

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

ANSELMO JUNIO SILVA

**EFEITOS DOS TRANSBORDAMENTOS INTERNACIONAIS DO CONHECIMENTO
SOBRE A INOVAÇÃO EM ENERGIAS SOLAR E EÓLICA: UMA ANÁLISE POR
MEIO DE CITAÇÕES DE PATENTES**

VARGINHA/MG

2024

ANSELMO JUNIO SILVA

**EFEITOS DOS TRANSBORDAMENTOS INTERNACIONAIS DO CONHECIMENTO
SOBRE A INOVAÇÃO EM ENERGIAS SOLAR E EÓLICA: UMA ANÁLISE POR
MEIO DE CITAÇÕES DE PATENTES**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Economia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Economia e Desenvolvimento.
Orientadora: Profa. Dra. Cirlene Maria de Matos

VARGINHA/MG

2024

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Varginha

Silva, Anselmo Junio.

Efeitos dos transbordamentos internacionais do conhecimento sobre a inovação em energias solar e eólica : uma análise por meio de citações de patentes / Anselmo Junio Silva. - Varginha, MG, 2024.

108 f. -

Orientador(a): Cirlene Maria de Matos.

Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Alfenas, Varginha, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Ecoinovação. 2. Energias Renováveis. 3. Citações de Patentes. 4. Inovações Tecnológicas. 5. Transbordamentos de Conhecimento. I. Matos, Cirlene Maria de, orient. II. Título.

ANSELMO JUNIO SILVA

EFEITOS DOS TRANSBORDAMENTOS INTERNACIONAIS DO CONHECIMENTO SOBRE A INOVAÇÃO EM ENERGIAS SOLAR E EÓLICA: UMA ANÁLISE POR MEIO DE CITAÇÕES DE PATENTES.

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Economia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Economia e Desenvolvimento.

Aprovada em: 05 de setembro de 2024.

Profa. Dra. Cirlene Maria de Matos
Presidente da Banca Examinadora
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. André Luiz da Silva Teixeira
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Rosa Livia Gonçalves Montenegro
Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora



Documento assinado eletronicamente por **Cirlene Maria de Matos, Professor do Magistério Superior**, em 05/09/2024, às 18:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1326445** e o código CRC **CBE99DA2**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao ser iluminado que nos ronda por ter me permitido chegar até o estágio atual, conseguindo assim, concluir essa etapa tão sonhada desde o primeiro dia assistindo a uma aula em uma universidade.

Agradeço a minha família como um todo, por todo o apoio prestado em todos os momentos, especialmente ao “Senhor Anselmo”, meu pai, que incondicionalmente, sempre me apoiou em cada um dos meus desejos e decisões, não importando quão arriscados pudessem ser.

Agradeço a Stele, minha companheira, namorada, amiga e pessoa que está sempre comigo, me apoiando, influenciando e suportando todas as frustrações e reclamações, tanto durante o período do mestrado, como fora dele.

Agradeço aos meus Pets, os que estão comigo e os que já se foram, mas especialmente a minha cachorrinha Cait, que mesmo sendo apenas um animalzinho, foi e é meu ponto de conforto em meio a períodos complicados e turbulentos diversos, aquecendo meu coração, trazendo alegria no final dos dias mais complexos.

Agradeço à minha orientadora Cirlene, por todas as orientações, ajuda, compreensão e paciência com os erros e aprendizados ao longo da jornada.

Agradeço aos meus amigos feitos em Varginha, Ana e Vinicius, podem ter a certeza que sem o seu apoio, não teria conseguido concluir essa etapa.

Agradeço ainda ao Senhor Ronaldo e ao seu cachorrinho Johnny, que me acolheram tão bem no meu período residindo em Varginha.

Agradeço aos meus amigos de longa jornada, Augusto, Elias, Gabriel “in memoriam”, Jean, Leandro (Kell) e Pedro (Gepeto) que se mostraram tão disponíveis em diversos momentos, agradeço ainda, a todos os outros colegas e amigos de longa viagem que fizeram parte da minha trajetória, que me auxiliaram para que pudesse me tornar a pessoa que sou hoje.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Por fim, agradeço ao PPGE e a todo seu corpo docente pela oportunidade de adquirir o título de mestre.

"É importante lutar e lutar de novo, e continuar lutando, pois só assim o mal pode ser mantido à distância, embora nunca erradicado."

(Rowling, 2005)

RESUMO

O crescimento econômico descompensado tem gerado impactos significativos ao meio ambiente, demandando esforços para reconciliar o desenvolvimento sustentável com a inovação tecnológica. Nesse cenário, as energias solar e eólica destacam-se como ecoinovações essenciais para a mitigação das mudanças climáticas e a promoção da sustentabilidade. A presente dissertação analisa os efeitos dos transbordamentos internacionais de conhecimento sobre a inovação em tecnologias de energia solar e eólica, considerando países da OCDE e seus parceiros comerciais no período de 2000 a 2019. Por meio de citações de patentes e literatura científica, através da utilização de técnicas de tratamento de dados econométricos em painel, investigou-se como o fluxo de conhecimento entre países desenvolvidos e em desenvolvimento influencia a dinâmica inovativa nesses setores. Os resultados indicam que apenas as patentes originadas em países desenvolvidos possuem um impacto significativo e positivo sobre a inovação em outros países. A pesquisa contribui para o entendimento das relações entre inovação, sustentabilidade e políticas públicas, com implicações para a transição energética global.

Palavras-chave: ecoinovação; energias renováveis; energia Solar; energia eólica; citações de patentes; inovações tecnológicas; sustentabilidade; transbordamentos de conhecimento.

ABSTRACT

Unbalanced economic growth has generated significant impacts on the environment, requiring efforts to reconcile sustainable development with technological innovation. In this context, solar and wind energy stand out as essential eco-innovations for mitigating climate change and promoting sustainability. This dissertation analyzes the effects of international knowledge spillovers on innovation in solar and wind energy technologies, considering OECD countries and their trading partners from 2000 to 2019. Through patent citations and scientific literature, using econometric panel data analysis techniques, the study investigates how the flow of knowledge between developed and developing countries influences the innovation dynamics in these sectors. The results indicate that only patents originating from developed countries have a significant and positive impact on innovation in other countries. The research contributes to understanding the relationships between innovation, sustainability, and public policies, with implications for the global energy transition.

Keywords: eco-innovation; renewable energies; solar energy; wind energy; patent citations; technological innovations; sustainability; knowledge spillovers.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frequência de citação de patentes inventadas nos EUA, por país.....	37
Gráfico 2 - Densidade K para distância em milhas: citações do examinador	38
versus inventor	38
Gráfico 3 - Distribuição mundial de patentes em desenvolvimento de energias a partir de fontes renováveis segundo dados do USPTO (1971-2010)	49
Gráfico 4 - Investimentos globais em energia eólica (bilhões de US\$ de 2019) – Mundo – 2005 - 2019	51
Gráfico 5 – Investimentos globais em energia solar (bilhões de US\$ de 2019) – Mundo – 2005 – 2019.....	53
Gráfico 6 - Evolução do Número de Depósitos de Patente por Ano para as energias Eólica e Solar, 2000 a 2019	67
Gráfico 7 - Evolução do Número de Citações de Patentes por Ano para as energias Eólica e Solar, 2000 a 2019	70
Gráfico 8 - Consumo de energia renovável nos países desenvolvidos e em desenvolvimento: participação no consumo total de energia, 2000 a 2019	76
Gráfico 9 - Análise das variações médias nas emissões de CO ₂ entre países desenvolvidos e em desenvolvimento	78
Gráfico 10 - Média de participação de energias eólica e solar na produção de eletricidade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, 2000 a 2019	79
Gráfico 11 - Média de produção de energia renovável nos países desenvolvidos.... e em desenvolvimento, 2000 a 2015	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estudos que fazem uso de citações de patentes	41
Quadro 2 - Identificação das variáveis utilizadas no modelo.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países desenvolvidos que mais fizeram depósito de patente de energia solar e eólica, 2000 a 2019.....	68
Tabela 2 - Países em desenvolvimento que mais fizeram depósito de patentes em energia solar e eólica, 2000 a 2019.....	69
Tabela 3 - Os 10 países com maior e menor média de emissão de CO ₂ entre os países constituintes e parceiros comerciais da OCDE, 2000 a 2019.....	71
Tabela 4 - Os 10 países com maior e menor média de consumo de energia renovável entre os países constituintes e parceiros comerciais da OCDE, 2000 a 2019.....	73
Tabela 5 - Os 10 países com maior e menor média de produção de energia renovável entre os países constituintes e parceiros comerciais da OCDE, 2000 a 2019.....	74
Tabela 6 - Os 10 países que possuem maior e menor participação média de energias eólica e solar na produção de eletricidade, 2000 a 2019.....	75
Tabela 7 - Estimções por system gmm – 2000 a 2019.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPC	<i>Cooperative Patent Classification</i>
CSP	Energia Solar Concentrada
ER	Energias Renováveis
EUA	Estados Unidos da América
EPO	<i>European Patent Office</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
GPT	<i>General Purpose Technology</i>
IEA	International Energy Agency
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPC	<i>International Patent Classification</i>
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
KTEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
NPL	Literatura Não Patentária
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCT	Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes
P & D	Pesquisa e Desenvolvimento
REGPAT	Registro de Patentes
UAV	Veículo aéreo não tripulado
UNCED	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
UNIFAL-MG	Universidade Federal de Alfenas
USPTO	<i>United States Patent and Trademark</i>
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	CITAÇÕES DE PATENTES COMO INDICADORES DE TRANSBORDAMENTO DO CONHECIMENTO	19
2.1	INVENÇÃO VERSUS INOVAÇÃO	20
2.2	TRANSBORDAMENTOS DO CONHECIMENTO	22
2.3	ECOINOVAÇÃO	25
2.4	PATENTES	28
2.4.1	CITAÇÕES DE PATENTES	31
2.4.2	CITAÇÕES DE LITERATURA NÃO PATENTEADA	39
3	ENERGIAS RENOVÁVEIS	45
3.1	ENERGIAS RENOVÁVEIS E SUA APLICABILIDADE	46
3.2	ENERGIA EÓLICA	50
3.3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	52
3.4	OS PRINCIPAIS DRIVERS DA ECOINOVAÇÃO	53
4	METODOLOGIA	57
4.1	MODELO ECONOMETRICO	57
4.2	BASE DE DADOS	60
4.3	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	67
4.3.1	Patentes depositadas entre 2000 e 2019	67
4.3.2	Citações a patentes de outros países	69
4.3.3	Variáveis ambientais	71
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	82
6	CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS	93
	REFERÊNCIAS	97
	APÊNDICE A – Classificação dos Códigos CPC para Energias Solar e Eólica	105
	APÊNDICE B – Estimções Alternativas com Variações nos Lags por System Gmm (2000-2019)	106
	ANEXO A – Sistema Completo de Classificações CPC	107

1 INTRODUÇÃO

O uso descompensado de recursos naturais é de fato uma problemática existente há muito tempo, em que, há uma coexistência do crescimento econômico, desenvolvimento e impactos no meio ambiente. À vista disso, pesquisadores como Schneider (2010), Alier (2010) e Hueting (2009), discorrem que o crescimento descompensado pode trazer repercussões, como o aumento de gases poluentes, produção de lixo e descontinuidade dos recursos naturais para o planeta.

O conceito de desenvolvimento que busca caminhar com a sustentabilidade surgiu em 1987, na Suíça, em razão principalmente da exploração de recursos naturais, a ONU (Organização das Nações Unidas) criou a UNCED (Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento). Segundo Ipiranga *et al.* (2011), a comissão, também nomeada de *Brundtland*, salienta a precariedade existente na produção sustentável que objetiva amparar um meio de consumo exigente.

Considerando o que o ciclo produtivo provoca na natureza e em seus recursos, o mundo dá sinais de uma urgência em um diálogo entre o meio produtivo e o meio ambiente. Em resposta a esta problemática, instituições de diversos países promovem por meio de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), formas de se obter uma melhor conversação no que tange o desenvolvimento econômico, em busca de se trazer uma maior sustentabilidade para os processos que o envolve.

Belke, Dobinik e Dreger (2011) exploram a relação econômica/ambiental a longo prazo existente entre o crescimento econômico e o consumo de energia. A partir dessa relação, constatam a necessidade de as nações avançarem através de mecanismos, que englobam tanto sustentabilidade, como também crescimento econômico.

Klemmer *et al.* (2019) apresentam o termo inovação ambiental (ecoinovação), em que, ecoinovações são medidas tomadas por atores sociais de grande importância (empresas, políticos, sindicatos, associações) que possuem a capacidade de desenvolver novos produtos, processos e ideias, que serão aplicadas ou introduzidas com objetivo de reduzir os impactos ambientais ou atingir metas ambientais.

Com relação à ecoinovação e a sustentabilidade podemos apresentar o conceito de energia renovável, no qual, é de suma importância a utilização de uma maior quantidade de energias renováveis para mitigar a pressão sobre o meio ambiente. A energia renovável é a energia vinda de fontes da natureza que podem

ambiente. A energia renovável é a energia vinda de fontes da natureza que podem ser reabastecidas e reutilizadas, diferente de energias fósseis, por exemplo, que trazem malefícios para o meio ambiente como emissões de GEE (gases do efeito estufa), poluição do ar, destruição dos ecossistemas etc. Entre as principais podem ser destacadas a energia hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa, e a de ondas e marés (Ferreira; Santana; Rapini; Moura, 2022).

Segundo Mazzucato (2014), a energia solar, que é gerada por meio da radiação solar, e a eólica, derivada da conversão das energias cinéticas dos ventos em eletricidade, possuem um destaque mundial como fontes de energias limpas e sustentáveis. A energia solar aproveita a luz do sol por intermédio de painéis fotovoltaicos, enquanto a energia eólica utiliza a força dos ventos para gerar eletricidade através de turbinas eólicas. Sua importância reside na capacidade de fornecer energia limpa e renovável, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e diminuindo a dependência de fontes de energia fósseis.

As energias solar e eólica se destacam em relação a outras fontes de energia renovável devido, principalmente, à sua versatilidade e disponibilidade global, possuindo a capacidade serem utilizadas em áreas onde a topografia não é adequada para represas hidroelétricas, por exemplo. Além disso, essas fontes não dependem da disponibilidade de recursos hídricos ou biomassa, tornando-as adequadas para regiões com climas diversos. O baixo impacto ambiental e a ausência de emissões diretas de gases poluentes contribuem para torná-las soluções atrativas para enfrentar os desafios da mudança climática e a necessidade de energia sustentável em todo o mundo (Mazzucato, 2014).

Atualmente, as maiores fontes de energia são advindas de fontes fósseis, e por não se tratar de uma fonte renovável, gera prejuízos para o meio ambiente que a longo prazo afetam principalmente os recursos de suprimento do planeta (Lucon; Goldemberg, 2007).

Segundo Batista *et al.* (2019) e Carrillo-Hermosilla *et al.* (2010), a crise no ambiente é decorrente de problemas para os quais ainda não existem soluções, de forma que é de extrema importância que se repense ou adapte o processo produtivo industrial.

Neste cenário, a inovação tecnológica deve ter um viés não somente de crescimento econômico, mas também um meio onde exista uma promoção de formas de produção que desaceleram os impactos ambientais (Sachs, 2001). Ou

seja, a inovação tecnológica deve ser reconhecida como um recurso crucial para atingir os objetivos que são propostos pelas políticas energéticas e ambientais, além de enfrentar as mudanças climáticas (IEA, 2020).

Segundo um relatório da Agência Internacional de Energia Renovável –ou IRENA (2019), as tecnologias de energia renovável estão avançando de forma proeminente em todo o mundo, com os custos em queda constante. Em especial as energias solar e eólica, os custos de geração estão se tornando cada vez mais competitivos em relação aos combustíveis fósseis.

Para se atingir melhorias significativas no desempenho ambiental, é necessário que disponham de uma intensidade maior nos processos inovativos que tenham como foco a exploração da dimensão ambiental, tais processos foram popularizados como inovação ambiental ou ecológica (Ekins, 2010).

Uma das principais formas de difusão das inovações tecnológicas em energias renováveis, especificamente a solar e eólica, é por meio dos transbordamentos de conhecimento. Os transbordamentos do conhecimento -ou *spillovers*-, referem-se ao fluxo de informações, conhecimentos e habilidades que ocorrem entre indivíduos, organizações ou setores distintos. Esse fluxo pode ocorrer de forma voluntária ou involuntária, sendo um resultado do intercâmbio de informações entre diferentes agentes.

Os transbordamentos de conhecimento contribuem no processo de ampliação das inovações, uma vez que permitem que as descobertas e ideias geradas em uma determinada região, possam ser aplicadas em outras áreas (Romer, 1990). Por meio do uso de patentes, especificamente citações de patentes, o transbordamento de conhecimento consegue explicar o quão profundamente uma inovação tecnológica está sendo considerada para medida de absorção de conhecimento em diferentes países e regiões. Quando ocorre uma citação de uma patente, denota que a invenção original adquiriu um impacto positivo e, portanto, viajou para outras áreas (Trajtenberg, 1990).

Existem três formas segundo Jaffe e Trajtenberg (1999), de se medir o impacto dos transbordamentos de conhecimento: por meio do número de patentes geradas a partir desses transbordamentos; por meio das co-invenções; e por meio da citação de patentes¹. Conforme Carpenter e Narin (1986), as patentes que citam

¹ Citações de patentes são referências a documentos de patentes anteriores em um novo pedido de patente.

outras patentes têm um maior impacto econômico do que as patentes que não citam outras patentes, sugerindo que as patentes que citam outras possuem um maior papel inovador, e, portanto, são mais importantes para o mercado em geral.

Zucker e Darby *et al.* (2007) analisaram a importância dos transbordamentos de conhecimento na indústria farmacêutica e concluíram que as empresas que recebem conhecimento de outras empresas e instituições de pesquisa são mais propensas a obter patentes e lançar novos produtos no mercado; Maurseth e Vespagen (2002), explanam um estudo empírico sobre transbordamento que analisa qual o impacto das inovações no nível de emprego entre diversos setores empresariais. Analisando citações de patentes europeias, eles concluem que os fluxos de conhecimento são mais localizados dentro dos países, entretanto, o estudo não analisa patentes externas ao continente europeu. Mais especificamente no contexto de energias renováveis, Kim (2022) discorre a respeito do papel da acumulação de conhecimento regional, examinando o efeito dos estoques cumulativos de patentes em inovações de baixo carbono, com recorte na Coreia do Sul. Sugere como conclusão que as invenções, tanto nacionais, quanto internacionais contribuem efetivamente para o patenteamento de energias de baixo carbono.

Quanto maior a atividade econômica de um país, maior o uso de energias, se desdobrando em um maior nível de impactos ambientais. Portanto, é necessário exercer um questionamento a respeito de como o desenvolvimento econômico industrial está atrelado aos princípios de um planeta mais sustentável, buscando trazer um menor impacto ao meio ambiente por meio do uso de inovações tecnológicas sustentáveis.

A problemática que movimenta os interesses desta dissertação se trata de: Como os transbordamentos de conhecimento entre países estimulam as inovações em energias solar e eólica?

A pesquisa sobre os transbordamentos de conhecimento em energias renováveis, é fundamental para entender como a inovação ocorre nesse setor e, assim, promover o desenvolvimento de tecnologias limpas e sustentáveis em nível mundial.

Assim, o objeto de estudo deste trabalho se trata de uma investigação dos efeitos dos transbordamentos do conhecimento entre países sobreecoinovações de tecnologias de energia eólica e solar. Dessa forma, se propõe uma abordagem

similar à adotada por alguns autores como Albino *et al.* (2014); Fernández, Ferrándiz e Medina (2022); Lee e Lee (2013), que voltaram suas análises para o estudo de uma ou mais energias renováveis utilizando citações de patentes.

Esta dissertação tem como objetivo principal compreender o efeito dos transbordamentos internacionais de conhecimento sobre a inovação em energias solar e eólica nos países membros da OCDE e seus parceiros comerciais, no período de 2000 a 2019. Serão utilizados alguns meios para alcançar esse propósito, no qual, propõe-se analisar o impacto das citações a patentes estrangeiras e à literatura não patentária de outros países sobre a dinâmica inovadora nos setores de energias renováveis mencionados. Além disso, busca-se estabelecer uma comparação entre os efeitos dos transbordamentos de conhecimento provenientes de países desenvolvidos e de países em desenvolvimento com base nas ecoinovações desenvolvidas no campo das energias solar e eólica.

Como *proxy* para as inovações em energias solar e eólica são utilizadas as patentes nestas áreas tecnológicas. Para modelar o potencial de inovação de um país, são utilizadas diversas variáveis explicativas. Começando com o número de patentes registradas no país no período de tempo anterior para captar o caráter *path dependent*² da inovação. Além disso, é considerada a capacidade de geração de conhecimento, que é medida pelo nível de Pesquisa e Desenvolvimento, mostrando a habilidade das instituições locais em aplicar novos conhecimentos (Cohen; Levinthal; 1989; Jaffe; 1986; Mancusi; 2008). É usado o percentual do PIB gasto em P&D. O nível de população com ensino superior no país é avaliado e utilizado como um indicador de capital humano, já que um maior nível de educação está associado a uma maior capacidade de inovação. São inseridas *dummies* tanto de ano para remover possíveis choques temporais que afetem as regiões, como também foram inseridas *dummies* para diferenciação de capacidade econômica entre países (1 para países desenvolvidos e 0 para países em desenvolvimento), visto que isso pode influenciar a transferência de conhecimento e a capacidade inovativa de um país ou região (Jaffe; Trajtenberg, 1999).

² "Path dependent", se refere à ideia de que o resultado atual ou futuro de um processo ou sistema depende das escolhas e eventos passados que moldaram a trajetória desse processo ou sistema. Em outras palavras, o resultado ou estado atual de um sistema é influenciado significativamente pelas decisões, eventos e ações que ocorreram anteriormente (David, 2007).

Para captar os transbordamentos do conhecimento entre países, diferentemente de Fernández, Ferrándiz e Medina (2022), que utilizam *forward citations*, são utilizadas as *backward citations* e citações a literatura não patenteada, ou seja, literatura advinda de contribuições científicas como artigos, teses, dissertações e capítulos de livros. Assim, esta dissertação examina sistematicamente como as invenções desenvolvidas em um país obtiveram respostas de aplicação e adaptação em múltiplas invenções em outras regiões a nível global. Em particular, o foco do trabalho foi direcionado a duas energias renováveis, eólica e solar.

A principal contribuição da dissertação se dá em compreender a importância do desenvolvimento de inovações em energias renováveis em países desenvolvidos sobre a evolução deecoinovações em países em desenvolvimento. Por meio da compreensão da difusão destas inovações, são fornecidos também *insights* para orientar políticas eficazes e servir como base para futuras pesquisas e avanços tecnológicos, uma vez que é consenso na bibliografia que o conhecimento é geograficamente limitado. A análise de transbordamentos do conhecimento entre países contribui para entender como e se o conhecimento transborda além das fronteiras nacionais, abordando um tema de importância crítica em um mundo focado simultaneamente na sustentabilidade e na mitigação das mudanças climáticas.

Os dados utilizados são advindos das bases de dados da WIPO (Organização mundial de propriedade intelectual) e disponibilizadas pela OCDE (Organização para cooperação e desenvolvimento econômico) e do Banco Mundial. Foi utilizado um painel dinâmico, estimado por meio do *Generalized Method of Moments (system gmm)*, que é adequado para esta pesquisa por sua capacidade de lidar efetivamente com problemas de autocorrelação e endogeneidade.

Além da presente introdução e das considerações finais, esta dissertação é composta por mais três capítulos. Ao longo do segundo capítulo é apresentada uma revisão sistemática da literatura relevante sobre inovações e invenções, fluxo de conhecimento, exposição sobre a composição e como funcionam as patentes e citações de patentes e por fim uma explicação sobre citações de literatura não patenteada.

No capítulo 3 (três) é explanado o contexto das energias renováveis, especificamente eólica e solar. Para mais, são introduzidas também informações

sobre patentes em energias renováveis. O quarto capítulo apresenta a base de dados e a metodologia adotada. O quinto capítulo traz a análise dos resultados encontrados.

2 CITAÇÕES DE PATENTES COMO INDICADORES DE TRANSBORDAMENTO DO CONHECIMENTO

O presente capítulo é composto por quatro seções que abordam a respeito da explanação dos conceitos de invenção e inovação até a citação de uma eventual patente. Sendo que a primeira seção tem como foco os desdobramentos de uma invenção até se tornar uma inovação. A próxima seção discorre sobre a descrição e explicação a respeito dos transbordamentos. A terceira aborda o conceito deecoinovação mais profundamente e que conecta inovação e sustentabilidade. E por fim, a terceira seção trabalha com a caracterização do processo de inovação desde a concessão da patente até a discussão em relação a citação de patentes e finaliza com a apresentação da literatura não patenteada.

2.1 INVENÇÃO VERSUS INOVAÇÃO

A distinção entre invenção e inovação é fundamental no contexto do desenvolvimento tecnológico e do progresso econômico. Alguns autores como Schumpeter (1939) dissertam a respeito da diferenciação e dos papéis complementares entre invenção e inovação, onde, a inovação se refere à comercialização ou à introdução de um produto ou serviço no mercado, enquanto a invenção é a criação de um novo produto ou serviço.

