, Eric. Collective invention and inventor networks. In: **Handbook of the Economics of Innovation**. North-Holland, 2010. p. 575-605.

SCHERNGELL, Thomas; LATA, Rafael. Towards an integrated European Research Area? Findings from Eigenvector spatially filtered spatial interaction models using European Framework Programme data. **Papers in Regional Science**, v. 92, n. 3, p. 555-577, 2013.

UNITED NATIONS. **Sustainable development goals**. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf#page=305>>

VERA, Arturo Miranda; CÉSAR, Amilcar Careli. Propriedades de redes complexas de telecomunicações. **Mestrado, Universidade de São Paulo**, 2011.

WANZENBÖCK, Iris; PIRIBAUER, Philipp. R&D networks and regional knowledge production in Europe: Evidence from a space-time model. **Papers in Regional Science**, v. 97, p. S1-S24, 2018.

WATTS, Duncan J.; STROGATZ, Steven H. Collective dynamics of 'small-world' networks. **nature**, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998.

WIPO. **IPC green inventory**. Disponível em: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/green_inventory/>.