A realização da invenção e a realização das inovações correspondentes são, econômica e sociologicamente, duas coisas totalmente diferentes. Eles podem, e muitas vezes foram, executados pela mesma pessoa; mas isso é apenas uma coincidência casual que não afeta a validade da distinção. A aptidão pessoal – principalmente intelectual no caso do inventor, principalmente volitiva no caso do empresário que transforma a invenção em inovação – e os métodos pelos quais um e outro trabalham pertencem a esferas diferentes. (Schumpeter, 1939, p. 84-86)

A invenção, conforme Scherer *et al.* (1986), se trata de um antecessor da inovação, porém, são esferas interligadas do avanço tecnológico. Segundo Schumpeter, a invenção se trata de uma parte do processo da inovação, consistindo no ato da criação ou reconhecimento de algo novo, e também, do aprimoramento de algo já existente, sendo um objeto ou descobrimento de uma nova ideia.

A inovação é algo que vai muito além da invenção em si, sua definição pode ser dada na relação existente entre a interação de um invento com o mercado. Ela gera, assim, novos métodos de produção, modelos de negócios e mudanças

organizacionais alinhadas com a necessidade mercadológica de uma determinada sociedade, nesse sentido, a inovação só ocorre quando uma invenção é implementada com sucesso ao ser levada ao mercado com fim comercial (Schumpeter, 1939).

Existem dois tipos de inovação, a incremental, que também pode ser conhecida como inovação contínua/usheriana, sendo referente a inovações que possuem evoluções graduais em produtos, serviços ou processos que já existem, onde se consideram a aprendizagem experimental e a cumulativa. A inovação vai trazer uma melhora nos produtos ou processos existentes se for uma inovação incremental, indiretamente causando um efeito de bem-estar, podendo inclusive influenciar o crescimento econômico, seja em escala regional e até nacional. Ademais, é necessário que exista um grupo significativo de consumidores interessados em fazer uso da mesma. Outro tipo de inovação é a inovação disruptiva, ou inovação radical/schumpeteriana, que se trata da introdução de uma invenção completamente transformadora, ou nova, que ao contrário da inovação incremental, esta é caracterizada pela quebra de um padrão, transformando os processos anteriores em obsoletos (Carlino; Kerr, 2015; Schumpeter, 1939; Usher, 1929).

Feldman (1994) argumenta que ao realizar troca de importantes informações sobre inovações acumuladas ao longo do tempo, as empresas reduzem a probabilidade de gerar incertezas em relação à exploração de novas áreas. Dessa forma, a inovação adquire uma concentração geográfica em que as externalidades do conhecimento não geram gastos desnecessários com descobertas tecnológicas/invenções que foram ou estão sendo desenvolvidas por outras instituições.

Determinadas externalidades do conhecimento, segundo Grossman e Helpman (1991), podem ser descritas também como parte do produto que o processo de inovação gera e que necessariamente não irá beneficiar os agentes inovadores, ou seja, ocorre o transbordamento de conhecimento entre firmas sem que ocorra uma transação financeira.

Griliches (1990), discorre que a mensuração dos níveis de transbordamento, seja em escala regional ou local, é uma tarefa difícil. A patente mostra-se como uma *proxy* para as invenções que se tornaram relevantes economicamente, em que, a patente reproduz o caminho que uma invenção percorreu. Isso contribui para que o

sistema de patenteamento aponte como o meio mais utilizado para se mensurar o nível de inovação (Carlino; Kerr, 2015).

2.2 TRANSBORDAMENTOS DO CONHECIMENTO

Para Griliches (1992, p. 29), os transbordamentos de conhecimento ocorrem quando os inventores trabalham em coisas semelhantes, podendo ocorrer em áreas diferentes, principalmente nas complementares e, portanto, se beneficiam muito da pesquisa uns dos outros.

Existem dois tipos de transbordamento de conhecimento, conforme Griliches (1979), o primeiro concerne aos *rent spillovers*, que são as externalidades pecuniárias, ou seja, quando ocorre a transmissão do conhecimento por meio da troca de bens, através do mercado. O segundo diz respeito a um processo sem uma compensação pecuniária, que ocorre de forma espontânea. As externalidades puras (ou *spillovers* puros), ao contrário dos *rent spillovers*, se tratam de um conhecimento acessível sem contrapartida financeira, contanto que existam profissionais com capacidade de absorção.

Krugman (1991) explica que o conhecimento flui de forma invisível e que sua mensuração seria impossível, e, portanto, não deixa nenhum “rastro de papel” para que possa ser medido ou rastreado, ou seja, seria impossível identificá-lo. Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1993), discordam do argumento de que o fluxo de conhecimento não deixa rastros -ou rastros de papel-, segundo os autores, não somente os fluxos de conhecimento possuem sim meios de serem rastreados por meio de rastros de papel através da utilização de citações de patentes, mas também contribuem para análise dos fluxos de conhecimento, refletindo externalidades não pecuniárias (*spillovers* puros), ou seja, quando agentes da economia beneficiam outros agentes (ou outro grupo), sem necessariamente ter uma compensação financeira em troca (Griliches, 1990).

Von Hippel (1994) explica que existe uma diferença entre o conhecimento tácito (conhecimento não codificado) e a informação, sendo que a troca de conhecimento e informações se tornou uma tarefa monótona devido à evolução das tecnologias da informação, adquirindo agora, um maior alcance geográfico. A transmissão de conhecimento tácito, por se tratar de um conhecimento não necessariamente documentado, por sua vez, é mais localizada geograficamente

porque a partilha de conhecimento tácito muitas vezes requer interações presenciais como observação e comunicação entre pesquisadores para ocorrer de maneira eficaz (Carlino; Kerr, 2015).

Segundo Carlino e Kerr (2015), as teorias que envolvem o transbordamento do conhecimento são fundamentais para a compreensão de atividades inovadoras, visto que, o conhecimento tácito desempenha um papel crucial na promoção da inovação em âmbitos regionais. Os transbordamentos do conhecimento tácito geralmente detêm um alcance geográfico mais limitado em comparação com o conhecimento codificado. Porém, embora este tipo de conhecimento seja espacialmente concentrado, ele é capaz de romper barreiras geográficas.

O transbordamento do conhecimento tácito ocorre principalmente por meio da mobilidade dos inventores e de cooperações, estimulando a difusão do conhecimento em nível regional, mas esta difusão tende a ser mais espacialmente concentrada. Já o conhecimento codificado, se trata de um conhecimento que foi registrado. As diferenciações entre os conhecimentos são relevantes no que cerne os transbordamentos do conhecimento. Devido ao fato de ser registrado, o conhecimento codificado adquire um papel que ultrapassa as barreiras geográficas de conhecimento e possui característica de ser um bem público, o que auxilia os setores industriais, poupando retrabalhos, e contribuições simultâneas em limites globais. (Polany, 1967; Gertler, 2003). Assim, espera-se que o transbordamento do conhecimento codificado tenha maior potencial de alcance geográfico que o conhecimento tácito, podendo se difundir entre países. As patentes constituem um tipo de conhecimento codificado, podendo seu conteúdo se difundir para outros países, gerando o potencial de criar novos conhecimentos nestes locais.

Carlino e Kerr (2015) trazem que a concentração geográfica de empregos e pessoas, devido a sua proximidade facilita a transferência de conhecimento não codificado, ou seja, facilita a disseminação do conhecimento tácito. Assim, os fluxos de conhecimento são geralmente fixados em determinada localização, podendo evadir para outras áreas ou locais (Breschi; Lissoni, 2009). Em conformidade, Feldman e Audretsch (2004) discorrem que a inovação tecnológica possui maior concentração de conhecimento do que as indústrias, argumentam que os *spillovers* possuem influência da distância do conhecimento.

Agrawal (2002) e Anselin, Acs e Varga (1997) concordam com a ideia de que os transbordamentos do conhecimento possuem um espaço geográfico limitado na

região que o conhecimento descoberto foi gerado. Feldman (2002) afirma que medidas de distância geográfica não capturam as relações sociais envolvidas no transbordamento do conhecimento, e sim que a geografia é um meio para organização da atividade econômica, logo, não capturam relações sociais de maior complexidade.

Analogamente, Adams e Jaffe (1996) discorrem a respeito da delimitação geográfica dos transbordamentos do conhecimento utilizando como métrica o conceito de “decaimento da distância”. O decaimento de distância diz respeito a uma expressão que trata a proximidade geográfica entre pesquisadores, instituições e centros de pesquisa como uma forma de facilitar a disseminação do conhecimento. Nesse sentido, à medida que a distância física entre os agentes aumenta, a probabilidade de interação e compartilhamento de conhecimento tende a diminuir.

Jaffe e Trajtenberg (1999); Hu e Jaffe (2003); Keller (2004) inferem que além da proximidade geográfica, alguns fatores em comum entre os países, acarretam em um maior índice de transbordamento global de P&D, como por exemplo, culturas similares, idioma ou até mesmo identidade étnica, ainda que haja uma grande distância geográfica.

Um dos tipos de conhecimento codificado, e que será utilizado nesta dissertação, se trata do conhecimento codificado por meio de patentes, onde, se trata de um conhecimento que está registrado. Logo, quando um inventor cita uma patente anterior, ocorre um transbordamento de conhecimento codificado. O fato de ser um conhecimento codificado contribui para ampliar o alcance geográfico do transbordamento, uma vez que destitui de interações pessoais. Entretanto, para que o transbordamento do conhecimento seja efetivo para contribuir no âmbito de gerar inovações no país receptor é necessário que esse país tenha capacidade de absorção (Cohen; Levinthal, 1990).

O conceito de absorção de conhecimento, pode ser descrito como a capacidade de uma organização ou indivíduo adquirir, integrar e aplicar novas informações, habilidades ou tecnologias para melhorar sua eficiência, inovação ou desempenho. Ele é decorrente da evasão de conhecimento para áreas ou países distintos, e, portanto, da capacidade de absorção de informações acerca de inovações tecnológicas por meio de transbordamentos. A absorção de conhecimento pode ser identificada como a habilidade de compreender e absorver o conhecimento

externo, e assim, respectivamente, assimilar, internalizar, transformá-lo conforme seu ambiente e utilizá-lo beneficemente para o mercado (Cohen; Levinthal, 1990).

Além disso, a capacidade de absorver determinado conhecimento externo, depende também do conhecimento já disponível internamente, visto que, sem ter um conhecimento prévio mínimo, o conhecimento externo não teria capacidade de compreensão e reaplicação (Cohen; Levinthal, 1990).

O fluxo de conhecimento é mais avançado em países desenvolvidos, visto que possuem maiores capacidades de absorção, e possuem melhores investimentos voltados a tecnologia, assim, o estudo de Keller (2002) dispõe que os transbordamentos de conhecimento estão adquirindo características globais ao longo dos últimos anos (Keller, 2002).

Li, Heimeriks e Alkemade (2022) discorrem a respeito da importância dos fluxos internacionais de conhecimento dentro de sistemas de inovação tecnológica voltados a energias renováveis. Denotam que os fluxos de conhecimento auxiliam e são mais imprescindíveis para países que possuem menor capacidade de absorção em comparação a países que possuem uma capacidade maior, visto que conseguem se beneficiar mais facilmente dos fluxos.

2.3 ECOINOVAÇÃO

A proteção ao meio ambiente se tornou um fator crucial a partir do momento que se visa um desenvolvimento a longo prazo. Nesse contexto, o conceito de ecoinovação, cresceu e ganhou maior destaque em países ao redor do globo, pois, além de ser uma necessidade iminente ambiental, é também uma prioridade para o desenvolvimento econômico (Albino *et al.* 2014).

O termo “ecoinovação” é apresentado por Huppés (2008), como uma subclasse da inovação, um intermédio entre inovação econômica e ambiental, que traz melhorias às atividades econômicas e também ao desenvolvimento ambiental da sociedade. A ecoinovação pode ser vista como um termo entre uma vasta gama de definições que buscam definir o desenvolvimento de forma sustentável. A literatura também traz outras expressões como, inovação sustentável, economia verde, desenvolvimento sustentável, inovação sustentável.

O setor de tecnologia é a base da ecoinovação, visto que as avaliações de impacto ambiental e tecnológico buscam abranger todas as esferas da sociedade,

alcançando dimensões nacionais, regionais e locais, possuindo como um dos principais pilares não somente uma transição do estilo de vida com menores taxas de carbono para o planeta, mas também, trabalhando estrategicamente com setores cruciais da economia para se atingir o objetivo mais facilmente (Albino *et al.* 2014; Lanoie *et al.* 2011).

Kemp e Pearson (2008), ampliam um pouco mais o significado deecoinovação com o objetivo do desenvolvimento de um conceito que meça os principais impactos e determinantes em pesquisas de grande escala em um cenário internacional. A definição possui três características consideráveis: Ela considera apenas as inovações que já foram implementadas, relaciona os impactos ambientais ao estado da arte da invenção e a inovação deve possuir o caráter de novidade para uma empresa.

As ecoinovações assim, são fragmentadas em três categorias; tecnológica, institucional/organizacional e social. As ecoinovações tecnológicas ambientais podem ser consideradas invenções ou processos que visam conciliação entre fatores econômicos e proteção ambiental preventiva -como descontaminação do solo. As de caráter institucional e organizacionais são inovações que geralmente são geridas a nível empresa, eco-auditorias por exemplo, realizando avaliações contínuas e possuem grande importância no desenvolvimento da inovação; por fim, as inovações sociais podem ser definidas por mudanças de comportamento e estilo de vida (Rennings, 2000).

As inovações ambientais necessitam de incentivos, e conhecimentos agregados de outras áreas heterogêneas, se tornando um dos poucos fatos estilizados que surgiram em torno da inovação ambiental, assim, os conhecimentos externos se tornaram um fator de influência em cada inovação ambiental (Ghisetti *et al.* 2015).

Assim, a diversificação dos conhecimentos ganhou atenção das empresas ecoinovadoras, possibilitando tanto acessar, como se beneficiar de fontes externas com o conhecimento que foi adquirido e agora são detentoras, assim, as inovações ambientais possibilitam o transbordamento de conhecimento (Ghisetti *et al.* 2015).

Considerando a relevância do transbordamento de conhecimento entre países para as inovações em energia solar e eólica, Ghisetti *et al.* (2015) destaca que as inovações ambientais, incluindo aquelas relacionadas à energia renovável, dependem significativamente da diversificação dos conhecimentos. Nesse contexto,

as patentes desempenham um papel crucial como veículo para a transferência de conhecimento. À medida que empresas ecoinovadoras buscam acessar e se beneficiar de fontes externas de conhecimento, as patentes se tornam uma ferramenta valiosa, permitindo a absorção e a aplicação de inovações desenvolvidas em diferentes setores e regiões. Assim, as patentes não apenas protegem as inovações, mas também facilitam o transbordamento de conhecimento, impulsionando o avanço das tecnologias de energia solar e eólica em escala global.

A implementação de tecnologias renováveis em termos mercadológicos, ou seja, de produtos ou processos que tragam melhorias significativas ao desempenho ambiental, segundo Ekins (2010), possui três caminhos. O primeiro proporciona imediatamente um melhor desempenho econômico, se transformando imediatamente em ecoinovação. O segundo é situado como uma potencial ecoinovação, onde, a tecnologia não proporciona imediatamente uma melhora no desempenho econômico, porém, se torna uma ecoinovação quando é plenamente adotada pela sociedade - sendo um processo que pode variar em termos de anos ou décadas. O terceiro caminho se dá por meio da tecnologia que é também introduzida como uma potencial ecoinovação, porém, seu desempenho não melhora em relação à adesão da sociedade, assim, não se torna de fato uma ecoinovação importante para o desenvolvimento ambiental, se tratando de uma inovação que nunca será implementada (Ekins, 2010).

Como abordado por Porter e Van Der Linde (1995), devido às falhas de mercado, os setores mais direcionados para o mercado necessitam de um apoio político para se desenvolverem, visto que, inicialmente as tecnologias que poupam energia e não degradam o meio ambiente também irão reduzir custos, entretanto, os benefícios não são perceptíveis para as empresas por causa de problemas organizacionais e coordenação (Horbach *et al.* 2012).

Conforme dados do IPCC (2007), a combinação das ações empresariais, conjuntamente das humanas são os principais contribuintes do crescimento e propagação de GEE³. Aproximadamente 86% das emissões mundiais são advindas da queima de combustíveis fósseis para a produção de materiais e para o setor de energia. Os 14% restantes resultam do uso e exploração de terras, sobretudo queimadas e desmatamento.

³ Estes são formados por metano, óxido nitroso e dióxido de carbono (CO₂), sendo este o principal poluente.

Oosterhius e Ten Brink (2006) externam que a difusão de novas tecnologias geradas pelas eco indústrias quando obtém sucesso na aplicação de mercado, em grande parte das vezes segue um padrão de baixa absorção inicialmente e tem um crescimento exponencial acelerado, seguido de um decrescimento, assim como disposto por Jaffe e Trajtenberg (1999).

Nesse sentido, alguns autores como, Barbieri, Consoli e Perruchas (2020), exprimem a respeito da importância da aplicação e aceleração da implementação nos setores industriais (especificamente no de energias renováveis) o processo de desenvolvimento de novas tecnologias de baixo carbono. Em que, sua consumação se trata de um passo fundamental para auxiliar na contenção de emissões de GEE (OCDE, 2011).

2.4 PATENTES

Historicamente, o conhecimento tem sido um fator importante para grande parte do desenvolvimento econômico, dado que novos conhecimentos levam a inovações de processos e de produtos. Assim, os estudos no campo da inovação, mensuram as novas tecnologias de três formas: sendo a primeira maneira por meio da utilização de insumos em P&D, a segunda mediante ao número de patentes depositadas e por último através de algum meio de contabilização de trabalho inovador, como contagem de novos produtos (Carlino; Kerr, 2015; Acs; Anselin; Varga, 2002).

As patentes possuem três características importantes a serem descritas. Sendo a primeira em relação ao tempo de proteção da patente, segundo normas dos depósitos de patentes existe uma proteção e restrição pelo período de 20 anos a partir da data de solicitação, após este período ela se torna domínio público. A segunda característica se trata da divulgação de informações contidas na patente, de forma que outros inventores podem evitar retrabalhos em seu processo de invenção ao pesquisar as informações contidas em patentes anteriores. Por fim, a terceira característica é descrita como a delimitação territorial de uma patente, em que o inventor pode registrar sua patente no escritório de patentes que vá defender melhor seus interesses de propriedade (INPI, 2008).

Uma invenção para se tornar patenteável, precisa ser um incremento na arte anterior, ou uma arte completamente nova, porém, só se torna válida quando ocorre

a sua concessão, não o pedido, se tornando um grande indicador de atividade inovadora (Griliches, 1990).

Além do uso para medir a inovação regional, a patente não apenas consiste na proteção de uso, venda ou que façam uma cópia de uma certa invenção por um período determinado, mas também, fornece um incentivo à busca por avanços tecnológicos com o objetivo de criar oportunidades de patenteamento. Nesse sentido, para uma invenção ser patenteada, é necessário que detenha a característica de novidade, útil e não óbvia (Carlino; Kerr, 2015).

Carlino e Kerr (2015) argumentam a respeito da vantagem do uso de patentes nas pesquisas sobre patentes, onde, explicitam sobre a grande facilidade de acesso a estes documentos e que possuem diversas informações relevantes em um único local. Em contrapartida, dados em P & D não possuem a característica de fácil acesso a nível local. Outra vantagem da análise de inovação por meio de patentes se dá também, pois, as patentes possuem um sistema de classificação que não depende de diretrizes de mercado e não restringe o acesso aos dados (Jaffe; Rassenfosse, 2017).

Diversos são os trabalhos que utilizam da literatura de patentes e citações de patentes (Quadro 1). O estudo realizado por Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1993), analisou os efeitos dos transbordamentos de conhecimento na indústria de semicondutores nos Estados Unidos e concluiu que a proximidade geográfica entre empresas e instituições de pesquisa aumenta a probabilidade de transbordamentos de conhecimento, resultando em um aumento na inovação.

Peri (2005) observa o fluxo de patentes e citações de diversos países desenvolvidos, faz análise da barreira cultural existente entre a proximidade geográfica e a distância tecnológica por meio de um painel binomial negativo. O autor observa que países que não falam a mesma língua e não estão no mesmo limite geográfico detém menor taxa de fluxo de conhecimento, ainda que existente.

Seguindo a mesma linha do trabalho anterior de observar o fluxo de citações de patentes entre regiões, Singh *et al.* (2010) utilizando um modelo Logit, faz uma análise entre as barreiras em nível regional dentro do próprio país e a relação existente entre a proximidade tecnológica e a geográfica. Conclui-se que existem maiores níveis de concentração dos fluxos entre regiões vizinhas, intranacional e interestadual, além disso, a proximidade tecnológica contribui efetivamente tanto para os fluxos quanto para tecnologias relacionadas. Com foco nos inventores da

Europa, Criscuolo e Verspagen (2008) estimam também, um modelo Logit analisando a relação dos fluxos de citações entre proximidades geográficas e tecnológicas. Concluem que os fluxos são positivamente relacionados com as duas proximidades.

Os trabalhos citados possuem como ponto em comum o uso de patentes e citações de patentes para analisar os fluxos de conhecimento e seus impactos na inovação. Eles investigam como fatores como proximidade geográfica, distância tecnológica e barreiras culturais influenciam os transbordamentos de conhecimento. Em linhas gerais, destacam que a proximidade, seja ela geográfica ou tecnológica, tende a intensificar esses fluxos, enquanto barreiras linguísticas e culturais podem reduzi-los.

Por fim, os autores ressaltam a relevância das patentes para identificar padrões de inventividade e rastrear os fluxos de conhecimento, especialmente por meio das *backward citations*, que funcionam como um indicativo direto dos transbordamentos tecnológicos e da difusão do conhecimento.

Ademais, é válido destacar que estes são somente alguns dos trabalhos desenvolvidos fazendo a utilização de patentes, existe uma diversidade de outros trabalhos da categoria, assim como alguns já mencionados anteriormente como, Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1993); Jaffe e Trajtenberg (1999); Jaffe e Rassenfosse (2017); Hu e Jaffe (2003).

A propensão a patentear oscila entre os diferentes setores da economia e diferentes tamanhos de indústrias, visto que, existe maior eficácia em se patentear produtos simples, pois, um produto que possui maior complexidade, muitas das vezes detêm diversos componentes que são patenteados isoladamente. Nessa lógica, o aumento ou quantidade de patentes solicitadas por uma empresa varia de acordo com o tamanho de cada indústria, pois, patentear uma invenção além de possuir altos custos, é demorado, o que inviabiliza para empresas menores recorrerem a este recurso para todas as suas invenções (Nagaoka, *et al.* 2010).

Segundo Jaffe e Rassenfosse (2017), o levantamento e a contagem do número de patentes registradas se refere ao nível de “inventividade” de um país, porém, esse processo não expressa diretamente se as invenções patenteadas são úteis.

Como supracitado, as patentes podem ser usadas como indicadores da atividade inovadora em uma determinada região –ou país, entretanto, “[...] muitas

inovações não correspondem a invenções patenteadas; muitas patentes correspondem a invenções de valor tecnológico e econômico quase nulo; embora muitas delas tenham valor bastante expressivo, muitas outras jamais resultam em inovação”. (OCDE, 2004, p. 27).

Apesar destas limitações, o uso de patentes nas pesquisas sobre inovação possui muitas vantagens. O acesso às informações contidas nas patentes é facilitado, pois não há confidencialidade sobre as novas invenções a partir do momento que são patenteadas, e os dados são padronizados pelos escritórios de depósito de patentes, de forma a possibilitar o uso de dados ao longo do tempo e de várias regiões/países diferentes (Carlino; Kerr, 2015).

As patentes possuem uma gama de informações relevantes e que podem ser utilizadas de diversas maneiras, elas contêm a descrição do produto inventado, a instituição fomentadora; dados pessoais dos inventores (como nome e endereço); classificações *International Patent Classification* ou Classificação Internacional de patentes (IPC)⁴ e *Cooperative Patent Classification* ou Classificação cooperativa de patentes (CPC)⁵, que servem para organização de documentos que auxiliam na busca de patentes; e exigências de uso que permeiam a licença da patente em questão. Além disso, as patentes contêm citações a outras patentes, as quais são utilizadas na literatura como indicadores de transbordamentos do conhecimento (Carlino; Kerr, 2015; Nagaoka, *et al.* 2010).

Dentre essas informações, são de especial interesse para essa dissertação a localização geográfica do inventor e as citações a outras patentes. Assim, sendo possível identificar a origem geográfica da invenção, bem como a localização das invenções que foram citadas, possibilitando rastrear os fluxos de conhecimento entre os países.

⁴ A IPC é um sistema internacional de classificação de patentes que foi estabelecido pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) para categorizar as invenções e patentes de forma padronizada e hierárquica por meio da diferenciação dos campos técnicos. O IPC abrange diversas áreas de tecnologia, dividindo as invenções em seções, classes e grupos.

⁵ O CPC é um sistema de classificação usado para categorizar as inovações tecnológicas e as patentes concedidas em todo o mundo. Ele foi desenvolvido em uma colaboração entre o European Patent Office (EPO) e o United States Patent and Trademark Office (USPTO), o CPC se trata de uma extensão do IPC. Ele é mais detalhado e específico, combinando elementos do IPC com categorias adicionais para refletir com maior precisão as áreas técnicas das patentes

2.4.1 CITAÇÕES DE PATENTES

As citações de patentes possuem como objetivo determinar quem possui o direito da patente através da identificação de patentes anteriormente registradas, também indica que a patente presente possui antecedentes tecnológicos abarcado a uma arte anterior. No que tange a legalidade, o depositante deve explicitar eventuais conhecimentos anteriores que possuam natureza relevante para a nova invenção. O examinador de patentes⁶ também pode acrescentar citações que não foram descritas na patente depositada (Jaffe; Trajtenberg, 1999).

A citação de patentes anteriores que foram necessárias para o desenvolvimento da atual, é chamada de citação para trás (*backward citation*), indicando que o conhecimento gerado pelas patentes citadas pode ser útil no processo de criação da invenção atual. Quando a patente atual é citada posteriormente, contribuindo com as patentes subsequentes, essa citação é chamada de citação para frente (*forward citation*), indicando a possível contribuição desta invenção para invenções posteriores⁷ (Nagaoka *et al.*, 2010).

Jaffe *et al.* (1993) expõe que, as autocitações não indicam fluxo de conhecimento, pois, elas não representam a troca de informações entre agentes e empresas de regiões diferentes, necessariamente não representam uma externalidade do conhecimento. Entretanto, para Belenzon (2006), as autocitações são um meio de apropriação dos desenvolvimentos e aprimoramentos tecnológicos envoltos no próprio conhecimento, ou seja, podem ser utilizadas como indicadores de capacidade de absorção.

Griliches (1990) e Gay e Le Bas, (2005) defendem o uso de citações de patentes para mensurar o fluxo de conhecimento e o valor de cada invenção. Em concordância, Benson e Magee (2015) afirmam que as citações de patentes são um importante indicador de impacto tecnológico.

O conhecimento que transborda por meio de uma citação de patente se trata de um conhecimento codificado, que está escrito, e esse tipo de conhecimento possui maior alcance espacial do que o conhecimento tácito, consoante com Nonaka

⁶ Os examinadores de patentes são profissionais qualificados para analisar pedidos de patentes. Eles trabalham nos escritórios de patentes, agências governamentais responsáveis pela avaliação e concessão de patentes. Seu principal papel é revisar os pedidos de patentes para determinar se a invenção atende aos requisitos legais para concessão de patente.

⁷ As citações de patentes servem não apenas para identificar a base de conhecimento de uma nova invenção ou a relevância tecnológica da invenção, mas também, pode mensurar o valor de mercado da nova patente (Nagaoka *et al.*, 2010).

e Takeuchi (1997). Dessa forma, as citações de patentes se tratam de um dos indicadores mais importantes no estudo de fluxos de conhecimento.

Ao se investigar as origens das patentes mais citadas, é possível fazer uma verificação preditiva das patentes, sendo que, quanto maior a qualidade da tecnologia envolvida, não apenas será maior o número de citações a uma invenção, mas também, a importância da patente para incremento da arte posterior (Fischer; Leidinger, 2014).

O método de citações de patentes está diretamente ligado ao processo de inovações, sendo que existem dois aspectos pertinentes as citações; onde o primeiro aspecto se trata do mapeamento, ou rede, onde, por meio de uma patente, é gerado um “*link*” que pode ser identificado pelo código de registro da patente, facilitando a identificação de outras patentes contidas no documento contendo a arte anterior, e dessa forma, auxilia na identificação da invenção patenteada independente de limitações geográficas. O segundo aspecto é o processo da invenção cumulativa, no qual existem conhecimentos agregados e novas invenções que se inspiram em invenções antecedentes e facilitam o processo para as invenções posteriores (Jaffe; Rassenfosse, 2017; List, 2010). Esta dissertação se concentra neste segundo aspecto das citações, na medida em que procura avaliar o efeito de invenções anteriores em energias solar e eólica sobre as inovações posteriores em outros países.

De acordo com Jaffe e Rassenfosse (2017) houve um crescimento nos dados de citações de patentes (juntamente dos dados gerais em relação a patentes, como citado anteriormente) nas últimas duas décadas (2000 e 2010), em que, a concentração de informações digitais e com fácil acesso permitiu aos estudiosos de patentes mensurar o impacto das inovações e identificar fluxos de conhecimento.

Lampe (2012) busca mensurar a qualidade das invenções patenteadas através de diagnósticos que determinam sua qualidade embasado nos desdobramentos das citações dos depositantes. O estudo verifica se existe omissão de citações de forma estratégica pelos requerentes com o objetivo de obter propriedade sobre determinada tecnologia. Observou-se que os requerentes fazem retenção de 21% a 33% das citações mais relevantes. Nesse sentido, o autor confirma a existência dessa estratégia por parte das empresas, em que, os solicitantes omitem citações quando existe uma menor lucratividade em suas patentes, de forma que possuem uma “vantagem” para invenções posteriores.

Kapoor *et al.* (2016) mostram que citações advindas de combinações e transferências de conhecimento de distintos domínios tecnológicos possuem uma maior probabilidade de gerar patentes com melhores propriedades, e assim indicam fluxo de conhecimento entre regiões e áreas. O estudo apresenta uma relação entre a probabilidade de concessão de patentes em uma determinada área e citações de patentes em campos tecnológicos diferentes, onde, o número de citações ligadas à arte anterior influencia positivamente o aumento de patentes em áreas específicas.

List (2010) por meio de uma análise exploratória através da família de patentes em nível regional e entre países, tem como objetivo tanto mostrar como as *backward citations* e referências bibliográficas de citações podem ser utilizadas como uma ferramenta para aprimorar a busca por informações sobre patentes. Ela chega a conclusão que as referências bibliográficas de citações podem fornecer acesso a documentos de patentes mais antigos que se perderam ao longo do tempo. Gui, Ju & Liu (2018), propõe a criação de uma árvore de citações de patentes a nível país para analisar o nível do transbordamento da tecnologia Bogie⁸ na indústria ferroviária de alta velocidade da China. Os autores chegam à conclusão que ocorre o transbordamento de conhecimento ao longo dos anos através da constatação que o número de citações das patentes se expande à medida que as gerações das tecnologias envolvidas evoluem.

Kim, Lee e Sohn (2016) realizam uma análise de rede de patentes para mensurar os efeitos de transbordamento da tecnologia UAV (Veículo aéreo não tripulado) em vários setores usando dados de citações de patentes para trás. Os autores criaram uma matriz que relaciona o transbordamento entre indústria e origem da tecnologia e uma análise de redes por meio dos dados disponíveis no Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos. Os resultados do estudo indicaram que existe um fluxo de conhecimento ao longo dos anos em meio às tecnologias UAV, indicando ainda, a presença dos transbordamentos de tecnologias do setor para outros tipos de tecnologias (13 tipos apresentados no estudo) da área.

Chandra e Dong (2018) conduziram um estudo com o objetivo de demonstrar que a acumulação de conhecimento é um indicador do valor técnico de uma invenção. Nessa lógica, foi estabelecida uma rede de citações, com o intuito de

⁸ Um bogie é um conjunto de rodas e estruturas de suporte usado em veículos ferroviários para suportar seu peso e permitir sua movimentação sobre os trilhos. A tecnologia de bogie refere-se ao aprimoramento desses conjuntos de rodas e estruturas.

avaliar a acumulação de conhecimento. Além disso, a fim de desvendar o valor técnico composto, foram consideradas as citações recebidas, as citações realizadas e o tamanho da família de citações. Os autores construíram uma estrutura de conhecimento da invenção por meio da rede de citações, a qual foi utilizada na análise de 60 invenções em três domínios tecnológicos diferentes. O estudo conclui que quanto maior o número de citações realizadas em uma patente e quanto mais relevantes forem essas citações, maior será a probabilidade de determinadas patentes se tornarem produtos. Analogamente, o estudo traz uma correlação entre a acumulação de conhecimento e o valor técnico das patentes analisadas.

De acordo com Almeida e Kogut (1999), as citações de patentes realizadas por pequenas empresas semicondutoras são mais localizadas geograficamente do que as feitas por grandes empresas do mesmo ramo, onde, é realizada uma comparação entre empresas grandes e pequenas, sendo que as pequenas usufruem melhor das fontes de conhecimento mais próximas geograficamente e as grandes usufruem não somente de fontes próximas, mas também das mais distantes.

Verspagen e Maurseth (1998) utilizaram dados de citações de patentes europeias para construir uma matriz de frequência de citações por região, a fim de investigar o impacto da distância geográfica nos fluxos de conhecimento. Concluem que as economias de especialização impactam positivamente, assim como a língua, dessa forma quando as regiões partilham a mesma língua, o efeito país ainda se mantém, embora o compartilhamento de uma língua possa aumentar a quantidade de fluxos de conhecimento entre duas regiões em até 28%.

Os pesquisadores Hall e Trajtenberg (2006), por meio de uma amostra da USPTO entre 1967 e 1999 analisaram o elevado número de citações, a fim de investigar *as General Purpose Technology (GPT)* em seus estágios iniciais, analisando aspectos como a generalidade, o número de citações e o crescimento da classe de patentes ligadas às GPTs, tanto das patentes citadas quanto das que citam. A pesquisa revelou que as patentes altamente citadas apresentam diferenças notáveis em relação à população de patentes em geral, como o tempo prolongado para sua concessão, o dobro de reivindicações em relação às demais, maior probabilidade de serem oriundas dos Estados Unidos, maior probabilidade de serem atribuídas a empresas norte-americanas, maior probabilidade de ter várias cessões, além de terem, em média, maiores desigualdades de citação e maior generalidade,

mostrando-se inseridas em classes de patentes com crescimento mais acelerado do que a média.

A difusão do conhecimento é um fator muito importante para o desenvolvimento econômico e seu alcance espacial depende de vários fatores. Jaffe e Trajtenberg (2002) mostram que o alcance geográfico das citações diminui ao longo do tempo e que a limitação da vida útil é mais rápida nas tecnologias eletrônicas do que nas tecnologias químicas e mecânicas.

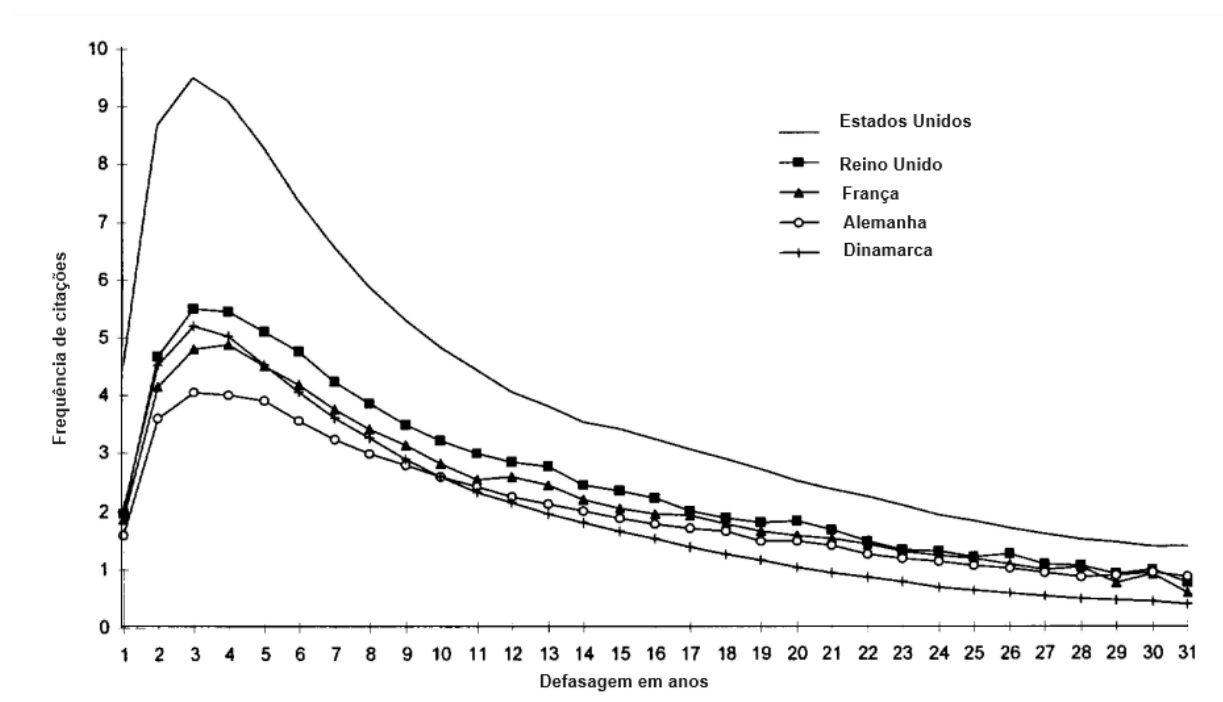
Além disso, não somente a proximidade geográfica afeta esse fluxo, mas também a linguística e cultural. Em seu artigo, Hu e Jaffe (2003), analisando a Coreia e Taiwan descobrem evidências que os países aumentaram significativamente suas participações nas citações de patentes entre países, de forma que estão cada vez mais integrados ao sistema de inovação mundial, em que, a interação entre os países permite que o conhecimento tenha um fluxo mais fluido através das fronteiras, com os países em desenvolvimento tirando maior proveito da difusão internacional de conhecimento.

Dessa forma, os transbordamentos de conhecimento possuem uma maior probabilidade de ocorrer entre as regiões que são próximas tecnologicamente, em que, a partir do momento que uma região possui uma estrutura similar, a capacidade de absorção se torna uma tarefa mais fácil do que em regiões que possuem diferenças muito grandes em termos de tecnologia. Nesse sentido, determinada interação leva a um maior número de citações de patentes entre certos países. A proximidade tecnológica tende a afetar positivamente os fluxos de transbordamento do conhecimento Jaffe e Trajtenberg (1999); Moreno *et al.* (2005); Singh *et al.* (2008); Criscuolo e Verspagen (2008).

O Gráfico 1 ilustra o número de citações recebidas por patentes americanas por patentes subsequentes do próprio país, Reino Unido, França, Alemanha e Dinamarca. Observa-se que uma patente americana recebe mais citações nos anos iniciais, atingindo o pico em torno do terceiro ano após a concessão da patente. Além disso, a patente que foi criada nos EUA, foi muito mais citada dentro do país de origem, indicando a concentração espacial dos transbordamentos do conhecimento. Mas o gráfico também mostra que existe um significativo transbordamento internacional do conhecimento, pois as patentes americanas também são citadas por invenções dos outros países. Este transbordamento do conhecimento entre países indica que o conhecimento codificado contido nas

patentes possui a capacidade de ser difundido além de fronteiras nacionais. Similaridades culturais e linguísticas também afetam positivamente o transbordamento do conhecimento entre países, como compreende-se pela observação de Jaffe e Trajtenberg (1999) de que uma patente criada na Grã-Bretanha tem uma probabilidade de citar uma patente dos EUA 40% maior do que uma patente alemã citar uma patente dos EUA.

Gráfico 1 - Frequência de citação de patentes inventadas nos EUA, por país



Fonte: Jaffe e Trajtenberg (1999).

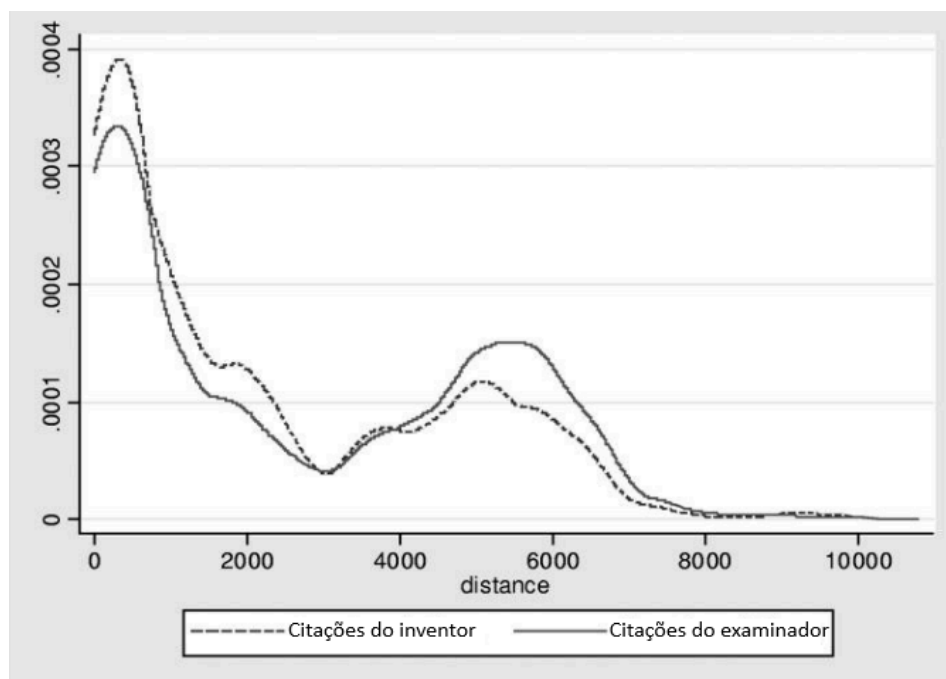
Jaffe, Henderson e Trajtenberg (1993), exprimem que as citações de patentes são localizadas geograficamente, e que, algumas regiões possuem maior capacidade para utilizar o conhecimento do que em outras regiões mais distantes. Além disso, externam que o fluxo de conhecimento possui uma trajetória temporal definida, onde, os números de citações de patentes são mais frequentes nos anos iniciais, e vão diminuindo ao longo dos anos.

A probabilidade de um inventor citar outro inventor da mesma empresa ou centro de pesquisa é maior do que citar outros inventores de locais distintos. Analogamente, é muito mais provável que as citações ocorram em domínios tecnológicos relacionados do que em áreas distintas (Jaffe; Trajtenberg, 1999).

As citações de patentes têm sido utilizadas largamente ao longo dos anos, principalmente como forma de medir a difusão de conhecimento em diversas esferas. Nesse sentido, não somente os depositantes, mas também os examinadores possuem uma parcela de participação de citações de patentes, com aproximadamente 40% de todas as citações (Gui; Ju; Liu, 2018).

O Gráfico 2 expressa a distribuição das citações tanto do inventor quanto do examinador no espaço geográfico utilizando dados entre 2001 e 2003. O eixo X representa a distância entre as localizações do inventor e examinador e o local da patente citada. O gráfico ilustra uma concentração das citações em patentes mais próximas geograficamente, havendo uma queda do número de citações à medida que a distância geográfica aumenta. Este comportamento se deve à concentração espacial dos transbordamentos do conhecimento, gerando um decaimento destes com o aumento da distância.

Gráfico 2 - Densidade K para distância em milhas: citações do examinador versus inventor



Fonte: Alcácer e Gittelman (2006).

Segundo Alcácer e Gittelman (2006), nas citações introduzidas por examinadores não existem diferenças significativas em relação às citações introduzidas por inventores em termos de distribuição geográfica. Os fluxos de

citações possuem padrões de citação similares. Nesse sentido, existe uma colaboração entre examinadores e inventores durante o processo de aplicação entre as duas espécies de citação.

No que tange o paralelo entre os inventores e examinadores, os inventores possuem um maior acesso e conhecimento das tecnologias mais próximas tecnologicamente do que das mais distantes. Já os examinadores de patentes possuem grande agregado de conhecimento em seus determinados campos tecnológicos, logo, possuem maior propriedade no que cerne a compreensão da arte anterior (Alcácer; Gittelman, 2006).

2.4.2 CITAÇÕES DE LITERATURA NÃO PATENTEADA

É importante destacar que ao analisar uma patente, podem ser encontradas citações tanto de patentes, como também de artigos científicos e outros tipos de documentos. No campo tecnológico, entre as inovações anteriores e a invenção atual, existe uma diferença substancial entre as citações de patentes e as citações científicas. As citações de patentes são documentos que possuem fragmentos de um processo que é entreposto por diversos agentes como advogados, analista de patentes do repositório, e o inventor (Meyer *et al.*, 2000).

As citações a artigos científicos possuem informações referentes a citações de relatórios de pesquisa, outros artigos e literaturas científicas, que possui como objetivo não somente agregar a conexão entre a pesquisa anterior e atual, mas também, viabilizar a construção de novas informações ou literatura por meio de constatações que já foram comprovadas cientificamente. As citações de patentes a documentos que não são de origem patentária indicam também, que existe uma contribuição do conhecimento científico para a criação ou aprimoramento de uma invenção, elas são realizadas em maior número por examinadores especialmente em campos onde a literatura científica é mais relevante (Cotropia; Lemley; Sampat, 2013).

O primeiro estudo a listar citações utilizado foi o de Garfield (1955), onde foi proposto um índice de citações voltadas a artigos científicos para facilitar o acesso aos dados que se referem a pesquisas. Nesse sentido, os índices possuíam dois principais usos, sendo o primeiro avaliar as principais características disseminadas

em um artigo científico e o segundo, de examinar seus desdobramentos (citações) (Garfield *et al.*, 1955).

Collins e Wyatt (1988) analisaram as citações de artigos científicos em 366 patentes de genética concedidas no período entre 1980 e 1985, com o objetivo de estabelecer relações entre a pesquisa fundamental e a tecnologia. A partir dessa investigação, verificou-se que os Estados Unidos detiveram o maior número de artigos citados nas patentes, seguidos pelo Reino Unido, Japão, Alemanha e França. Esses números foram, por sua vez, comparados com a produção global de artigos científicos na área de genética, permitindo identificar algumas discrepâncias. Tais discrepâncias foram interpretadas como indícios de que o Reino Unido teria produzido mais artigos relevantes para o desenvolvimento de tecnologias patenteadas do que a Alemanha, França ou Japão. A análise revelou, ainda, que o número de citações de patentes recebidas por artigo foi maior no Reino Unido, seguido pelos Estados Unidos e pela Alemanha.

Wagner e Leydesdorff (2005) que analisaram citações de artigos científicos contidos em patentes, destacam a importância de uma pesquisa bibliométrica, onde, se torna possível mensurar o impacto das colaborações identificadas nas publicações advindas das publicações científicas. Resumidamente, os autores evidenciam os benefícios que a colaboração acadêmica juntamente das citações traz para a difusão do conhecimento.

Dessa forma, o Quadro 1 demonstra alguns autores que fazem uso de citações de patentes e sua aplicação.

Quadro 1 - Estudos que fazem uso de citações de patentes

(continua)

AUTOR (ANO)	OBJETIVO	METODOLOGIA	CONTRIBUIÇÕES
Albino <i>et al.</i> (2014)	Propõe analisar o desenvolvimento das tecnologias e seus impactos no setor de energia, principalmente o impacto da energia nuclear.	Realiza uma análise temporal de citações de patentes acerca do desenvolvimento de energias de baixo carbono.	Conclui-se que os maiores impactos de energias não poluentes foram desenvolvidos principalmente nas décadas anteriores a de 1970, porém, sua longevidade foi comprovada por meio de citações a patentes foi melhor expandida no século XXI.
Chandra e Dong (2018)	Mensurar o nível de acumulação de conhecimento.	Rede de citações para verificar acumulação de conhecimento.	O estudo conclui que quanto maior o número e relevância de citações a uma patente, maior o nível de acumulação de conhecimento/valor técnico.
Criscuolo e Verspagen (2008)	Verifica a relação entre proximidade geográfica e tecnológica.	Aplicam uma análise temporal utilizando citações de patentes.	Ambas proximidades se relacionam positivamente com os fluxos de citações.
Dechezleprêtre <i>et al.</i> (2013)	Examinar os diferentes impactos dos <i>spillovers</i> de conhecimento entre invenções limpas e sujas.	Realiza uma análise de citações de patentes em quatro campos tecnológicos distintos.	Concluem que é gerado um nível de invenções majoritariamente maior no campo de energias limpas do que no das sujas.
Fernández, Ferrándiz e Medina (2022)	Fornece uma análise de inovações tecnológicas energéticas ao longo do tempo e explorar os determinantes da difusão do conhecimento patentado.	É utilizado uma modelagem de citação de patentes, onde é estimado um modelo de citações futuras.	Os resultados mostram que as patentes mais amplamente baseadas no conhecimento científico se difundem mais rapidamente, aumentando assim o desenvolvimento de futuras inovações.
Gui, Ju e Liu (2018)	Analisar o desenvolvimento da tecnologia “bogie” na indústria ferroviária de alta velocidade.	Por meio da construção de uma árvore de citações de patentes a nível país.	Concluem que a quantidade de citações das patentes aumenta juntamente do nível tecnológico envolvido nos processos.

Quadro 1 - Estudos que fazem uso de citações de patentes

(continuação)

AUTOR (ANO)	OBJETIVO	METODOLOGIA	CONTRIBUIÇÕES
Hall e Trajtenberg (2006)	Investigar as GPT's ⁹ , como aspectos gerais, número de citações e crescimento de patentes de determinadas tecnologias.	Procedem com uma análise de citações, em que se verifica o impacto e importância tecnológica das patentes analisadas.	Concluem que as GPT indicam uma maior probabilidade de obter mais concessões a patentes, e possuem um crescimento no número de patentes mais elevado do que a média de outras classes de patentes.
Hu e Jaffe (2003)	Analisar os fluxos de conhecimento internacional por meio das citações de patentes na Coreia e Taiwan.	Estimar o efeito da proximidade geográfica, linguística e tecnológica no fluxo de conhecimento.	Encontram evidências de que as citações de patentes refletem o fluxo de conhecimento entre países e setores, e que a proximidade geográfica, linguística e tecnológica afeta esse fluxo.
Jaffe e Trajtenberg (1999)	Analisar proximidades tecnológicas e barreiras locais.	Determinar diferentes fatores como barreiras geográficas, institucionais e de idiomas.	Os fluxos de conhecimento são positivamente relacionados tanto com a proximidade tecnológica quanto com a localização dos agentes.
List (2010)	Verificar como as citações a patentes e referências de citações podem ser usadas para melhorar a busca por patentes.	Análise exploratória por meio da família de patentes.	Concluem que as referências bibliográficas de citações podem fornecer acesso a documentos mais antigos que tiveram sua terminologia alterada.
Kapoor <i>et al.</i> (2016)	Tem como objetivo mensurar a qualidade e valor de cada patente por meio da análise de distintas origens tecnológicas.	Utilizam citações de patentes a fim de verificar os fluxos de conhecimento entre regiões e setores industriais.	O estudo apresenta uma relação de maior probabilidade em gerar patentes de melhor qualidade oriundas de distintos campos tecnológicos.

⁹ GPT, ou Tecnologias de uso Geral, são tecnologias que podem afetar uma economia inteira. As GPT têm o potencial de alterar drasticamente as sociedades através do seu impacto nas estruturas econômicas e sociais pré-existentes (Hall; Trajtenberg, 2006).

Quadro 1 - Estudos que fazem uso de citações de patentes

(continuação)

AUTOR (ANO)	OBJETIVO	METODOLOGIA	CONTRIBUIÇÕES
Kim, Lee e Sohn (2016)	Analisar transbordamentos da tecnologia UAV (Veículo aéreo não tripulado) em meio a diversos setores.	Rede de patentes através de uma matriz que relaciona a tecnologia entre indústria e origem da tecnologia.	Os resultados apresentaram uma grande difusão das tecnologias tanto que auxiliaram no desenvolvimento de tecnologias UAV, como as próprias tecnologias UAV que auxiliaram em inovações posteriores.
Lampe (2012)	Mensurar a qualidade e valor de cada patente.	Constrói uma rede de citações para verificar citações estratégicas e seu impacto tecnológico.	O estudo conclui que existe a omissão de patentes de forma estratégica por parte dos depositantes(empresas) quando há uma menor lucratividade em suas patentes.
Lee e Lee (2013)	Por meio da construção de uma base de compreensão aprofundada sobre o setor energético, buscam renovar o formato de categorização a respeito da evolução das tecnologias energéticas.	Análise de patentes ao longo do tempo no setor energético.	Concluem que inovação e evolução diferem para cada tipo de tecnologia energética e é necessária uma customização de estratégias e políticas a fim de viabilizar cada tipo de investimento nas tecnologias.
Maurseth e Verspagen (2002)	Investigar o impacto da distância geográfica nos fluxos de conhecimento.	Por meio da construção de uma matriz da frequência de citações por região.	Concluem que tanto o idioma quanto a especialização de economias contribuem para os fluxos de conhecimento.
Peri (2005)	Analisar a barreira cultural existente entre países, proximidade geográfica e distância tecnológica.	Constrói uma rede de citações com objetivo de analisar padrões de fluxos de conhecimento.	Verifica-se uma barreira regional, cultural e de país, onde há menores índices de citações entre países com maiores limites geográficos e que não falam a mesma língua. Ocorre uma queda nas citações entre agentes acima de 1000 km.

Quadro 1 - Estudos que fazem uso de citações de patentes

(conclusão)

AUTOR (ANO)	OBJETIVO	METODOLOGIA	CONTRIBUIÇÕES
Singh, 2010	Analisar as barreiras a nível nacional, entre regiões e estados; e verificar a relação existente entre proximidade geográfica e tecnológica.	Por meio do uso de citações de patentes verifica patentes que possuem colaboração entre inventores de diferentes regiões.	Há maiores níveis de citação intranacional e intraestadual e entre regiões vizinhas. A proximidade geográfica é positivamente relacionada aos fluxos, porém decai a maiores distâncias. A proximidade tecnológica e tecnologias relacionadas são um fator que agrega os fluxos de conhecimento.

Fonte: Elaboração própria.

3 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Ao longo dos últimos anos, com o avanço dos desafios globais por causa das mudanças climáticas provocados pela espécie humana, novos objetivos foram definidos em relação às metas de sustentabilidade. Os principais formuladores de políticas, com aporte de empresas e organizações internacionais como a Organização das Nações Unidas (ONU) e a OCDE, expandiram os esforços para alavancar atividades voltadas à inovação com o foco na sustentabilidade, buscando se atingir um nível eficiente de desenvolvimento sustentável (Albino *et al.* 2014).

A degradação dos recursos naturais detém potencial de atingir cadeias maiores, como custos econômicos, sociais, de saúde, de biodiversidade e de esgotamento de recursos naturais e agrícolas. Nesse sentido, pesquisadores e tomadores de decisões levam em consenso a necessidade de ações multilaterais em diversas esferas da sociedade para mitigar a degradação global do meio ambiente (Barbieri; Consoli; Perruchas, 2020).

A distribuição da capacidade de inovação sustentável se trata de um problema global, em que, para manter a eficiência ou alcançar os recursos através de processos inovativos, é fundamental que haja uma cooperação entre nações, tanto a nível de países desenvolvidos como em países em desenvolvimento (Stern *et al.* 2007).

As invenções e políticas voltadas ao meio ambiente surgem e se desenvolvem em sua maioria em países desenvolvidos, porém, a necessidade iminente de implementação eficaz de tecnologias analisando os cenários de adaptação, é mais presente em países em desenvolvimento (Mendelsohn *et al.* 2006; Bathiany *et al.* 2018).

Meadows *et al.* (1972), argumenta que a partir do momento em que países subdesenvolvidos utilizam o mesmo estilo de consumo de países desenvolvidos, o planeta não suportaria a desmesurada exploração. Ou seja, os modelos de crescimento econômico atuais não condizem com a ideia de amparo ao meio ambiente. Assim sendo, abre-se a lacuna em como as nações podem se desenvolver economicamente trazendo menores impactos ambientais.

Este processo é reforçado ao analisar que os países que se encontram em desenvolvimento possuem regimes mais estabelecidos a alto uso de carbono, que alternativamente, limitam os incentivos políticos de desenvolvimento de

competências que auxiliam a mitigação de emissões (Barbieri; Consoli; Perruchas, 2020).

Ayres e Van Den Bergh (2005) discorrem que para que ocorra crescimento econômico, é necessário que haja mudanças estruturais que facilitem a introdução de novos produtos e novas tecnologias no processo produtivo, juntamente de mudanças tanto no uso quanto na eficiência energética. Consequente, a aceleração do desenvolvimento e difusão de novas tecnologias de baixo carbono é uma estratégia fundamental para o enfrentamento às alterações climáticas (Stern *et al.* 2007).

Para se atingir melhorias significativas no desempenho ambiental, é necessário que se disponha de uma maior intensidade nos processos inovativos que possuem como foco a exploração da perspectiva ambiental. Com tal característica, determinados processos foram popularizados como inovação ambiental ou ecológica (Ekins, 2010).

3.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS E SUA APLICABILIDADE

Existe uma distinção entre dois setores tecnológicos se tratando de energia, sendo o primeiro o conjunto de energias alternativas, limpas, ou renováveis que são compostas pelas energias, solar, geotérmica, marinha, eólica, hidrelétrica, biomassa, resíduos e tecnologias de armazenamento. As energias renováveis (ER) são tidas como as mais limpas do mundo. O segundo é composto pelas energias sujas - ou tradicionais, provenientes da produção de energia que utilizam combustíveis fósseis e nucleares (Fernandez, 2022).

Mesmo com a recente redução dos custos para se produzir tecnologias voltadas a energias renováveis, o nível de gás carbono acumulado no período de 1750 a 2019 na Europa possui a maior parcela, correspondendo a 33,5% do total de emissões, seguido por 30,6% e 28,7% pela Ásia e América do Norte, respectivamente¹⁰ (Noailly; Shestalova, 2016; Global Carbon Budget, 2023).

Ainda na Europa, Noailly e Shestalova (2016) explicam que, as principais fontes de energias alternativas representam aproximadamente 24% de toda a

¹⁰ O restante das emissões de gás carbônico fora emitido por, Américas central e do sul 3%, África 2,9% e Oceania 1,3%.

produção de eletricidade do continente. Em contrapartida, os combustíveis fósseis representam cerca de 48% da produção¹¹.

Devido às preocupações em relação às consequências ambientais do alto nível de emissão de GEE gerado por meio do uso de combustíveis fósseis se tornando cada vez mais cotidianas, a presença de energias substitutas ganha cada maior relevância. Assim, as energias renováveis têm o papel de auxiliar na redução das emissões de CO₂ na atmosfera ao mesmo tempo que se torna necessário uma reorganização do setor energético (Fernandez, 2022).

A produção e distribuição de energia sofreu grandes alterações ao longo das últimas décadas (2000 e 2010). Em termos estruturais, a chegada de novas fontes de energia, juntamente de ampliação do mercado, teve como aporte inicial um confronto ao setor monopolista de grandes empresas de fornecimento de energia “tradicional”. Para isso, a concorrência do mercado impulsiona a redução nos preços de energia, elevando assim um maior índice de bem estar social. Paralelamente, em resposta às externalidades negativas consequentes das energias tradicionais, não somente condições como o aquecimento global, mas também um crescimento da consciência ambiental, beneficiaram a procura e utilização de formas de energias alternativas, como a eólica e solar (Nesta; Vona; Nicolli, 2014).

Sendo incentivadas principalmente por apoio público por meio de investimentos ou incentivos fiscais, em termos de custo, as fontes alternativas não conseguem competir com as fontes tradicionais. Apesar da produção de energia a partir de fontes renováveis ser descentralizada em termos de pequenas e médias dimensões, historicamente, a indústria de grande escala ainda utiliza para geração de energia, insumos como materiais nucleares, carvão ou gás (Nesta; Vona; Nicolli, 2014).

O Relatório de Síntese da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA) dispõe que: “O desafio de reverter a degradação dos ecossistemas e ao mesmo tempo atender à demanda crescente por seus serviços... envolve mudanças significativas nas políticas, instituições e práticas que não estão em andamento atualmente.” (MEA, 2005, p.1).

Enquanto algumas das razões para o baixo investimento em atividades de P&D são ainda, questões tradicionais, como retornos decrescentes e incertezas, as tecnologias voltadas ao meio ambiente apresentam uma maior peculiaridade de

¹¹ O restante da produção de energia é advindo de energia nuclear.

investimentos, onde, possuem maior complexidade, novidade e impacto (Barbieri; Marzucchi; Rizzo, 2020).

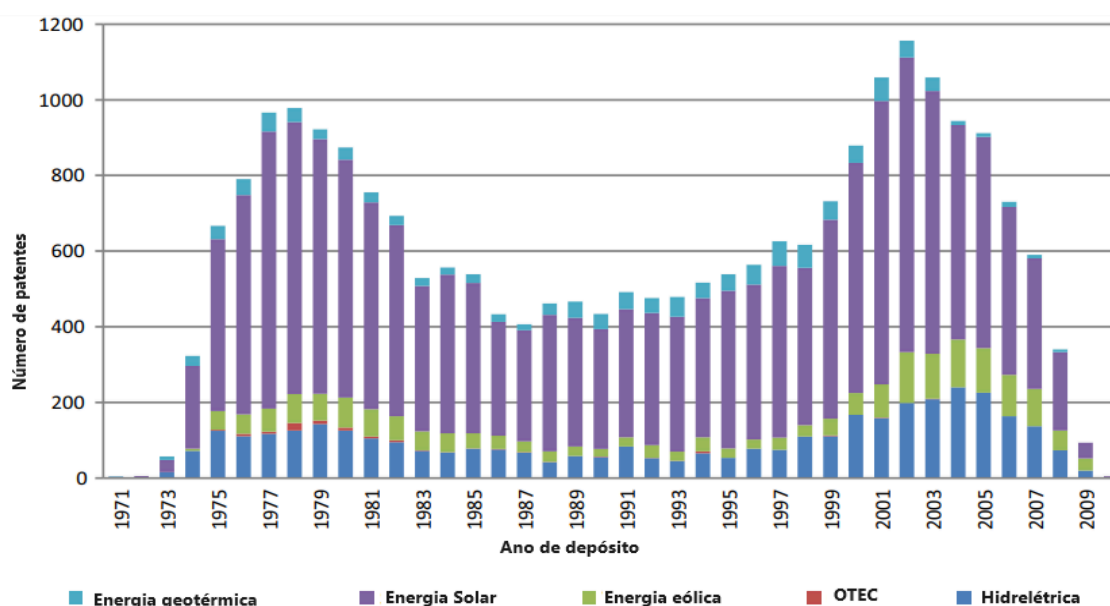
Isso se deve à existência da externalidade ambiental, que é quando os efeitos transversais não são absorvidos diretamente por uma empresa, mas sim por toda a sociedade. Além disso, ocorre uma externalidade do conhecimento, que é quando as empresas que se voltam para inovações na área não têm o poder de limitar que terceiros obtenham e utilizem os novos conhecimentos adquiridos (Jaffe *et al.* 2005; Noailly; Shestalova, 2016).

Existem atualmente meios significativos para medir o nível de inovação geral - como Painel Europeu da Inovação¹², entretanto, não existem formas de mensurar aecoinovação/inovação ambiental. A OCDE nesse sentido possui um projeto que tem como objetivo desenvolver e analisar os indicadores e a difusão de tecnologias ambientalmente saudáveis. Para isso, dispõe e defende a utilização de dados de patentes selecionados e estruturados para apoiar os setores tecnológicos (OCDE, 2009).

Dessa forma, conforme o Gráfico 3 é mostrada a evolução do nível de patenteamento global de energias alternativas, retratando ainda, a tendência de desenvolvimento de tecnologias voltadas a energias renováveis.

¹² O Painel da Inovação tem sido considerado a referência desde 2001 para a análise do desempenho inovador dos países da UE, dos países vizinhos da União e dos concorrentes mundiais.

Gráfico 3 - Distribuição mundial de patentes em desenvolvimento de energias a partir de fontes renováveis segundo dados do USPTO (1971-2010)



13

Fonte: Albino *et al.* (2014).

É possível observar um declive no nível de patentes no final dos anos 1970 (que pode ser justificada pelos esforços inovadores que voltaram suas forças para a redução do consumo de energia, em vez da exploração de novas fontes de energia) e uma nova crescente mais recente no início dos anos 2000.

De acordo com o estudo de Zhang, Li e Huang *et al.* (2018), a China tem sido um dos países mais ativos na área de energias sustentáveis, investindo significativamente em tecnologias como a energia solar e a eólica. Além disso, o país tem estabelecido políticas públicas para incentivar o desenvolvimento de tecnologias limpas e renováveis, como isenções fiscais e subsídios para empresas que investem no setor.

Junginger (2005) utilizou a curva de aprendizagem¹⁴ para investigar possíveis reduções de custos em tecnologias de geração de eletricidade renovável, com ênfase especial em fontes como energia eólica e biomassa, demonstrando o potencial das curvas para fortalecer as políticas voltadas a tecnologias energéticas.

¹³ *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) traduzido como Conversão de Energia Térmica Oceânica (CETO) é um processo que utiliza a diferença de temperatura entre as águas superficiais quentes e as águas profundas frias do oceano para gerar energia elétrica.

¹⁴ “As reduções de custos em função da produção (ou vendas) acumulada de uma determinada tecnologia podem ser representadas por “curvas de aprendizagem” ou “curvas de experiência”” (Ekins, 2010).

Em uma abordagem similar, McDonald e Schrattenholzer (2001) compilaram informações sobre a acumulação de experiência e a diminuição de custos relacionados a diversas tecnologias energéticas, utilizando energia eólica e solar fotovoltaica. Eles examinaram as taxas de aprendizagem associadas a 26 conjuntos de dados sobre acumulação de experiência e redução de custos para novas tecnologias de energia, analisando sua variabilidade e avaliaram sua aplicabilidade em modelos energéticos de longo prazo, reforçando a utilidade das curvas de aprendizagem.

O Brasil, por sua vez, tem se destacado na área de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, especialmente a partir da energia hidrelétrica. De acordo com o estudo de Silva e Oliveira *et al.* (2015), o país tem investido significativamente em projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis, com o objetivo de diversificar sua matriz energética e tornar-se mais independente em relação a fontes de energia fóssil.

Consoante ao estudo de Singh (2008), uma das principais barreiras é a falta de investimento em infraestrutura, o que limita a expansão da geração de energia a partir de fontes renováveis. Além disso, é necessário que os países em desenvolvimento estabeleçam políticas públicas eficientes para incentivar a promoção de tecnologias limpas e renováveis, garantindo assim o seu sucesso e a preservação do meio ambiente.

O setor de energia só conseguiria alcançar um nível desejável, ou reduzido de emissões de GEE mediante uma atitude coletiva em todo planeta. O investimento em fontes energéticas renováveis - especificamente eólica e solar - vai de encontro, não somente com objetivos de garantia de uma segurança de energia a longo prazo, mas também por que este setor está correlacionado e impacta diferentes setores industriais (Johnstone *et al.* 2010; Schmidt *et al.*, 2012).

3.2 ENERGIA EÓLICA

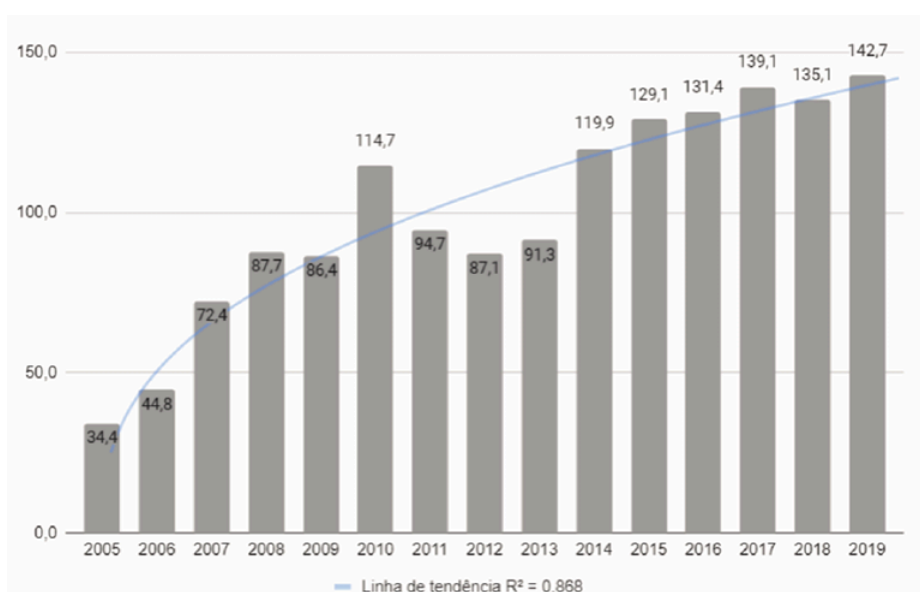
A energia eólica fornece energia há diversos anos, seja por meio da navegação através de veleiros ou fornecimento de energia elétrica, por intermédio de moinhos. Porém, apenas após a crise do petróleo na década de 1970 que houve maiores investimentos no setor. A partir disso, com objetivo de não depender ativamente do uso de combustíveis fósseis, surgiram novas tecnologias como

turbinas eólicas de grande porte. Nessa direção, países como EUA, Alemanha e Dinamarca foram precursores em projetos de P&D voltados à implementação de energia eólica, porém, somente a partir dos anos 2000 que tecnologias incrementais permitiram a evolução do setor graças à aplicação de diversos países que objetivam fomentar o seu uso (Mazzucato *et al.*, 2014).

A energia eólica é gerada através da absorção da energia cinética das correntes de vento pela movimentação das pás, assim, é transmitida com o auxílio do mecanismo interno da turbina, a energia mecânica gerada, por fim, alimenta um gerador que detém a produção de eletricidade por meio de eletromagnetismo. A energia eólica ainda é dividida em dois tipos, sendo o *onshore* e o *offshore*, o *onshore* se dá pelas turbinas instaladas em terra, e as *offshore* no mar, este ainda consegue gerar maiores quantidades de energia, possuem tecnologias similares, porém detém a condição de possuir ventos mais fortes e estáveis (Kumar *et al.*, 2016).

Ao examinar o aumento da participação e da importância da energia eólica para o setor de energias renováveis através do fluxo de investimentos, é possível visualizar que no período de 2005 a 2019 houve um crescimento exponencial no nível de investimentos em energia eólica no mundo (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Investimentos globais em energia eólica (bilhões de US\$ de 2019) - Mundo - 2005 - 2019



Fonte: Correa (2021).

Nesse sentido, segundo Correa (2021), a partir de dados disponibilizados pela IRENA (2020), os países que mais geram energia eólica em torno do globo são China (33,8%); EUA (16,6%); Alemanha (9,8%); Índia (6%); Espanha (4,1%); Reino Unido (3,9%); França (2,6%); Brasil (2,5%); Canadá (2,2%); e Itália (1,7%).

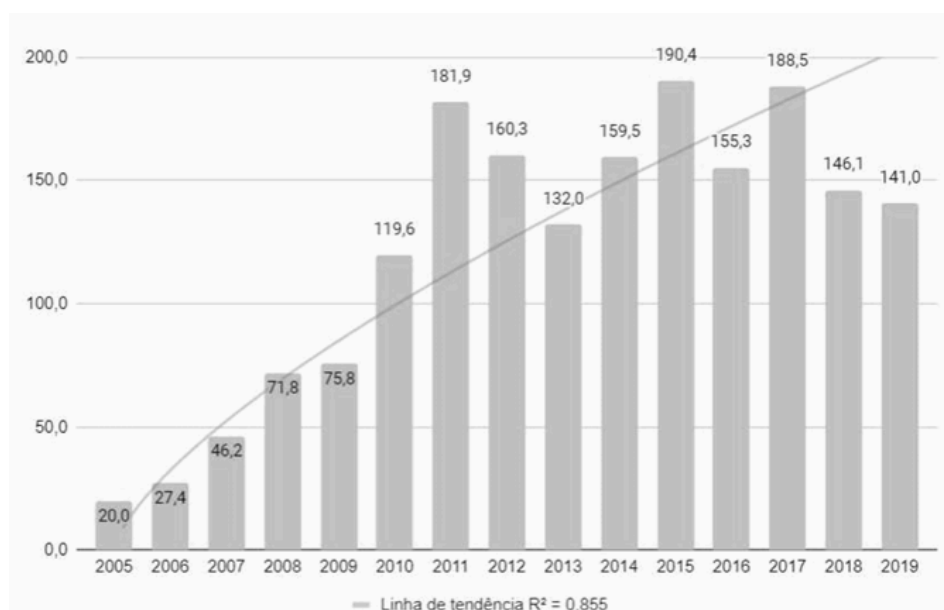
3.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As pesquisas a respeito de energias fotovoltaicas iniciaram durante o período da corrida espacial, sendo criada pelo governo dos EUA. A primeira utilização da energia solar fotovoltaica foi para alimentação de energia de um satélite, o sucesso auxiliou a elevar ainda mais o nível de investimento em energia solar, e indiretamente a quantidade de pesquisas na indústria (Mazzucato, 2014).

A conversão da energia solar luminosa para elétrica se dá mediante as células solares fotovoltaicas de silício. A luz solar ao entrar em contato com as células acelera a movimentação de elétrons que geram uma corrente elétrica, que é utilizada para carregar uma bateria. A instalação de painéis e sistemas fotovoltaicos pode ser feita no solo, telhados, paredes ou bases, possuindo diferentes capacidades de absorção e armazenamento. Além da fotovoltaica, existe também a energia solar concentrada (CSP), que consiste na geração de eletricidade através da concentração da luz solar em um fluido que produz vapor, e ativa uma turbina transformadora. (Correa, 2021).

Durante o período de 2005 a 2019 houve um aumento dos investimentos voltados à geração de energia solar no mundo. Diferente da energia eólica, a energia solar teve um aumento ainda maior nos anos recentes, em que, no período de 2011 a 2019 o investimento foi cerca de oito vezes maior do que em 2005 (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Investimentos globais em energia solar (bilhões de US\$ de 2019) – Mundo – 2005 – 2019



Fonte: Correa (2021).

De acordo com Correa (2021), a partir de dados disponibilizados pela IRENA (2020), a relação dos países que mais geraram energia solar em nível global está disposta por: China (35,4%); Japão (10,7%); EUA (10,5%); Alemanha (8,5%); Índia (6%); Itália (3,6%); Austrália (2,8%); Reino Unido (2,3%); França (1,8%); Coreia do Sul (1,8%).

As energias solares fotovoltaicas e a energia eólica, que são as maiores fontes de energia alternativa no mundo, mesmo que popularmente utilizadas, ainda possuem custos muito elevados em sua produção em comparação com fontes de energias que advém de combustíveis fósseis. Nesse sentido, o papel de inovações tecnológicas se mostra crucial no aspecto de redução de custos e maior acesso a energias limpas (IEA, 2020).

3.4 OS PRINCIPAIS DRIVERS DA ECOINOVAÇÃO

Se entende que a proteção a novas invenções em energias renováveis desempenha um papel crucial na promoção da inovação em energia sustentável. A concessão de patentes em tecnologias limpas e energias renováveis é essencial para alavancar soluções ambientalmente amigáveis.

Albino *et al.* (2014), com o objetivo de apresentar uma visão abrangente das tecnologias de baixo carbono utilizando patentes e citações de patentes, conclui que as soluções no campo da inovação voltadas a produção de energia alternativa e de energia nuclear (principal energia estudada em seu artigo) com maior impacto tecnológico foram principalmente desenvolvidas em décadas anteriores a de 1970, já as patentes citantes que são voltadas à longevidade de energias renováveis foram mais desenvolvidas ao longo da primeira década do século XXI.

As patentes são um mecanismo eficaz para mensurar o nível de inovação tecnológica, já existindo diversos estudos na área de inovações voltadas a energias envolvendo a sua aplicação, tanto de patentes, como de citação de patentes, principalmente para medir os transbordamentos de conhecimento.

Hall e Helmers (2013), desenvolveram um trabalho que expõe os dados de patentes que contribuíram para o desenvolvimento da EcoPC (*Eco-Patent Commons*), fornecendo acesso livre de royalties a terceiros a inovações patenteadas em tecnologias verdes. Eles descobrem que dadas patentes são menos citadas, assim, em relação a valor são menos valiosas, e, portanto, podem não ter um impacto muito grande em futuras tecnologias, apesar de constatarem o impacto significativo das invenções anteriores nas tecnologias verdes.

Barbieri, Marzucchi e Rizzo (2020), utilizando amostras de patentes, fazem uma comparação de tecnologias verdes e não verdes depositadas entre 1980 e 2012 em países que compõe o EPO, USPTO e OCDE, concluindo que o grau de inventividade e impacto em desenvolvimentos subsequentes de tecnologias verdes é maior.

Lee e Lee (2013) para observar padrões de inovação no setor de energias, usaram dados de patentes para os Estados Unidos no período de 1991 a 2010, com o objetivo de analisar características de inovação de 21 novas tecnologias de energia para identificar padrões de inovação e evolução tecnológica, sendo um dos trabalhos pioneiros que buscou destacar características de tecnologias com foco a tecnologias energéticas.

Dechezleprêtre *et al.* (2013) faz uma análise das citações de patentes em quatro campos tecnológicos, sendo eles os automóveis, iluminação, produção de energia e combustíveis. Eles concluem que nos setores de invenções limpas, é gerado um número imensamente maior de *spillovers* do que nos setores de invenções sujas. Substancialmente, patentes limpas, possuem 43% a mais de

citações do que em tecnologias consideradas sujas, nesse sentido, pesquisas orientadas a pesquisas limpas deveriam ser mais fomentadas, de forma que os desdobramentos das citações de patentes irão gerar maior repercussão (Noailly; Shestalova, 2016).

Segundo Buonanno *et al.* (2003) o nível do estoque mundial de conhecimento afeta positivamente as variações na produtividade do insumo energético ao mesmo tempo que minimiza os efeitos de emissão. Para Bosetti (2008), entender os fluxos de conhecimento entre os países é um fator primordial para avaliar com propriedade os custos das mudanças de eficiência energética ao mesmo tempo que se faz uma redução no nível de gás carbônico no planeta.

Os transbordamentos de conhecimento internacionais são benéficos para os países, principalmente para os em desenvolvimento, dessa forma, é necessário compreender como otimizar sua utilização, buscando beneficiar o desenvolvimento juntamente de uma inovação sustentável. Nesse sentido, é necessário considerar que determinada externalidade positiva que é gerada pelos fluxos internacionais no setor de energia é vinculado diretamente com a capacidade do país que irá receber o conhecimento, absorver e replicar respectivamente o conhecimento externo (Mancusi, 2008).

Os fluxos de conhecimento por diversas vezes, fluem para áreas distintas da sua origem. Um exemplo é o das turbinas eólicas, em que, para seu aprimoramento, foram absorvidos conhecimentos sobre tecnologias advindas do campo das indústrias naval, aeroespacial e eletrônica. A construção de tubulações, imãs e da propulsão marítima são alguns dos instrumentos que foram de grande importância para evolução de turbinas eólicas, porém, existem maquinários que são utilizados em diversos segmentos, como por exemplo, as fresadoras (maquinário utilizado para usinagem de materiais), que podem ser utilizadas tanto para manutenção e confecção de partes de navios, como para manufatura de pás em grande quantidade (Nemet, 2012).

Através do viés que as inovações tecnológicas se tratam de um processo de acumulação, as novas tecnologias advêm principalmente do resultado da recombinação do conhecimento obtido de forma inovadora, assim o processo de patenteamento para inovações em energias renováveis faz uso de *backward citations* (Arthur, 2007; Nemet, 2012).

Por fim, é reforçada a perspectiva que a inovação energética possui uma relação de dependência direta da ciência, principalmente no caso das energias alternativas, ou seja, existe uma tendência de uma interação entre a invenção e a pesquisa científica no decorrer do tempo (Fernandez, 2022).

4 METODOLOGIA

4.1 MODELO ECONOMETRICO

Nesta dissertação o modelo econométrico que será adotado será estimado por meio da utilização de painel dinâmico, com a aplicação do estimador *system gmm*. A predileção pela estimação de dados em painel se dá principalmente pela necessidade de controlar a heterogeneidade não observada dos países. No contexto de se analisar dados de patentes de vários países, a heterogeneidade pode ser expressa por características institucionais alocadas em cada país, ou seja, todos os aspectos que podem trazer diferenças espaciais a estimação, e indiretamente as taxas observadas de inovação (Miguelez; Moreno *et al.*, 2015).

Além disso, a escolha pelo painel dinâmico se justifica devido ao caráter *path dependent* da inovação, pois a acumulação de conhecimento ao longo do tempo faz as inovações do período presente serem dependentes das inovações anteriores (Apajalahti; Kungl, 2022). A representação deste fato no modelo se dá pela introdução da variável dependente defasada no tempo como variável explicativa. Esta variável é intrinsecamente endógena por ser correlacionada com o efeito não observado, impossibilitando a estimação por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e por Efeito Fixo (EF). Nesse sentido, o estimador *system gmm* é adequado para estimar o painel dinâmico pois permite controlar a heterogeneidade não observada e invariante no tempo dos países, bem como a endogeneidade característica da defasagem temporal da variável dependente.

A metodologia que será utilizada nesta dissertação se trata do método *gmm* (*Generalized Method of Moments*). Existem dois modelos de método *gmm*, sendo o *difference gmm*, que se trata de uma abordagem mais básica do método, em que, os momentos teóricos do modelo são comparados aos momentos observados nos dados, onde, os parâmetros são ajustados com o objetivo de minimizar a diferença entre os momentos observados e os momentos teóricos (Blundell; Bond, 1998).

O *system gmm* (Sistema de Equações de Momentos Gerais), se trata de uma extensão do *gmm difference* para dados em painel, consistindo na estimação simultânea da equação em nível e da equação em diferença. Desta forma, aumenta-se a eficiência do estimador. Nesse sistema, a equação em nível é instrumentalizada pelas primeiras diferenças defasadas e a equação em diferenças

é instrumentalizada pelas variáveis em nível defasadas. Este estimador é utilizado extensamente para enfrentar problemas de endogeneidade, autocorrelação e viés de simultaneidade em análises de painel dinâmico. Este método é adequado quando o objeto de trabalho se trata de séries temporais de painel com observações defasadas ao longo de um período de tempo e em múltiplas unidades observadas (Blundell; Bond, 1998).

O estimador *system gmm* utiliza uma matriz de variáveis instrumentais com os valores defasados da variável dependente e das variáveis explicativas. Além disso, com o modelo *gmm* é possível lidar com problemas estatísticos diversos, como heterocedasticidade, autocorrelação e endogeneidade. Assim, como medida para lidar com a correlação do erro e com a endogeneidade, são utilizadas variáveis que não estão relacionadas com o erro para os valores defasados das variáveis (Blundell; Bond, 1998; Arellano *et al.*, 1995).

O modelo dinâmico será estimado por meio da seguinte equação:

$$Patentes_{it} = \beta_0 + \beta_1 Citacoes_{it} + \beta_2 Patentes_{it-1} + \beta_3 P\&D_{it} + \beta_4 StatusDesenvolvimento_{it} + \beta_5 CapitalHumano_{it} + \beta_6 CitaçõesNPL_{it} + D_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

A variável dependente de $Patentes_{it}$, onde i representa o país e t representa o tempo.

Onde:

- $Patentes_{it}$
- $Citacoes_{it}$ é o número de citações a patentes de outros países feitas pelo país i no tempo t .
- $Patentes_{it}$ é o número de patentes no país i no período $t-1$.
- $P\&D_{it}$ é o gasto com Pesquisa e Desenvolvimento do país i no período t o país i no tempo t .
- $StatusDesenvolvimento_{it}$ são as dummies para países desenvolvidos e em desenvolvimento, sendo igual a 1 para os países desenvolvidos e igual a 0 para os países em desenvolvimento.
- $CapitalHumano_{it}$ é o nível de população com ensino superior conforme dados do banco mundial no país i no tempo t .

- *CitaçõesNPLit* é o fluxo de citações à literatura não patentária de outros países, feitas no país i no tempo t .
- D_{it} são as *dummies* de ano, para captar efeitos temporais comuns a todos os países.
- α_i são os efeitos fixos individuais (por país) não observáveis e invariantes no tempo.
- ϵ_{it} é o termo de erro.

Como variável dependente para medir o nível de inovação, será utilizado o número de patentes em energias solar e eólica depositadas em cada país a cada ano. A variável dependente defasada também será utilizada como variável explicativa para captar a característica *path dependent* da inovação, ou seja, o número de patentes depositadas no ano t possui influência das patentes $t-1$ do ano anterior.

Para captar os transbordamentos internacionais do conhecimento será utilizada como variável explicativa o número de citações feitas pelas patentes do país i no ano t às patentes de outros países (*backward citations*). Serão excluídas as autocitações, através da análise de citações que foram atribuídas ao mesmo requerente, com o objetivo de evitar citações estratégicas em relação ao estado da técnica anterior. Além das citações advindas de patentes, também será incluída uma variável explicativa representando as citações a documentos não patenteados de outros países (literatura não patentária), com objetivo de avaliar o impacto de citações bibliográficas contribuintes para novas tecnologias energéticas eólica e solar.

As variáveis P&D e capital humano serão incluídas como variáveis explicativas, captando os efeitos dos insumos do conhecimento sobre a geração de inovações. A variável P&D terá como objetivo captar o estoque de conhecimento de um país e a influência desse estoque para o próprio país onde foi baseado determinado acúmulo de conhecimento. Pelo seu potencial de gerar novos conhecimentos, quanto mais elevado o gasto com pesquisa e desenvolvimento, maior o número de inovações dentro da mesma instituição, empresa ou país, assim, essas empresas ou instituições demonstram possuir uma capacidade de compreender e explorar também o conhecimento externo (Mancusi, 2008). Assim, o investimento em P&D também reflete a capacidade de absorção do país, ou seja,

sua capacidade de internalizar, compreender e utilizar o conhecimento gerado externamente para produzir inovações e novos conhecimentos.

Para captar variáveis ambientais serão utilizados o nível de emissão de CO₂ e o consumo de energia renovável. Também serão utilizados como regressores variáveis *dummies* indicando o status de desenvolvimento dos países (igual a 1 para países desenvolvidos e 0 para os países em desenvolvimento), e variáveis *dummies* anuais. Roodman (2009), utiliza *dummies* de ano em análises econométricas para capturar efeitos fixos específicos de períodos que podem influenciar as variáveis dependentes, mas que não estão diretamente incluídos no modelo como variáveis explanatórias.

Na análise de painel, em que se tem dados longitudinais para diversos países ao longo do tempo, a presença de adversidades é comum. A autocorrelação ocorre quando os erros em um período estão correlacionados com os erros em períodos anteriores, assim, a endogeneidade surge quando variáveis explicativas estão correlacionadas com o termo de erro, que podem fazer as estimativas se tornarem tendenciosas. O *system gmm* aborda tais questões incorporando variáveis instrumentais para mitigar a endogeneidade e utilizando defasagens das variáveis em primeira diferença e em níveis com o objetivo de controlar a endogeneidade. Nesse sentido, a utilização do modelo é adequada, pois garante estimativas mais robustas dos efeitos das variáveis explicativas no potencial de inovação por meio das citações dos países ao longo do tempo.

O método foi selecionado, pois a estimação atuou com séries temporais ao longo de praticamente duas décadas, onde foram utilizadas no modelo variáveis instrumentais com os valores defasados da variável dependente e das variáveis explicativas, sendo esta, a grande vantagem do modelo, pois ele permite o tratamento da endogeneidade utilizando como instrumentos as defasagens das próprias variáveis do modelo.

4.2 BASE DE DADOS

Os dados sobre as patentes e citações de patentes foram obtidos juntamente das bases elaboradas e disponibilizadas com livre acesso pela OCDE. As bases de dados disponíveis e utilizadas são intituladas *Citations Database* e *Regpat Database*

e os dados são apresentados por um conjunto de arquivos de texto/tabelas compactados.

As *Citations Database* se tratam de um banco de citações que fornece informações encontradas em documentos de patentes, sobre citações tanto de literatura patenteada como não patenteada (NPL). Os dados são abrangentes a todos os países constituintes da OCDE, possuindo dados que abarcam desde informações do Escritório de Marcas e Patentes Registradas nos Estados Unidos (USPTO), até citações do Instituto Europeu de Patentes (EPO) por meio do Tratado de Cooperação de Patentes (PCT). Se a patente tiver sido publicada em diversos escritórios nacionais (EPO, PCT, JPO, USPTO etc.) é disponibilizada também uma tabela contendo informações de equivalência dos dados.

Dentro da *Citations Database* optou-se por utilizar patentes depositadas via PCT¹⁵ (disponibilizado em setembro de 2023), a base de dados engloba todas as informações sobre citações de documentos de patentes depositadas em todo o mundo desde 1978, além disso, aproximadamente 98% das patentes do PCT possuem informações sobre citações. A partir do momento que uma patente é depositada no banco de dados do PCT, ele adquire legitimidade em todos os países que compõem o PCT e dispõe também, de um código internacional, onde se torna possível identificar determinada invenção em outros escritórios de patentes que foi registrado.

Citações de literatura não patentária (NPL), foram filtradas em uma tabela separada para não ocorrerem contagens duplas. Webb *et al.* (2005), expõe que é preferível utilizar citações de patentes separadas das literaturas NPL, visto que, as informações referentes a literatura não patentária só foram registradas a partir do início da década de 1990.

Já a base de dados *Regpat* da OCDE (disponibilizada em agosto de 2023) dispõe de dados de patentes que foram vinculados a países por meio de regiões de acordo com informações pertinentes aos endereços de inventores e depositantes a

¹⁵ O Tratado de Cooperação de Patentes (PCT) é administrado pela Organização Mundial de Propriedade intelectual (WIPO) e se trata de um acordo entre os países contratantes constituintes como Estados que objetivam contribuir para facilitar o processo de proteção patentária; O desenvolvimento da tecnologia e ciência, acelerar o processo de acesso a informações em múltiplos países e necessariamente, facilitar o acesso às novas técnicas e invenções dispostas em documentos de patentes. Além disso, também possui como propósito, fomentar e dinamizar o crescimento econômico de países em processo de desenvolvimento ao incentivar e adicionar eficácia a respeito do sistema de proteção às inovações e invenções (Maraut *et al.* 2008).

partir de 1977. Os dados possuem uma separação minuciosa em relação às regiões, contendo aproximadamente cinco mil e quinhentas regiões registradas dos países constituintes da OCDE. A base de dados *Regpat* traz a possibilidade de utilização conjunta a outros dados, como as Citations Database, no caso desta dissertação, será utilizada com o objetivo de medir a difusão de conhecimento regionalmente (Maraut *et al.* 2008).

A base de dados do *Regpat* é fragmentada em duas partes de informações distintas e independentes, sendo a lista de requerentes e de inventores de cada patente, que contém dados sobre localização, data de depósito, lista de códigos CPC¹⁶ (Classificação cooperativa de Patentes) e IPC (Classificação internacional de Patentes).

Foi necessário realizar a unificação entre as bases de dados *Citations Database* e *Regpat Database*, pois, para fazer uma análise dos transbordamentos de conhecimento por meio de citações de patentes é necessário obter informações sobre a localização do inventor.

Os dados de citações estavam dispostos em uma tabela chamada PCT_Citations. Os dados do *Regpat* possuem à disposição informações dos inventores, dos requerentes e dos códigos CPC por meio das tabelas PCT_INV_REG (esta tabela contém informações sobre os inventores que estão registrados no PCT, como nome do inventor, país, data de registro e código PCT), PCT_REQ_REG (Esta tabela contém informações sobre os requerentes que submeteram pedidos de patentes internacionais ao PCT, como nome do requerente, país, data de registro, tipo de requerente e o código PCT) e CPC_CLASS (esta tabela contém informações sobre a classificação das patentes de acordo com o CPC, como número da patente, código CPC, descrição do CPC, nível de especificidade e data de classificação). A mescla das três tabelas de dados foi realizada por meio da variável em comum Appln_id.¹⁷

Conforme foi necessário para o desenvolvimento e análise dos dados sobre citações, as tabelas foram combinadas com os dados dispostos nos arquivos das

¹⁶ O CPC é um sistema de classificação utilizado para categorizar as patentes concedidas, se trata de uma extensão do IPC, foi selecionado, pois se trata de um sistema mais detalhado que permite mapear de forma mais específica um determinado grupo de patentes por meio de classes (WIPO, 2023).

¹⁷ Chave substituta para aplicações do Regpat e EPO, setembro de 2023.

bases de *Regpat* e do banco de citações por meio da variável *Pct_nbr*, que se trata do número de publicação da patente no PCT.

Além disso, foram selecionadas apenas as patentes referentes às energias limpas. Para esta seleção foram utilizados os códigos CPC, onde foi denotado que as energias em questão estavam dispostas no código Y02 que são as “tecnologias ou aplicação para mitigação ou adaptação contra as mudanças climáticas” (Barbieri; Marzucchi; Rizzo, 2020; Barbieri; Consoli; Perruchas, 2020; Kim, 2022; Li, Heimeriks; Alkemade, 2022).

Mais especificamente, foi utilizado o código Y02E¹⁸ (WIPO, 2023), que corresponde à classe do CPC de “redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), relacionadas à geração, transmissão ou distribuição de energia”. Foram selecionados somente os códigos relativos à energia solar e eólica (Anexo A). Ademais, foram feitas correções no banco de dados, como verificação de valores omissos e duplicados.

Desta forma, para discriminar a análise em relação a patentes de energia eólica e solar, foram definidas as tecnologias que seriam utilizadas de acordo com a lista de classes e subclasses conforme WIPO (2023) que está incluído no Anexo A. Desta forma, o arquivo da base de dados inicial possui 372.377 mil observações.

Entretanto, havia valores omissos nas variáveis em que não foi possível recuperar devido à ausência de dados sobre as invenções, isso se dá devido às invenções terem sido patenteadas em um período anterior ao ano de 1971, onde foi criada a classificação IPC após o acordo de Estrasburgo (1971). Além disso, diversas são as patentes registradas que não foram atualizadas ao longo dos anos, portanto, não podem ser recuperadas mesmo com a utilização de *strings*¹⁹ por meio dos códigos IPC. Assim, o banco de dados com as variáveis tratadas possui 197.110 observações sobre energia eólica e solar.

Cada patente possui um código Classe CPC, número de identificação no PCT, dados do inventor e cessionários como nome e localização. Também há informações referentes às patentes citadas, como data de depósito da patente e de sua citação,

¹⁸ A tabela com os códigos utilizados encontra-se no Apêndice A (Quadro 1).

¹⁹ Strings são sequências de caracteres, como letras, números e símbolos, usadas para representar texto em programação. Elas são amplamente utilizadas para armazenar e manipular dados de texto em diferentes contextos, como entrada e saída de dados, processamento de texto e manipulação de arquivos.

país de origem do inventor, lag em questão de anos que a patente levou em média para ser citada e o número de citações que determinada patente recebeu.

Foram selecionados dados de invenções de patentes de energia solar e eólica publicadas no PCT durante o período de 2000 a 2019, foi observado não somente a concessão das patentes, mas também, de dados relativos a citações no período observado.

O Quadro 2 apresenta as variáveis utilizadas no modelo econométrico incluindo a descrição de cada variável, a fonte de dados e o sinal esperado de cada variável no modelo.

Quadro 2 - Identificação das variáveis utilizadas no modelo

(continua)

Variável	Descrição	Fonte de Dados	Sinal Esperado	Referências
Patentes	Taxa de patentes para cada 100.000 habitantes	WIPO	Positivo	Jaffe <i>et al.</i> (2003); Li, Heimeriks e Alkemade (2022)
Patentes trienais	Média móvel trienal da taxa de patentes para cada 100.000 habitantes	WIPO	Positivo	Hall, Jaffe e Trajtenberg (2001); Blundell e Bond (1998); Griliches (1990)
Citações de patentes	Soma das citações totais feitas por cada país à patentes de outros países	WIPO	Positivo	Hu e Jaffe (2003) ; Jaffe <i>et al.</i> (1993); Maurseth e Verspagen (2002)
Média das citações de patentes	Média de citações por patente	WIPO	Positivo	Hu e Jaffe (2003) ; Jaffe <i>et al.</i> (1993); Maurseth e Verspagen (2002)
Citações de patentes trienais	Média móvel trienal da soma das citações de patentes de cada país	WIPO	Positivo	Hall, Jaffe e Trajtenberg (2001); Blundell e Bond (1998); Griliches (1990)
Citações NPL	Soma das citações totais à literatura não patentária de outros países	WIPO	Positivo	Nemet (2012); Li, Heimeriks e Alkemade (2022)

Quadro 2 - Identificação das variáveis utilizadas no modelo

(conclusão)

Variável	Descrição	Fonte de Dados	Sinal Esperado	Referências
Média de citações NPL	Média de citações à literatura NPL por patente	WIPO	Positivo	Nemet (2012); Li, Heimeriks e Alkemade (2022)
Pesquisa e desenvolvimento	Gastos em pesquisa e desenvolvimento (% do PIB)	Banco mundial	Positivo	Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1993); Cohen e Levinthal (1989); Mancusi (2008)
Capital Humano	Taxa bruta de matrícula no ensino superior	Banco mundial	Positivo	Griliches (1979); Jaffe (1989); Nagaoka <i>et al.</i> (2010)

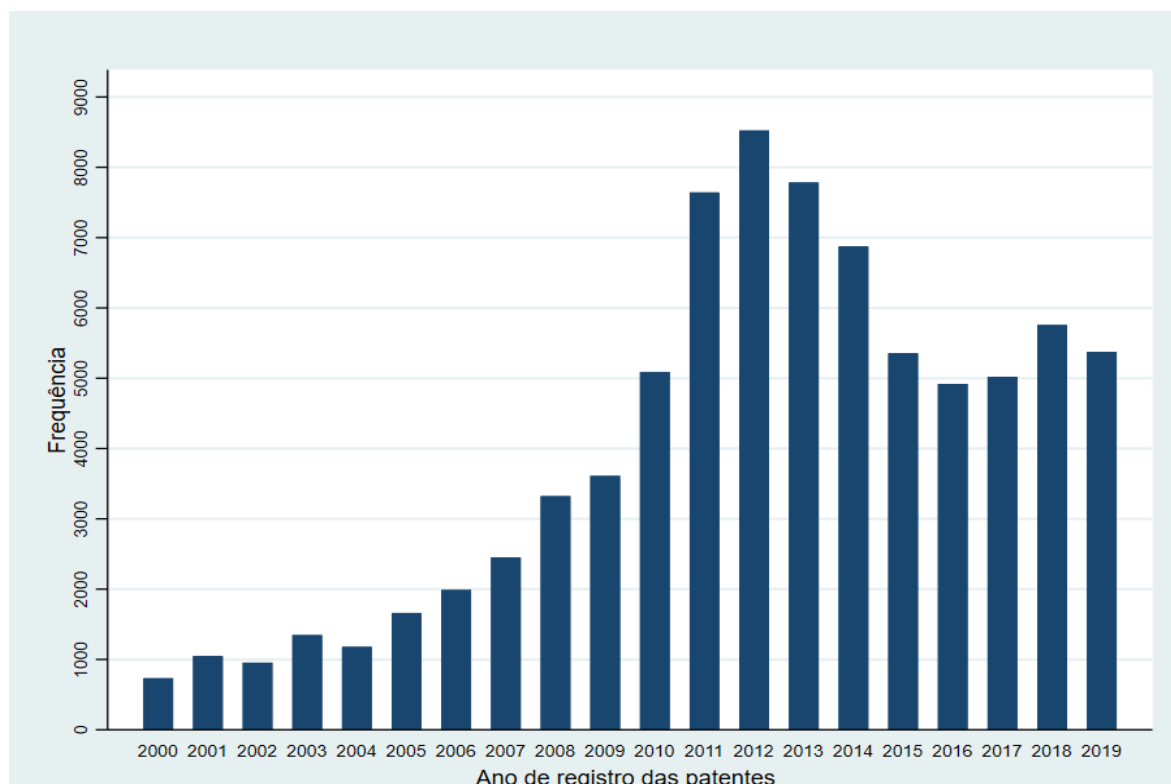
Fonte: Elaboração própria.

4.3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

4.3.1 Patentes depositadas entre 2000 e 2019

No período analisado o número de depósitos de patente em energias eólica e solar cresceu em torno de cinco vezes, indicando a crescente importância das energias renováveis como fonte alternativa de energia. Segundo o Gráfico 6, a partir do início dos anos 2000 há um aumento do nível de depósitos de patentes, nesse sentido pode-se inferir que houve um crescimento do interesse no setor tecnológico no final do século XX e o avanço das tecnologias da informação foi positivo para o avanço do registro de patentes. Ademais, é possível notar uma queda no depósito de patentes a partir de 2012, que é quando ocorreu o auge do número de depósitos, essa queda pode ser justificada por diversos fatores como mudanças de políticas, aumento de competição global ou mudanças tecnológicas, mas principalmente por desdobramentos causados devido a recessão global de 2008, que afetou negativamente diversos setores, como o de pesquisa e desenvolvimento.

Gráfico 6 - Evolução do Número de Depósitos de Patente por Ano para as energias Eólica e Solar, 2000 a 2019



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 1 ilustra os 10 países desenvolvidos da OCDE e parceiros comerciais que mais depositaram patentes de energia eólica ou solar no período de 2000 a 2019.

É importante notar que somente Estados Unidos, Japão e Alemanha, representam juntos mais de 50% dos registros, outrossim, é possível observar que os dez países mais desenvolvidos são responsáveis por aproximadamente 69% dos depósitos do pedido de novas patentes em energia eólica e solar no período analisado.

Tabela 1 - Países desenvolvidos que mais fizeram depósito de patente de energia solar e eólica, 2000 a 2019

País	Frequência	(%)
Estados Unidos	103.906	24,58
Japão	65.802	15,58
Alemanha	46.564	11,02
Coreia do Sul	16.566	3,92
França	15.315	3,62
Reino Unido	13.842	3,27
Dinamarca	8.242	1,95
Holanda	7.201	1,70
Canadá	5.652	1,33
Itália	5.471	1,29
Total	288.561	69,46

Fonte: Elaboração própria.

Os dados da Tabela 2 dizem respeito aos países em desenvolvimento que fazem parte da OCDE (ou é um parceiro comercial) que mais patenteiam invenções da classe de energia eólica e solar no período de 2000 a 2019. A China detém o maior percentual, sendo responsável pelo registro de quase 20.000 patentes no período de 19 anos. Ademais, a presença do grupo econômico BRICS entre os cinco primeiros países não se apresenta como uma coincidência, visto que, são considerados um dos grupos de países emergentes de maior destaque. Juntos, China, Índia, Rússia, Brasil e África do Sul, representam 6,11% das invenções patenteadas em energia eólica e solar.

Tabela 2 - Países em desenvolvimento que mais fizeram depósito de patentes em energia solar e eólica, 2000 a 2019

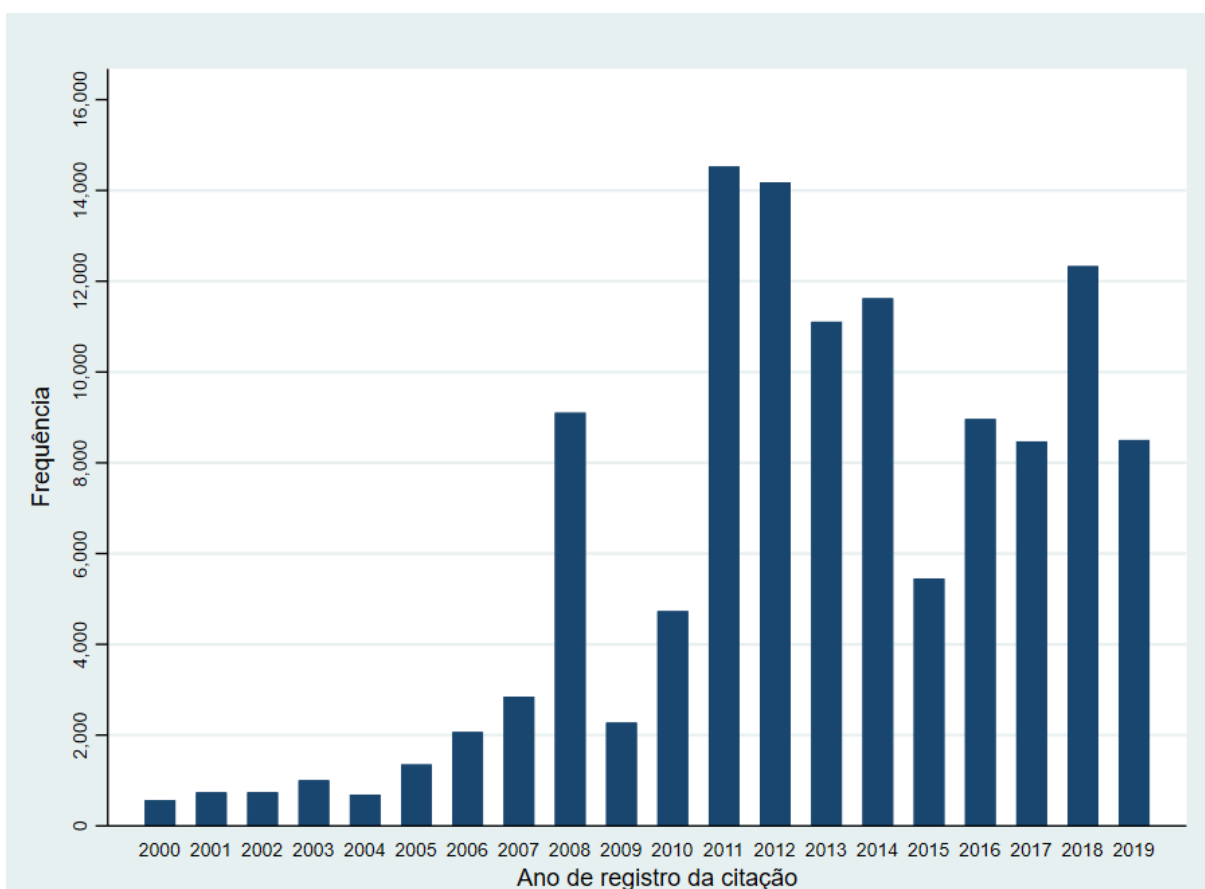
País	Frequência	(%)
China	19.218	4,55
Índia	2.591	0,61
Rússia	2.077	0,49
Brasil	1.044	0,25
África do Sul	896	0,21
Turquia	640	0,15
México	392	0,09
Colômbia	63	0,01
Argentina	37	0,01
Peru	23	0,01
Total	27.081	6,18

Fonte: Elaboração própria.

4.3.2 Citações a patentes de outros países

Assim como ocorreu com os depósitos de patentes, o número de citações a patentes de outros países cresceu ao longo do período analisado, aumentando em torno de 8 (oito) vezes entre 2000 e 2019. As citações crescem até 2008, com uma queda no ano de 2009, que pode ser atribuído novamente à grande recessão de 2008, voltando a crescer até 2011 quando atingiu o ápice. Depois volta a cair e a subir novamente, com oscilações, mas mantendo a tendência de crescimento ao longo do período.

Gráfico 7 - Evolução do Número de Citações de Patentes por Ano para as energias Eólica e Solar, 2000 a 2019



Fonte: Elaboração própria.

A evolução errática do número de citações ao longo do período pode ser explicada pela variabilidade do tempo entre o depósito de uma patente e ela ser citada por outra patente. A média de tempo que as invenções levam para serem citadas após serem patenteadas é de 5,23 anos, em que, necessariamente não segue um padrão, pois tem-se patentes que levaram menos de um ano, como também existem patentes que só foram citadas após oito anos da invenção primordial.

Observou-se também que as patentes em energia solar e eólica depositadas entre 2000 e 2019 possuem em média aproximadamente 20.58 citações a patentes de outros países, o que comprova a teoria que o conhecimento transborda no espaço ao longo do tempo de Jaffe *et al.* (1993), transpondo as barreiras geográficas dos países.

4.3.3 Variáveis ambientais

A Tabela 3 apresenta uma análise comparativa da média individual para cada país em todo o período analisado (2000 a 2019) em relação às emissões totais de CO₂. Nela estão dispostos os valores percentuais para cada um dos dez países com as menores e maiores taxas de emissão, respectivamente.

Dentre os países com menores emissões médias, a Suíça se destaca com a menor média de 0,108%, seguida pela Colômbia com 0,122% e pela Suécia com 0,124%. Outros países com baixas emissões incluem Costa Rica (0,145%), Noruega (0,146%), Islândia (0,147%), Peru (0,152%), Brasil (0,155%), França (0,156%) e Lituânia (0,181%). Vale destacar que dentre os 10 países que menos poluem com a emissão de CO₂, 4 são países em desenvolvimento. A média geral dos países com menores emissões é de 0,148%, enquanto os países com maiores emissões representam 0,415%.

Por outro lado, entre os países com maiores emissões, a Rússia apresenta a maior média de 0,736%, seguida pela China com 0,701% e pela África do Sul com 0,652%. Outros países com altas emissões são Estônia (0,541%), Austrália (0,461%), Polônia (0,437%), Canadá (0,415%), República Tcheca (0,411%), Estados Unidos (0,381%) e Coreia do Sul (0,372%).

Resumidamente, os dados apresentados na Tabela 3 mostram as diferenças nas emissões médias de CO₂ entre os países com as menores e maiores taxas de emissão no período de 2000 a 2019. Países como Suíça, Colômbia e Suécia têm as menores médias, enquanto Rússia, China e África do Sul estão entre os maiores emissores. Essas diferenças podem ser influenciadas por diversos fatores, incluindo o nível de desenvolvimento econômico, a matriz energética adotada e as políticas ambientais vigentes em cada país.

Tabela 3 - Os 10 países com maior e menor média de emissão de CO₂ entre os países constituintes e parceiros comerciais da OCDE, 2000 a 2019

		(continua)	
Países com menor média de emissões	(%)	Países com maior média de emissões	(%)
Suíça	0,108	Rússia	0,736
Colômbia	0,122	China	0,701
Suécia	0,124	África do Sul	0,652

Tabela 3 - Os 10 países com maior e menor média de emissão de CO₂ entre os países constituintes e parceiros comerciais da OCDE, 2000 a 2019

(conclusão)			
Países com menor média de emissões	(%)	Países com maior média de emissões	(%)
Costa Rica	0,145	Estônia	0,541
Noruega	0,146	Austrália	0,461
Islândia	0,147	Polônia	0,437
Peru	0,152	Canadá	0,415
Brasil	0,155	República Tcheca	0,411
França	0,156	Coreia do Sul	0,372
Lituânia	0,181	Estados Unidos	0,381
Total	1,486		4,157

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 4 fornece uma análise do consumo médio individual para cada país em relação ao consumo de energia renovável em todo o período analisado (2000 a 2019). Estão predispostos os valores percentuais para cada um dos dez países com as menores e maiores taxas de consumo deste tipo de energia.

No grupo dos países com menor consumo de energia renovável, a Coreia do Sul apresenta a menor média, com 1,62%. Em seguida, estão a Rússia com 3,41% e a Inglaterra com 4,17%. Vale destacar que Coreia do Sul, Rússia e Estados Unidos, além de estarem entre os 10 países que menos consomem energia renovável, também estão entre os 10 países que mais emitem CO₂ no período, como visto na tabela 3. Por outro lado, entre os países com maior consumo de energia renovável, a Islândia se destaca com a média mais alta, de 74,53%, seguida pela Noruega com 58,03% e pelo Brasil com 45,28%. A média geral dos países com menor consumo de energias renováveis é de 0,57%, enquanto os países com maior consumo representam 44,12%.

É interessante observar que dos 10 (dez) países que mais consumiram energia renovável no período, 7 (sete) estão dentre os 10 (dez) países que menos emitem CO₂ no período, como pode ser visto na Tabela 3 (Islândia, Noruega, Brasil, Suécia, Costa Rica, Colômbia e Peru). Esses dados indicam a diversidade no consumo de energia renovável entre os países, influenciada por diversos fatores como a disponibilidade de recursos naturais e as políticas energéticas adotadas.

Tabela 4 - Os 10 países com maior e menor média de consumo de energia renovável entre os países constituintes e parceiros comerciais da OCDE, 2000 a 2019

País com menor média de consumo	(%)	Países com maior média de consumo	(%)
Coreia do Sul	1,62	Islândia	74,53
Rússia	3,41	Noruega	58,03
Inglaterra	4,17	Brasil	45,28
Holanda	4,25	Suécia	44,32
Japão	5,02	Costa Rica	40,78
Bélgica	5,66	Índia	38,77
Israel	5,87	Letônia	37,43
Irlanda	5,99	Finlândia	35,93
Luxemburgo	6,41	Colômbia	31,01
Estados Unidos	7,51	Peru	30,13
Total	57,09		441,20

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 5 apresenta a produção média de energia renovável para cada país individualmente em relação às menores e maiores taxas de produção entre 2000 e 2019. São apresentados também, os valores percentuais para cada um dos dez países com as menores e maiores taxas de produção de energia renovável. Entre os países que menos produzem energias renováveis, apenas 4,11% em média de toda sua produção de energia é resultado de produção renovável, enquanto os países analisados com maior produção apresentam uma média 69,27%.

Entre os países com menor produção média de energia renovável, Israel está em primeiro lugar com 0,41%, seguida pela África do Sul com 0,88% e pela Coreia do Sul com 1,30%. Dentre os 10 países que menos produziram energia renovável no período, 5 deles também estão dentre os 10 países que menos consumiram este tipo de energia no período (Israel, Coreia do Sul, Inglaterra, Bélgica e Holanda), e 5 deles estão dentre os 10 países que mais emitiram CO₂ no período (África do Sul, Coréia do Sul, República Tcheca, Polônia e Estônia) como pode ser visto nas tabelas 05 e 04, respectivamente. No grupo dos países com maior produção média de energia renovável, a Islândia lidera com uma média de 99,96%, seguida pela Noruega com 98,41% e pela Costa Rica com 96,53%. Dentre os 10 países com maior produção de energia renovável no período, 7 estão dentre os 10 que mais

consumiram este tipo de energia (Islândia, Noruega, Costa Rica, Brasil, Colômbia, Letônia e Peru), e 6 (seis) estão dentre os 10 que menos emitiram CO₂ (Islândia, Noruega, Costa Rica, Brasil, Colômbia e Peru), como pode ser visto nas tabelas 04 e 03, respectivamente.

Os dados refletem diferenças significativas na capacidade de produção de energia renovável entre os países, influenciadas por alguns fatores como recursos naturais disponíveis, infraestruturas energéticas e políticas de incentivo ao uso de energias renováveis.

Tabela 5 - Os 10 países com maior e menor média de produção de energia renovável entre os países constituintes e parceiros comerciais da OCDE, 2000 a 2019

País com menor média de produção	(%)	Países com maior média de produção	(%)
Israel	0,417	Islândia	99,969
África do Sul	0,887	Noruega	98,419
Coreia do Sul	1,303	Costa Rica	96,534
Inglaterra	3,225	Brasil	84,120
República Tcheca	3,392	Colômbia	73,470
Polônia	5,614	Nova Zelândia	70,466
Hungria	5,791	Áustria	69,741
Estonia	6,759	Canadá	61,011
Bélgica	6,861	Letônia	58,631
Holanda	8,098	Peru	58,355
Total	41,199		692,696

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 6 apresenta a média individual para cada país ao longo do período analisado (2000 a 2019) em relação à participação nas energias eólica e solar para produção de eletricidade. Estão expressos valores percentuais para cada um dos dez países com as menores e maiores taxas de emissão, respectivamente. A média geral dos países com menor consumo de energias renováveis é de 0,65%, enquanto os países com maior consumo representam 8,31%.

Entre os países com a menor participação média de energias eólica e solar na produção de eletricidade, a Rússia tem a menor média com 0,059%, seguida pela Colômbia com 0,073% e pelo Chile com 0,288%. Esses valores indicam uma baixa dependência dessas fontes de energia renovável em seus sistemas elétricos durante

o período analisado. Interessante observar que Colômbia, Noruega e Brasil estão entre os 10 países que mais produziram energia renovável no período (Tabela 5), mas a participação das energias solar e eólica na geração de eletricidade destes países é muito baixa, sinalizando a importância de outras fontes de energia renovável nestes países. Por outro lado, entre os 10 países com a maior participação média das energias solar e eólica, a Nova Zelândia lidera com 15,26%, seguida pela Espanha com 14,68% e por Portugal com 12,86%. Mostrando um uso significativo de energias eólica e solar na matriz energética desses países, refletindo uma relação entre a diversificação das fontes de energia e a sustentabilidade.

Tabela 6 - Os 10 países que possuem maior e menor participação média de energias eólica e solar na produção de eletricidade, 2000 a 2019

País com menor média de participação	(%)	Países com maior média de participação	(%)
Rússia	0,059	Nova Zelândia	15,26
Colômbia	0,073	Espanha	14,68
Chile	0,288	Portugal	12,86
Argentina	0,310	Alemanha	11,07
Coreia do Sul	0,691	Itália	8,49
África do Sul	0,872	Inglaterra	6,60
Noruega	1,065	Holanda	5,21
República Tcheca	1,467	Bélgica	4,82
Brasil	1,647	Suécia	4,27
China	2,205	Japão	4,06
Total	6,587		83,06

Fonte: Elaboração própria.

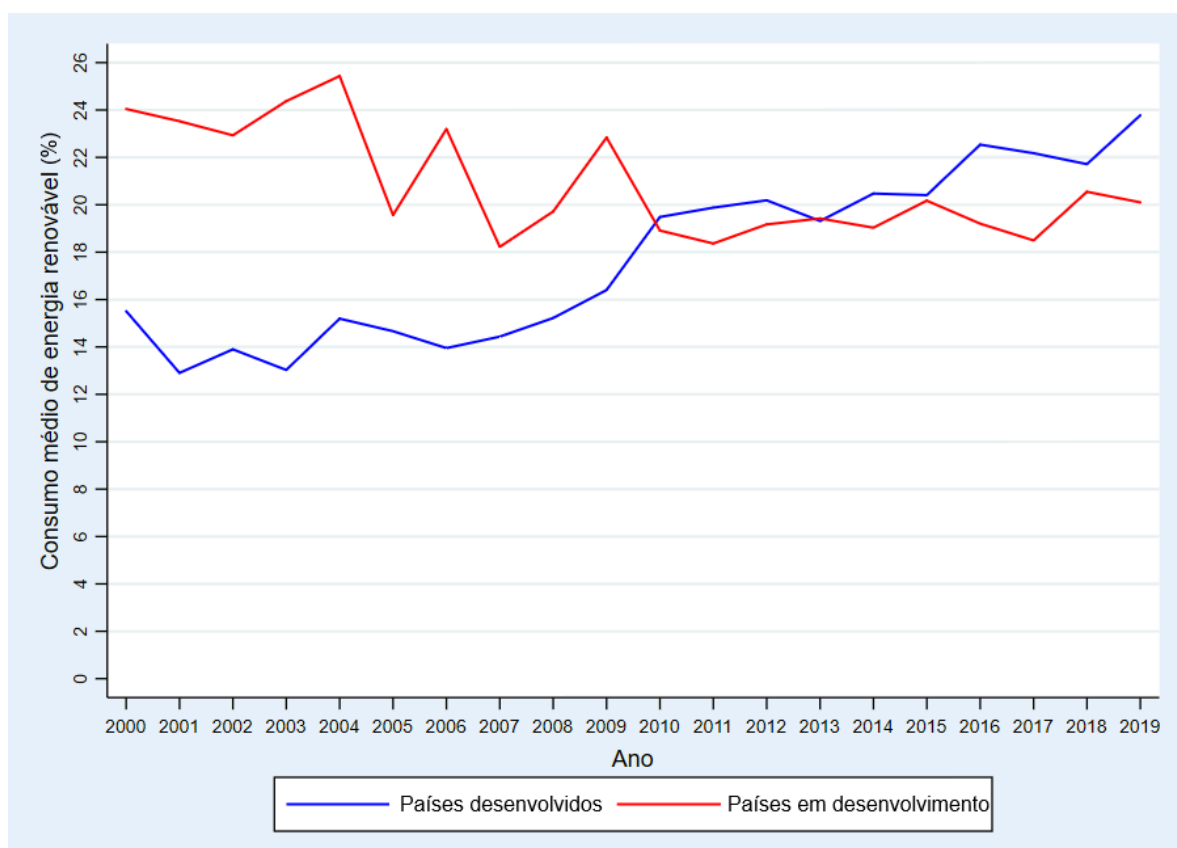
O Gráfico 8 faz uma análise do consumo médio anual de energia renovável em países desenvolvidos e em desenvolvimento, no período compreendido entre os anos de 2000 e 2019, apresenta diferentes padrões de crescimento e discrepâncias entre os dois grupos de países.

No que tange ao consumo de energia renovável em países desenvolvidos, observou-se uma trajetória ascendente ao longo das duas últimas décadas. Inicialmente registrado em aproximadamente 16% de todo o consumo de energia em 2000, esse consumo médio aumentou progressivamente até alcançar cerca de 24% em 2019, representando um aumento de 6% ao longo do período em análise.

Já no conjunto dos países em desenvolvimento a participação da energia renovável no total consumido de energia diminuiu ao longo do período, saindo de 24% em 2000, para aproximadamente 20% em 2019, refletindo um decréscimo de 4% ao longo do mesmo intervalo temporal.

Ao comparar os dois grupos de países, verifica-se que, em 2000, o consumo médio de energia renovável nos países desenvolvidos era cerca de 10% a menos daquele observado nos países em desenvolvimento. Esse padrão se inverteu em 2019, evidenciando que, o crescimento expressivo no consumo de energia renovável nos países desenvolvidos, elevou a disparidade em relação aos países em desenvolvimento de maneira significativa. Tal aumento pode ser justificado devido a implementação de novas tecnologias energéticas após uma alavancagem nos investimentos em energias renováveis no princípio dos anos 2000 (ALBINO *et al.* 2014).

Gráfico 8 - Consumo de energia renovável nos países desenvolvidos e em desenvolvimento: participação no consumo total de energia, 2000 a 2019



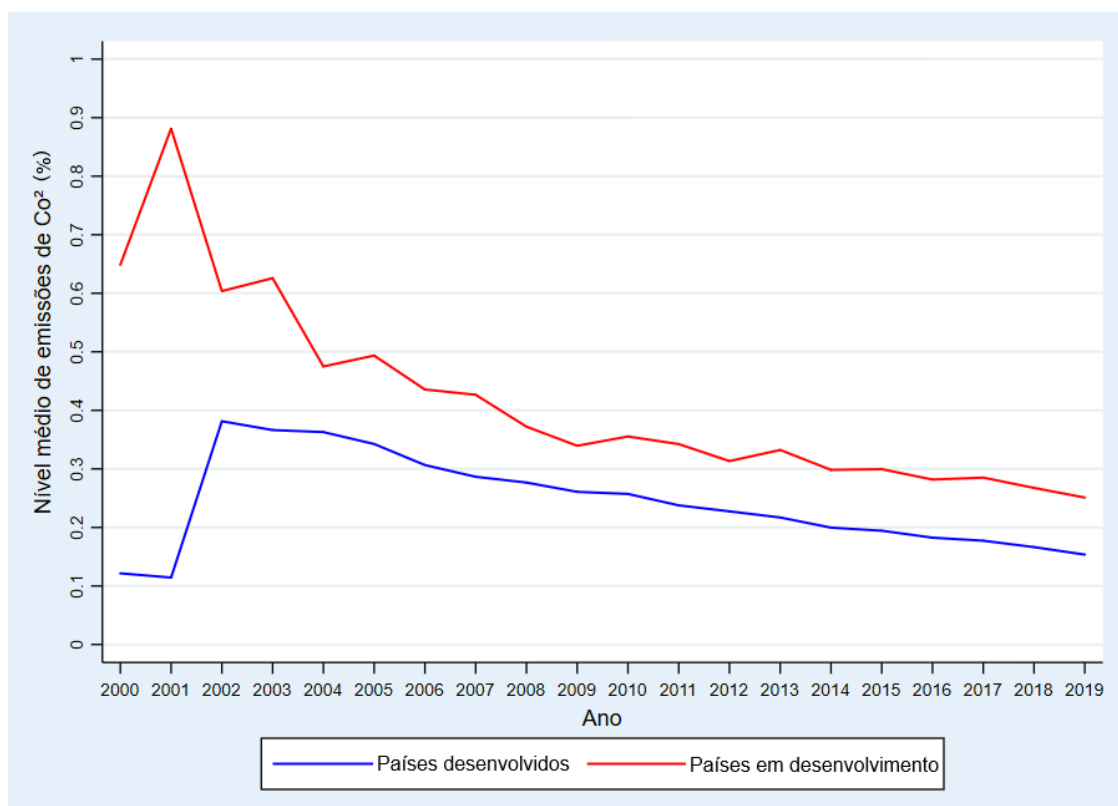
Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 9 mostra a evolução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) em países desenvolvidos e em desenvolvimento entre 2000 e 2019. Os países desenvolvidos, inicialmente são responsáveis em média por 0,15% de emissões de CO₂ em todo planeta. Continuamente, nos países em desenvolvimento, existe uma proporção significativamente maior do que nos países desenvolvidos, com uma emissão inicial média de 0,65%.

Apesar de haver um crescimento no nível de emissões nos anos iniciais para os países desenvolvidos, o nível de emissões dos países em desenvolvimento é praticamente o dobro dos desenvolvidos. Porém, é possível notar que a partir de 2002, o grupo dos países em desenvolvimento e os desenvolvidos detém uma quantidade de emissões próximas que se acompanham até o final do período de análise (com uma redução acentuada dos países em desenvolvimento), em que, os países em desenvolvimento apresentam uma maior taxa percentual média de emissões em 2019, com aproximadamente 0,25%, enquanto os países desenvolvidos possuem valores de emissão aproximados de 0,15%.

Por fim, utilizando como parâmetro o ano final e inicial, os países desenvolvidos obtiveram um aumento de aproximadamente 0,5% de emissões, enquanto os em desenvolvimento tiveram uma redução de 0,4% ao longo de todo o período analisado.

Gráfico 9 - Análise das variações médias nas emissões de CO₂ entre países desenvolvidos e em desenvolvimento



Fonte: Elaboração própria.

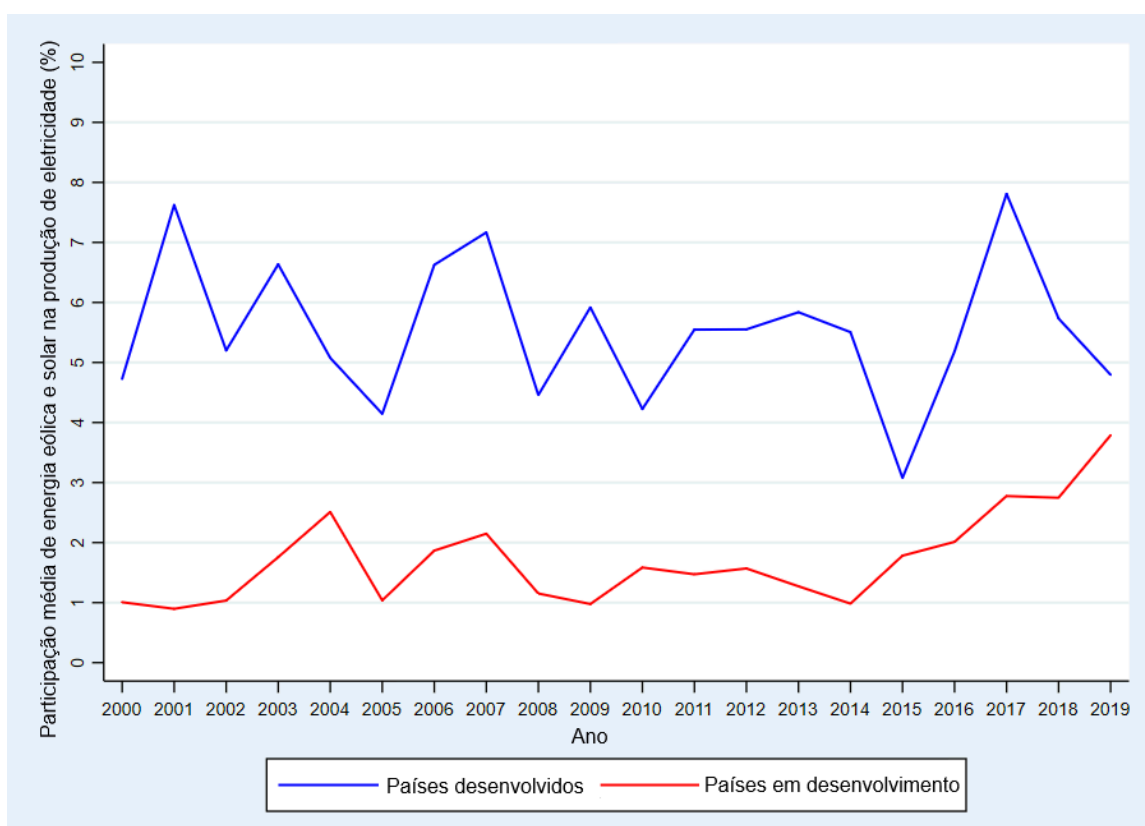
O Gráfico 10 mostra a evolução da participação média anual da energia eólica e solar na geração de eletricidade em países desenvolvidos e em desenvolvimento, ao longo do período de 2000 a 2019.

A participação da energia eólica e solar na geração de eletricidade nos países em desenvolvimento demonstrou uma tendência de crescimento estável durante o período em análise. Inicialmente, em 2000, essa participação média era de aproximadamente 1%, aumentando progressivamente e alternando entre picos e vales alcançando cerca de 4% em 2019, representando um aumento significativo ao longo das duas últimas décadas.

A participação da energia eólica e solar na geração de eletricidade em países desenvolvidos também experimentou oscilações nas participações ao longo do período, mas manteve uma participação constante. Começando abaixo dos 5% em 2000, essa participação média chegou a um valor mínimo em 2015 com 3%, porém, adquiriu um aumento chegando novamente aos 5% iniciais, em 2019.

Ao comparar os dois grupos de países, observa-se que em 2000, a participação da energia eólica e solar na geração de eletricidade era cinco vezes maior nos países desenvolvidos do que nos países em desenvolvimento. Contudo, em 2019, embora ainda fosse maior nos países desenvolvidos, essa diferença diminuiu significativamente. Esse padrão sugere que, embora os países em desenvolvimento ainda estejam atrás dos países desenvolvidos em termos de participação da energia eólica e solar na geração de eletricidade, o ritmo de crescimento nesse setor tem sido mais estável e gradual nos últimos anos nos países desenvolvidos.

Gráfico 10 - Média de participação de energias eólica e solar na produção de eletricidade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, 2000 a 2019



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 11 ilustra a produção média de energia renovável durante o período de 2000 a 2015, comparando países desenvolvidos e países em desenvolvimento. O gráfico expressa a relação existente entre a produção média de energia renovável e

a participação na geração total de energia (Gráfico 10) em termos percentuais ao longo dos anos considerados.

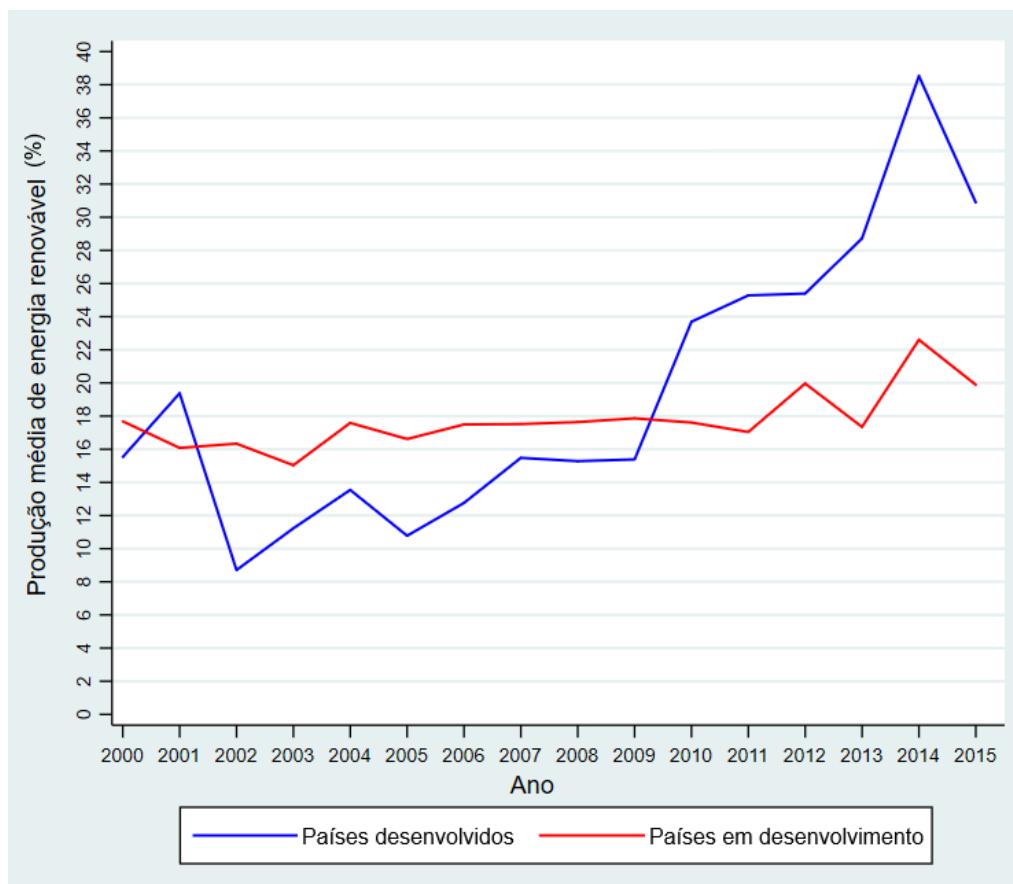
A tendência global observada no gráfico aponta para um aumento progressivo na produção de energia renovável ao longo do período analisado, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento. A linha azul, correspondente aos países desenvolvidos, exibe um crescimento notável na produção de energia renovável, especialmente a partir de 2010, culminando em um pico em 2014, seguido por uma leve diminuição em 2015. Por sua vez, a linha vermelha, representativa dos países em desenvolvimento, também registra um aumento na produção de energia renovável, embora de forma mais gradual e menos pronunciada em comparação com os países desenvolvidos.

Ao analisar a comparação entre os grupos de países, destaca-se que, inicialmente, em 2000, a produção de energia renovável nos países em desenvolvimento era ligeiramente superior à dos países desenvolvidos. No entanto, a partir de 2001, os países desenvolvidos ultrapassaram os países em desenvolvimento nesse aspecto, mantendo uma liderança crescente ao longo do período abordado.

As variações anuais evidenciadas nas linhas do gráfico indicam flutuações ao longo dos anos, sendo mais acentuadas na linha dos países desenvolvidos, especialmente entre 2013 e 2015. Essas variações sugerem possíveis influências de investimentos significativos ou mudanças políticas que impactaram a produção de energia renovável nesses países.

Este capítulo trouxe algumas análises empíricas e descritivas sobre o comportamento de algumas variáveis contidas na base de dados que foram utilizadas para estimação dos modelos econométricos. O capítulo posterior apresenta e discute os resultados encontrados nos modelos estimados.

Gráfico 11 - Média de produção de energia renovável nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, 2000 a 2015



Fonte: Elaboração própria.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como explicitado anteriormente, foi empregado o estimador *gmm system* por ser um estimador eficiente que possibilita trabalhar com painéis dinâmicos e com variáveis defasadas, pois lida não apenas com problemas como endogeneidade, mas também, heterogeneidade, variáveis omitidas por viés e erros de medição²⁰.

Para que os resultados sejam confiáveis é necessário que os instrumentos selecionados sejam válidos. Para isso, dois testes de especificação devem ser utilizados e analisados, sendo eles, o teste Hansen, cuja hipótese nula disserta que todos os instrumentos utilizados (que são considerados como um grupo) são exógenos, e os testes de autocorrelação serial nos resíduos. Estes têm como hipótese nula que o termo de erro da equação de diferenças não possui correlação serial. A autocorrelação de primeira ordem é esperada, pois decorre da transformação em primeira diferença. A autocorrelação de segunda ordem implicaria autocorrelação de primeira ordem dos resíduos em nível, comprometendo a validade dos instrumentos e a consistência do estimador. Portanto, para a validade dos resultados é necessário que não se rejeite a hipótese nula de autocorrelação de primeira ordem (Teste AR(1)), e que essa hipótese seja rejeitada para a autocorrelação de segunda ordem (Teste AR(2)) (Arellano; Bond, 1991).

De forma geral, o *gmm system* possui como principais características sua contribuição para eliminar heterocedasticidade (e se ela está presente, possui maior efetividade do que estimadores de variáveis instrumentais), a capacidade de eliminar correlação serial, a característica de cobrir os problemas de endogeneidade e de poucas observações para muitos indivíduos ao longo do tempo e por fim, ele é mais concreto também na presença de variáveis correlacionadas do que o *gmm* de primeiras diferenças.

Todos os modelos foram estimados utilizando-se o estimador *system gmm*, com as seguintes especificações:

- a) Utilizando a configuração *Small*: ao aplicar a configuração *Small* o *Stata* compreende que deve ajustar os resultados para um menor número de amostras. Determinado ajuste é importante quando se tem amostras não

²⁰ Os modelos foram estimados utilizando o comando *xtabond2*, que foi desenvolvido por Roodman (2006) com recursos como a transformação dos desvios ortogonais.

tão grandes/limitadas, ela age corrigindo o viés nos estimadores. Ou seja, ao manusear a configuração *Small*, o *Stata* reporta as estatísticas t em vez das estatísticas z, e assim utiliza o teste qui-quadrado de Wald em vez do teste F, disponibilizando maior confiabilidade nas estimativas em dados que possuem pequenas amostras;

- b) Utilizando a configuração *Robust*: ao aplicar a opção *Robust* o *Stata* entende que dados os erros padrão, os mesmos devem ser consistentes com a autocorrelação e a heteroscedasticidade específicas do painel na estimativa de one-step. A utilização da opção auxilia a garantir a validade dos erros padrão mesmo com a existência de heteroscedasticidade ou correlação serial nos resíduos. Além disso, ao utilizar a opção *Robust*, ao invés da estatística Sargan, o *Stata* nos dá a estatística Hansen J, mantendo a hipótese nula de validade dos instrumentos;
- c) Utilizando a configuração *Twostep*: Ao utilizar a estimação em duas etapas, o *Stata* ajusta o peso das condições momentâneas no *gmm*, o que pode melhorar a precisão dos estimadores, especialmente em grandes amostras. Embora a estimativa de primeira etapa (one-step) seja robusta em pequenas amostras, a *twostep* fornece maior precisão em termos de erro padrão, diminuindo e ajustando um potencial viés que venha a ser introduzido na primeira etapa. Na prática, embora possa se obter menor eficácia em amostras menores devido ao viés, é recomendável a utilização da estimação *twostep* quando se deseja ter estimativas melhores.

Tabela 7 - Estimações por *system gmm* – 2000 a 2019

	(continua)			
Variável dependente: <i>ln(Patentes)</i>	(1)	(2)	(3)	(4) ²¹
<i>lnPatentes (t-1)</i>	0,207** (0,014)	0,342** (0,007)	0,330** (0,019)	0,483*** (0,000)
<i>lnMédia das citações de patentes</i>	0,221*** (0,002)	0,237*** (0,000)		0,119*** (0,003)
<i>lnMédia de citações NPL</i>	0,243*** (0,000)	0,259*** (0,000)	0,237*** (0,000)	0,077*** ²² (0,004)
<i>lnPesquisa e desenvolvimento (t-1)</i>	0,996*** (0,000)	0,758*** (0,001)	0,761*** (0,003)	0,495*** (0,000)
<i>lnCapital Humano (t-1)</i>	0,269 (0,516)	-0,885 (0,125)	0,166 (0,638)	0,422* (0,065)
<i>lnCapital Humano x dummy (t-1)</i>		1,111* (0,063)		
<i>lnPaíses desenvolvidos</i>			0,232*** (0,000)	
<i>Países em desenvolvimento</i>			-0,124 (0,621)	
<i>dummy de desenvolvimento</i>	0,921* (0,082)	0,997** (0,009)	0,935** (0,049)	0,946*** (0,005)

²¹ Neste modelo foi utilizado a média móvel trienal para as variáveis de patentes e média das citações de patentes.

²² A predileção pela variável de média em linha ao invés da média trienal para citações não patentárias se dá devido aos resultados não serem significativos com a utilização da média trienal ao longo dos testes gerais.

Tabela 7 - Estimações por *system gmm* – 2000 a 2019

Variável dependente: <i>ln(Patentes)</i>	(Conclusão)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constante	-2,508*** (0,000)	-2,466*** (0,000)	-2,224*** (0,000)	-2,308*** (0,000)
Observações	412	412	411	411
Número de Grupos	40	40	40	40
Número de Instrumentos	31	34	34	34
Número de Lags utilizados como instrumentos	2 e 3	3 e 5	3 e 5	0 a 2
Dummies de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Teste F	0,000	0,000	0,000	0,000
AR (1)	0,002	0,008	0,006	0,009
AR (2)	0,636	0,448	0,394	0,333
Teste Hansen	0,350	0,609	0,693	0,268

p-valor entre parênteses ****p* < 0,01 ***p* < 0,05 **p* < 0,1

Fonte: Elaboração própria.

No intuito de avaliar a importância dos transbordamentos internacionais do conhecimento para as inovações nas energias solar e eólica foram estimados 5 (cinco) modelos alternativos (Tabela 7). A confiabilidade dos resultados destes modelos depende da validação das hipóteses do estimador *gmm system*, as quais podem ser verificadas por meio dos testes AR1, AR2 e Hansen (J). Pode-se verificar ao final da Tabela 7 que todos os modelos estimados satisfazem os referidos testes. Observa-se que a correlação dos resíduos apresenta correlação serial de primeira ordem em todos os modelos (AR(1)) (como esperado), e não há correlação de segunda ordem (AR(2)).

Em todas as especificações, a estatística do teste Hansen (J) , não rejeita a hipótese nula de exogeneidade dos instrumentos, ou seja, a endogeneidade foi tratada e portanto os instrumentos são válidos. As condições encontradas no modelo, portanto, foram atendidas conforme Blundell-Bond (1998).

É recomendado pela literatura no geral que o número de instrumentos seja menor que o número de grupos (Roodman, 2009), pois a proliferação de instrumentos pode enfraquecer o modelo. Nesse sentido, em todas as estimações observa-se que o número de instrumentos é menor que o de grupos.²³

O p-valor do teste Hansen encontrado em todas as estimações atende às exigências de Roodman (2009) de se utilizar p-valores acima de 0,25% para que não se rejeite a hipótese nula, assim se tem uma maior confiança ao afirmar a validade dos instrumentos estimados. Ademais, ao analisar os três testes conjuntamente é possível afirmar que todos os modelos dinâmicos estimados estão completos e consistentes.

Analisando-se os resultados do modelo 1 (um), observa-se que o coeficiente da taxa de patentes do ano anterior é positivo e significativo a 5%, indicando que *ceteris paribus*, uma unidade percentual de patentes em energia eólica e solar no período anterior resulta em um aumento de aproximadamente 0,207% na taxa de patentes no período atual, expressando que as inovações anteriores nestas fontes de energia renovável afetam positivamente as inovações mais recentes. Esse resultado confirma o caráter *path dependent* da inovação conforme (David, 2007; Apajalahti; Kungl, 2022).

²³ Para controle da proliferação de instrumentos e objetivando encontrar os melhores resultados, foram realizadas outras estimativas com restrições diferentes em relação aos lags utilizados, determinados testes estão expressos no Apêndice B (Tabela 1).

Em relação às citações de patentes, observa-se que o p-valor de 0,002 sugere que este coeficiente é altamente significativo a um nível de significância de 1%. A elasticidade de 0,221 indica que um aumento de 1% nas citações está associado a um aumento de aproximadamente 0,221% na taxa de patentes. Este resultado evidencia que o conhecimento relacionado ao desenvolvimento tecnológico de energias solar e eólica transborda entre fronteiras nacionais, beneficiando outros países além daquele onde este conhecimento foi gerado. Em que pese o fato de que a intensidade do transbordamento do conhecimento diminui com o aumento da distância geográfica, fato reconhecido e aceito pela literatura, este resultado mostra que ainda assim o conhecimento codificado nas patentes flui entre países, contribuindo para a geração de conhecimento além das fronteiras em que foi originalmente criado (Breschi; Lissoni, 2009). Dessa forma, o avanço tecnológico nas energias solar e eólica em determinado país pode contribuir para que ocorra novos avanços também em outros países. Mas o aproveitamento do conhecimento externo para a geração de inovações em território nacional depende de fatores internos como a infraestrutura tecnológica, políticas públicas voltadas para a inovação, e a capacidade de absorção do país.

Ainda no modelo 1 observa-se que as citações à literatura não patentária (NPL) afetam positivamente a taxa de patentes. Esta variável é altamente significativa e seu coeficiente mostra que um aumento de 1% nas citações NPL está associado a um crescimento de aproximadamente 0,243% na taxa de patentes. A literatura não patentária citada nas patentes refere-se a artigos científicos, livros, relatórios técnicos, teses, dissertações e outros documentos acadêmicos ou técnicos, de forma que se pode interpretar estas citações como uma evidência da contribuição da ciência para o desenvolvimento tecnológico das energias solar e eólica (Wagner; Leydesdorff, 2005). Este resultado mostra que, não apenas o conhecimento tecnológico contido nas patentes, mas também o conhecimento científico codificado transborda entre fronteiras nacionais, contribuindo para a geração de inovações em energias solar e eólica em outros países. Novamente, o aproveitamento deste conhecimento externo depende da capacidade de absorção do país receptor, ou seja, de suas condições internas de assimilar e incorporar esse conhecimento de forma a conseguir aplicá-lo para a geração de inovações tecnológicas nas energias solar e eólica.

Em suma, tanto as citações de patentes quanto às citações bibliográficas nas patentes em energia solar e eólica indicam que o conhecimento transborda entre as fronteiras nacionais e contribui para estimular inovações nestas tecnologias em outros países. A existência de capacidade de absorção nestes países é um determinante fundamental do grau em que esse conhecimento externo pode ser aproveitado. Ao possibilitar a geração e a acumulação de conhecimento ao longo do tempo, a atividade de pesquisa e desenvolvimento (P&D) é um dos principais fatores que determinam a capacidade de absorção de um país (Jaffe, 1986).

Os investimentos em P&D vão além dos gastos objetivando implementar melhorias e avanços tecnológicos, ele pode ser utilizado como uma ferramenta para assimilar o conhecimento externo. Ou seja, quanto maior o P&D de um país, maior capacidade ele possui de internalizar conhecimentos externos provenientes de outros países. Mas, além de seu papel na geração de capacidade de absorver conhecimento externo, o gasto em P&D é um determinante direto da capacidade de inovação de um país, pois é um dos principais insumos geradores de conhecimento (Jaffe; Trajtenberg, 2002).

Com alto nível de significância, o resultado obtido no modelo 1 para a variável pesquisa e desenvolvimento indica que um aumento de 1% nas despesas em P&D está associado a um crescimento praticamente unitário na taxa de patentes (0,996%). Os valores encontrados na estimação sugerem que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento representam uma estratégia altamente eficaz para impulsionar a produção de patentes em energia solar e eólica. Esses investimentos não só promovem a inovação, mas também fortalecem a capacidade de absorção de conhecimento de um país, permitindo que ele internalize avanços tecnológicos de outros países, gerando novas tecnologias sustentáveis (Mancusi, 2008).

Ao contrário do esperado, o impacto da taxa bruta de matrícula no ensino superior (*InCapital Humano*), que representa o investimento em capital humano, não é estatisticamente significativo no modelo 1. Sugerindo que, com base nos dados atuais, não há evidências de um impacto significativo da variável na taxa de patentes em energias solar e eólica. Uma possível explicação para este resultado inesperado é a qualidade dos dados disponíveis para serem utilizados como *proxy* para capital humano. A variável utilizada (taxa bruta de matrículas no ensino superior) apresenta muitos *missing* (27,45%), o que pode ter contribuído para que não se mostrasse significativa. Foram testadas diversas outras variáveis como indicador de capital

humano, porém, estas possuíam um número de *missing* bem maior que a variável escolhida, razão pela qual elas também não se mostraram significativas.²⁴ A indisponibilidade de dados sobre educação superior abrangendo todos os países da amostra mostrou-se como uma das principais limitações desta pesquisa. Além disso, os dados de patentes em energias solar e eólica são muito erráticos ao longo dos anos, apresentando grandes oscilações de um ano para outro, principalmente nos países em desenvolvimento. Uma forma de contornar esse problema é o uso da média móvel trienal das patentes, como utilizado por Blundell e Bond (1998), o que foi feito no modelo 5, que será discutido mais adiante.

A variável *dummy* de desenvolvimento que é discriminada entre países desenvolvidos (1) e em desenvolvimento (0), é significativa a 10% e possui um impacto positivo na taxa de patentes. O coeficiente indica que a condição de país desenvolvido está associada a um maior aumento na produção de patentes em comparação aos países em desenvolvimento. Este resultado já era esperado, uma vez que historicamente os países desenvolvidos possuem maior infraestrutura tecnológica, estando à frente dos países em desenvolvimento no que se refere ao progresso tecnológico em geral, e ao progresso tecnológico nas energias solar e eólica em particular. Na tabela 2 observou-se que 69% dos depósitos de pedido de patentes em energia eólica e solar entre 2000 e 2019 foi feito no grupo dos 10 países desenvolvidos que mais patentearam entre 2000 e 2019. O resultado obtido para a *dummy* de desenvolvimento corrobora esta proeminência dos países desenvolvidos na geração de inovações em energias solar e eólica como em Jaffe e Trajtenberg (1999).

Em relação ao modelo (2), foram utilizadas estimativas similares ao modelo principal (1), porém, com a adesão de uma variável interativa entre capital humano e *dummy* de desenvolvimento, onde a variável mostra o efeito das observações de países desenvolvidos em comparação com os países em desenvolvimento. A *dummy* interativa mostra o efeito médio diferencial em relação à categoria de base em que a *dummy* é igual a zero (países em desenvolvimento).

²⁴ A variável utilizada para este modelo é referente a taxa bruta de matrícula no ensino superior, porém, foram testadas outras variáveis como *proxy* de capital humano, como: gastos totais com educação (com *missing* de apenas 6,60%), mas não foram encontrados resultados consistentes. Acredita-se que esta variável não capta adequadamente o capital humano, pois refere-se à educação em todos os níveis. Foram testados também o nível de escolaridade com bacharelado (85,74% de *missing*), ensino superior/técnico (com 80,43% de *missing*), mestrado (83,09% de *missing*) e doutorado (55,85% de observações *missing*). Devido à alta proporção de *missing*, nenhuma destas variáveis pôde ser mantida no modelo.

A análise de regressão revela que todas as variáveis, taxa de patentes do período anterior (*InPatentes*), citações de patentes, citações à literatura não patentária (NPL) e pesquisa e desenvolvimento, são significativas e positivas, sendo muito similares ao obtido no modelo (1). Os resultados confirmam o caráter path dependente da inovação e a importância do investimento em pesquisa e desenvolvimento para a geração de inovações nas energias solar e eólica. As citações às patentes e à literatura NPL de outros países permanecem altamente significativas, mostrando que um aumento de 1% nestas citações leva a um aumento de 0,24% e 0,26% na taxa de patentes em energia solar e eólica, confirmando a importância dos transbordamentos internacionais do conhecimento para a geração de inovações nestas tecnologias. A variável capital humano permanece não significativa, mas a variável interativa entre capital humano e *dummy* de desenvolvimento revelou-se positiva e significativa a 10%. Esta *dummy* interativa destaca o efeito diferencial do capital humano em países desenvolvidos em comparação com países em desenvolvimento. Especificamente, enquanto o capital humano sozinho não é significativo, sua interação com a *dummy* sugere que em países desenvolvidos, um aumento no capital humano pode levar a um aumento mais evidente na taxa de patentes.

A variável *dummy* de desenvolvimento é altamente significativa assim como no modelo (1), indicando que os países desenvolvidos, em média, têm um número significativamente maior de patentes em comparação com países em desenvolvimento.

O modelo (3) separa o efeito das citações de patentes de acordo com a origem das patentes citadas. As citações foram separadas em citações a patentes que foram depositadas em países desenvolvidos e citações a patentes que foram depositadas em países em desenvolvimento. Observa-se que as demais variáveis apresentam o mesmo sinal e nível de significância dos modelos (1) e (2), indicando a robustez dos achados. O coeficiente da variável que representa as citações a patentes originadas em países desenvolvidos é positivo e altamente significativo, enquanto o coeficiente das citações de patentes originárias de países em desenvolvimento revelou-se não significativo. Um aumento de 1% nas citações de patentes que foram depositadas em países desenvolvidos contribui com um aumento de 0,23% na taxa de patenteamento em energias solar e eólica. Alinhando a teoria, isso expressa que os países desenvolvidos apresentam inovações de maior

qualidade e, portanto, suas patentes têm maior potencial de serem citadas (*forward citations*) do que as patentes depositadas nos países em desenvolvimento. Este resultado indica que o conhecimento técnico codificado nas patentes dos países desenvolvidos transborda para outros países contribuindo para a geração de inovações em energias solar e eólica de outros países, inclusive países em desenvolvimento. Por outro lado, não há evidências de que o conhecimento gerado nos países em desenvolvimento transborde para outros países e que contribua para inovações relacionadas a estas fontes de energia.

Enquanto as patentes de países desenvolvidos são frequentemente citadas e influentes, as patentes de países em desenvolvimento não têm o mesmo nível de impacto.

O modelo (4) replica o modelo (1), porém utilizando a média móvel trienal das patentes. O uso da média móvel trienal oferece uma forma de suavizar os dados de patentes conforme Blundell e Bond (1998), uma vez que são muito erráticos de um ano para outro, principalmente nos países em desenvolvimento, nos quais o número de patentes é menor e mais instável. Além disso, ela oferece uma visão mais robusta e menos sujeita a flutuações anuais, permitindo uma análise mais estável da tendência de inventividade. A variável dependente defasada do lado direito é positiva e altamente significativa, indicando que um aumento de 1% na média trienal das patentes defasadas está associado a um aumento de aproximadamente 0,483% na taxa de patentes no modelo. Assim como nos modelos anteriores, corrobora-se a característica *path dependent* da inovação.

As variáveis citações de patentes de outros países e citações à literatura NPL são positivas e altamente significativas, da mesma forma que em todos os modelos anteriores, indicando a robustez dos resultados encontrados.

Assim como nos demais modelos, o coeficiente de pesquisa e desenvolvimento é positivo e altamente significativo. Os gastos com pesquisa e desenvolvimento (P&D) indicam a capacidade de absorção de conhecimento e também o insumo do conhecimento capaz de gerar conhecimento internamente em um país. O coeficiente encontrado mostra que um aumento de 1% nas despesas em P&D está associado a um aumento de aproximadamente 0,495% na taxa de patentes. Representando uma alta elasticidade, apontando que a geração de conhecimento interno e a absorção de conhecimento, mediada pelo investimento em P&D, é um fator muito relevante para promover o aumento das patentes.

O Capital humano²⁵, por sua vez, é positivo e significativo a um nível de significância de 10%. Isso significa que a variável tem uma relação positiva e significativa com a taxa de patentes. O capital humano é utilizado no modelo como um indicador da capacitação da força de trabalho, indicando principalmente que investimentos em educação e o nível de instrução da força de trabalho são fundamentais para promover a inovação em energias eólica e solar.

Os resultados encontrados em todos os modelos da tabela 7 são similares no que tange às variáveis de interesse. Todos os modelos estimados se mostraram significantes globalmente, com testes AR(1), AR(2) e Hansen atendendo aos requisitos de inexistência de correlação serial de primeira ordem nos resíduos, existência de correlação serial de segunda ordem e todos os teste (J) adquiriram valores como indicados pela literatura (superiores a 0,25%). Os achados apresentados mostram que o conhecimento codificado nas patentes e na bibliografia não patentária transborda entre países e contribui para a geração de inovações relacionadas às energias solar e eólica em outros países. Os investimentos em P&D são fundamentais para fomentar as inovações nestas tecnologias, tanto por gerar conhecimento interno quanto por formar capacidade de absorção de conhecimento externo. Além disso, observou-se também que os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelo transbordamento internacional do conhecimento utilizado na geração de inovações relacionadas às energias solar e eólica.

²⁵ Para esta estimação especificamente foi utilizado como *proxy* para capital humano os gastos governamentais com educação. Assim como no modelo (1), foram testados diversas outras variáveis, incluindo a taxa bruta de matrícula no ensino superior, entretanto, não foram encontrados resultados significativos.

6 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

O presente trabalho possuiu como o principal objetivo compreender o efeito dos transbordamentos internacionais do conhecimento sobre a inovação em energias solar e eólica dos países da OCDE e seus parceiros comerciais. Com este propósito foi feita a análise da influência das citações de patentes para mensurar a transferência de conhecimento entre diferentes regiões e países. Para isso foi utilizada a abordagem de estimação por meio de painel dinâmico. A abordagem adotada permitiu identificar as principais fontes e destinos desses fluxos de conhecimento, assim como avaliar o impacto desses transbordamentos na produção deecoinovações voltadas ao setor energético. Ainda, por meio dos objetivos secundários, foi possível estabelecer uma comparação entre os efeitos dos transbordamentos de conhecimento provenientes de países desenvolvidos e de países em desenvolvimento, com foco nas ecoinovações desenvolvidas no campo das energias solar e eólica. Contribuindo para evidenciar as diferenças no impacto dos transbordamentos sobre a inovação tecnológica em contextos econômicos distintos.

Os resultados deste trabalho corroboram com a literatura ao evidenciar que patentes e citações de patentes são ferramentas eficazes para analisar os fluxos de conhecimento e seus impactos na inovação, promovendo a intensificação da difusão de inovações, no campo das energias solar e eólica.

Os resultados obtidos confirmam a importância do conhecimento codificado e da literatura não patentária (NPL) para o estímulo da inovação no setor das tecnologias renováveis. Inicialmente, as citações a patentes originárias de outros países se expressaram altamente significativas, evidenciando que o conhecimento tecnológico transborda entre fronteiras, influenciando positivamente a geração de novas inovações em energias renováveis. Isso retrata a importância dos transbordamentos internacionais do conhecimento, pois indica que a inovação tecnológica em um país pode ser potencializada pelo conhecimento externo. Da mesma forma, as citações à literatura não patentária também demonstraram um efeito positivo e significativo sobre a taxa de patentes.

Os resultados englobam, também, a importância da difusão tecnológica por meio do transbordamento de conhecimento entre diferentes níveis de países, em

que, foram considerados países desenvolvidos, e em ascensão dentro do grupo de parceiros comerciais e constituintes da OCDE. A comparação entre os transbordamentos provenientes de países desenvolvidos e em desenvolvimento revelou que apenas as patentes originadas em países desenvolvidos possuem um impacto significativo e positivo sobre a inovação em outros países. Esse resultado sugere que o conhecimento gerado pelas patentes em países mais avançados tecnologicamente possui maior potencial de influenciar a inovação global, enquanto as patentes dos países em desenvolvimento não apresentam o mesmo efeito, possivelmente devido a diferenças na qualidade das inovações ou na infraestrutura de absorção de conhecimento.

Em relação a limitações, o estudo enfrentou desafios relacionados à qualidade e disponibilidade dos dados, especialmente no que diz respeito à *proxy* utilizada para capital humano, que se mostrou não significativa em diversos modelos. Embora esta estratégia adotada traga informações importantes acerca do efeito do nível de escolaridade e sua contribuição para o desenvolvimento de inovações, ela não permitiu identificar dentro do recorte temporal proposto seu efeito na capacidade inovativa de cada um dos países. Um dos motivos possíveis para que o capital humano não tenha se mostrado significativo para a estimação se trata de uma variável que é analisada a longo prazo, portanto, necessita de um maior horizonte temporal para visualizar seus efeitos no contexto analisado. Uma segunda justificativa para a não significância do Capital Humano pode ser explanada por uma possível baixa capacidade de absorção de alguns países, a capacidade de absorção como dito anteriormente é formada por meio das atividades de P&D, dessa forma, para estudos posteriores sugere-se não apenas a ministração de variáveis interativas entre Capital Humano e P&D, mas também, a exploração de outras variáveis que possam capturar melhor a relação entre capital humano e inovação.

Ademais, se recomenda a ampliação da base de dados para incluir patentes mais recentes, a aplicação de um recorte temporal distinto, e também, a análise de outros setores tecnológicos, seja por meio da ampliação das classes de patentes, ou por meio de uma análise das famílias de patentes selecionadas no presente estudo. Além disso, também se propõe a análise dos setores tecnológicos de energia solar e eólica separadamente, em suma, estas sugestões poderiam trazer tanto compreensões adicionais sobre os transbordamentos de conhecimento em cada

tecnologia, como resolver o problema das limitações encontradas na variável de Capital Humano.

Os resultados encontrados neste estudo contribuem para a literatura sobre ecoinovações ao permitir a compreensão dos transbordamentos de conhecimento entre países. Foi mostrado que existe uma certa dependência das inovações geradas em países desenvolvidos para que haja desdobramentos de inovações sustentáveis em países em desenvolvimento. É válido destacar também que, este trabalho contribui no mapeamento dos “rastros de papel” de Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1993), em que foi feita uma análise das ecoinovações por meio do conhecimento registrado em patentes e literatura não patenteada. Dessa forma, é importante frisar os mecanismos que mais auxiliam no desdobramento do conhecimento e de novas tecnologias. Por meio de determinada compreensão é possível promover uma maior difusão do conhecimento agregado em energias eólica e solar e conseqüentemente aumentar o crescimento, capacidade tecnológica e o desenvolvimento econômico dos países.

A fim de estimular a inovação tecnológica, as políticas públicas devem priorizar a criação de redes de colaboração que conectem inventores de diferentes regiões. A organização de eventos como feiras tecnológicas, workshops e congressos, além de programas de capacitação e visitas técnicas, pode facilitar a transferência de conhecimento, a identificação de oportunidades de negócios e o desenvolvimento de projetos colaborativos. Essas ações são fundamentais para fortalecer o ecossistema de inovação e impulsionar o desenvolvimento de novas tecnologias.

Recomenda-se ainda, a investigação do papel de políticas específicas de incentivo à inovação em energias renováveis, como postulado em Ekins (2010), é necessário que os países voltem maiores esforços nos processos de ecoinovação internamente para que se atinjam melhorias no desempenho ambiental. Ademais, é fundamental que principalmente os países mais poluidores sejam protagonistas na adoção de tecnologias limpas e implementem políticas que façam uma aceleração dos setores voltados a energias renováveis, especialmente os que contemplam o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono, sendo um passo essencial para a redução das emissões de GEE (Barbieri; Consoli; Perruchas, 2020).

Por fim, com base nos resultados obtidos deste estudo, recomenda-se que os formuladores de políticas promovam investimentos em pesquisa e desenvolvimento

(P&D) como estratégia para aumentar a capacidade de absorção de conhecimento externo e estimular a inovação interna em energias renováveis. Determinados fatores são essenciais para a promoção da inovação, nesse sentido, é importante a ministração de políticas públicas que contemplem não apenas a ampliação de centros de pesquisa e de universidades, mas também, mecanismos que tragam um diálogo entre universidade e mercado de trabalho, de forma que estes conhecimentos sejam mais facilmente transmitidos.

REFERÊNCIAS

- ACS, Z. J.; ANSELIN, L.; VARGA, A. Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge. **Research Policy**, v. 31, n. 7, p. 1069-1085, 2002.
- ADAMS, J.; JAFFE, A. Limitando os efeitos de P&D: uma investigação usando empresa-estabelecimento combinado de dados. **RAND Journal of Economics**, v. 27, n. 4, p. 700-721, 1996.
- AGRAWAL, A.; HENDERSON, R. Putting patents in context: exploring knowledge transfer from MIT. **Management Science**, v. 48, n. 1, p. 44-60, 2002.
- ALBINO, V.; KANAS, A.; SALVINI, A. Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: a patent analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 87, p. 257-267, 2014.
- ALCÁCER, J.; GITTELMAN, M. Patent citations as a measure of knowledge flows: the influence of examiner citations. **The Review of Economics and Statistics**, v. 88, n. 4, p. 774-779, 2006.
- ALMEIDA, P.; KOGUT, B. Localization of knowledge and the mobility of engineers in regional networks. **Management Science**, v. 45, n. 7, p. 905-917, 1999.
- ANEEL. **Fontes de energia**. Banco de Informações de Geração (SIGA). Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 17 out. 2023.
- APAJALAHTI, E.; KUNGL, G. Path dependence and path break-out in the electricity sector. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 43, p. 220-236, 2022.
- ARELLANO, M.; BOVER, O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. **Journal of Econometrics**, v. 68, n. 1, p. 29-51, 1995.
- ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **Review of Economic Studies**, v. 58, n. 2, p. 277-297, 1991.
- ARTHUR, W. B. The structure of invention. **Research Policy**, v. 36, n. 2, p. 274-287, 2007.
- AUDRETSCH, D. B.; FELDMAN, M. P. Knowledge spillovers and the geography of innovation. In: HENDERSON, J. V.; THISSE, J. F. (ed.). **Handbook of Urban and Regional Economics**. Amsterdã: Elsevier, 2004. v. 4, p. 2713-2739.

BARBIERI, N.; CONSOLI, D.; PERRUCHAS, F. The geography of green technological invention: a life cycle perspective. *In: ELGAR, Edward (org.). Chapters*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2023.

BARBIERI, F.; MARZUCCHI, A.; RIZZO, U. Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: do green technologies differ from non-green ones? **Research Policy**, Elsevier, v. 49, n. 2, 2020.

BARBOSA, D. B. El comercio de tecnología: aspectos jurídicos, transferencia, licencia y "know how". **Revista de Derecho Industrial**, Buenos Aires, n. 30, 1988.

BATISTA, L.; GONG, Y.; PEREIRA, S.; JIA, F.; BITTAR, A. Circular supply chains in emerging economies: a comparative study of packaging recovery ecosystems in China and Brazil. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 23, p. 7248-7268, 2019.

BELENZON, S. **Basic research and sequential innovation**. London, UK: London School of Economics and Political Science, 2006.

BELKE, A.; DOBNIK, F.; DREGER, C. Energy consumption and economic growth: new insights into the cointegration relationship. **Energy Economics**, Amsterdã, v. 33, n. 5, p. 782-789, 2011.

BENSON, C. L.; MAGEE, C. L. Quantitative determination of technological improvement from patent data. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, e0121635, 2015.

BOSETTI, V.; CARRARO, C.; MASSETTI, E.; TAVONI, M. International energy R&D spillovers and the economics of greenhouse gas atmospheric stabilization. **Energy Economics**, v. 30, n. 6, p. 2912-2929, nov. 2008.

BLUNDELL, R.; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. **Journal of Econometrics**, v. 87, n. 1, p. 115-143, 1998.

BRESCHI, S.; LISSONI, F. Mobility of skilled workers and co-invention networks: an anatomy of localized knowledge flows. **Journal of Economic Geography**, v. 9, n. 4, p. 439-468, 2009.

BUONANNO, P.; CARRARO, C.; GALEOTTI, M. Endogenous induced technical change and the costs of Kyoto. **Resource and Energy Economics**, v. 25, n. 1, p. 11-34, 2003.

CARLINO, G.; KERR, W. Agglomeration and innovation. *In: DURANTON, G.; HENDERSON, J. V.; STRANGE, W. C. (ed.). Handbook of Regional and Urban Economics*. 1. ed. Amsterdã: Elsevier, 2015. v. 5, p. 349-404.

CARPENTER, M. P.; NARIN, F. The adequacy of the Science Citation Index (SCI) as an indicator of international scientific activity. **Czechoslovak Journal of Physics**, v. 36, n. 5, p. 663-666, 1986.

CARRILLO-HERMOSILLA, J.; DEL RIO, P.; KONNOLA, T. Diversity of eco-innovations: reflections from selected case studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, 2010.

CHANDRA, P., DONG, A. The relation between knowledge accumulation and technical value in interdisciplinary technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, [s. l.], v. 128, p. 235-244, Mar. 2018.

CHEN, L. Do patent citations indicate knowledge linkage? The evidence from text similarities between patents and their citations. **Journal of Informetrics**, v. 11, p. 63-79, 2017.

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n. 1, p. 128, 1990.

COLLINS, P.; WYATT, S. Citations in patents to the basic research literature. **Research Policy**, v. 17, n. 2, p. 65-74, 1988.

COTROPIA, C. A.; LEMLEY, M. A.; SAMPAT, B. Do applicant patent citations matter? **Research Policy**, v. 42, n. 4, p. 844-854, 2013.

CRISCUOLO, P.; VERSPAGEN, B. Does it matter where patent citations come from? Inventor vs. examiner citations in European patents. **Research Policy**, v. 37, p. 1892-1908, 2008.

DAVID, P. Path dependence: a foundational concept for historical social science. **Cliometrica, Journal of Historical Economics and Econometric History**, v. 1, p. 91-114, 2007.

ESPAENET PATENT SEARCH. **Cooperative Patent Classification**. [2019]. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP. Acesso em: 17 out. 2023.

FERNANDEZ, A.; FERRÁNDIZ, E.; MEDINA, J. The diffusion of energy technologies: evidence from renewable, fossil, and nuclear energy patents. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 178, p. 121566, 2022.

FERREIRA, L. F.; SANTANA, J. J. R. D.; RAPINI, M. S.; MOURA, F. R. D. Financiamento à pesquisa em energia renovável no Brasil: uma análise a partir do Fundo Setorial de Energia. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 32, n. 1, p. 157-182, 2022.

FELDMAN, M. P. **The geography of innovation**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.

FELDMAN, M. P. The internet revolution and the geography of innovation. **International Social Science Journal**, v. 54, p. 47-56, 2002.

FISCHER, T.; LEIDINGER, J. Testing patent value indicators on directly observed patent value: an empirical analysis of Ocean Tomo patent auctions. **Research Policy**, Amsterdã, v. 43, n. 3, p. 519-529, 2014.

GARFIELD, E. Citation indexes for science: a new dimension in documentation through association of ideas. **Science**, v. 122, n. 3159, p. 108-111, 1955.

GAY, C.; LE BAS, C. Uses without too many abuses of patent citations or the simple economics of patent citations as a measure of value and flows of knowledge. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 14, n. 5, p. 333-338, 2005.

GERTLER, M. S. Tacit knowledge and the economic geography of context, or the undefinable tacitness of being (there). **Journal of Economic Geography**, v. 3, n. 1, p. 75-99, 2003.

GLÄNZEL, W.; SCHUBERT, A. Analysing scientific networks through co-authorship. *In*: MOED, H.; GLÄNZEL, W.; SCHMOCH, U. (ed.). **Handbook of quantitative science and technology research**. Netherlands: Springer, 2005. p. 257-276.

GLOBAL CARBON PROJECT. **Dados de emissões globais de carbono**. [2024]. Our World in Data. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>. Acesso em: 23 ago. 2024.

GRILICHES, Z. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. **Bell Journal of Economics**, v. 10, p. 92-116, 1979.

GRILICHES, Z. Patent statistics as economic indicators: a survey. **Journal of Economic Literature**, v. 28, n. 4, p. 1661-1707, 1990.

GRILICHES, Z. The search for R&D spillovers. **Scandinavian Journal of Economics**, v. 94, p. 29-47, 1992.

GUI, B.; LIU, Y.; JU, Y.; YE, X. Disruptive innovation patterns driven by mega-projects: a sustainable development pattern case of China's high-speed rail. **Sustainability**, MDPI, v. 10, n. 4, p. 1-17, abril 2018.

HALL, B. H.; JAFFE, A. B.; TRAJTENBERG, M. The NBER patent citations data file: lessons, insights and methodological tools. **NBER Working Paper**, n. 8498, 2001.

HALL, B. H.; HELMERS, C. Innovation and diffusion of clean/green technology: can patent commons help? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 66, n. 1, p. 33-51, 2013.

HALL, B. H.; TRAJTENBERG, M. Uncovering GPTs using patent data: new insights into general-purpose technologies. **New Frontiers in the Economics of Innovation and New Technology**, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, v. 1, 2006.

HU, M. C.; JAFFE, A. B. **Patent citations and international knowledge flow: the cases of Korea and Taiwan**. 2003.

IPIRANGA, A. S. R.; GODOY, A. S.; BRUNSTEIN, J. Introdução. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 13-20, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-69712011000300002>. Acesso em: 22 ago. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Technology Perspectives 2020**. Paris, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Acesso em: 24 jan. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. Cambridge Press: [s. n.], 2007.

IRENA. **Renewable Capacity Statistics**. 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>. Acesso em: 17 out. 2023.

IRENA. **Data and Statistics**. 2020. Disponível em: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/>. Acesso em: 28 ago. 2023.

JAFFE, A. Technological opportunity and spillovers of R&D: evidence from firms' patents, profits, and market value. **American Economic Review**, v. 76, n. 5, p. 984-1001, 1986.

JAFFE, A. B.; TRAJTENBERG, M.; HENDERSON, R. Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations. **The Quarterly Journal of Economics**, 1993.

JAFFE, A. B.; TRAJTENBERG, M. International knowledge flows: Evidence from patent citations. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 8, n. 1-2, p. 105-136, 1999.

JAFFE, A. B.; TRAJTENBERG, M.; FOGARTY, M. S. The meaning of patent citations: Report on the NBER/Case-Western Reserve survey of patentees. **NBER Working Papers**, n. 7631, 2000.

JAFFE, A. B.; TRAJTENBERG, M. **Patents, citations, and innovations: a window on the knowledge economy**. Cambridge: MIT Press, 2002.

JAFFE, A.B.; RASSENFOSSE, G. Patent citation data in social science research: overview and best practices. **NBER Working Papers**, Cambridge, n. 21868, Jan. 2016.

KAPOOR, R.; *et al.* Patent citations as determinants of grant and opposition: Case of European wind power industry. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 28, n. 8, p. 950-964, 2016.

KATZ, J. S. The self-similar science system. **Research Policy**, v. 28, n. 5, p. 501-517, 1999.

KELLER, W. Trade and the transmission of technology. **Journal of Economic Growth**, v. 7, n. 1, p. 5-24, mar. 2002.

KELLER, W. International technology diffusion. **Journal of Economic Literature**, v. 42, n. 3, p. 752-782, 2004.

KRUGMAN, Paul. Increasing returns and economic geography. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 99, n. 3, p. 483-499, 1991.

KIM, D.-H.; LEE, B. K.; SOHN, S. Quantifying technology–industry spillover effects based on patent citation network analysis of unmanned aerial vehicle (UAV). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 105, p. 140-157, 2016.

KIM, Y. J. The countervailing effects of stocks of knowledge on low-carbon innovation through international collaboration. **Energy Policy**, v. 170, p. 113217, 2022.

KUMAR, Y.; RINGENBERG, J.; DEPURU, S. S.; DEVABHAKTUNI, V. K.; LEE, J. W.; NIKOLAIDIS, E.; ANDERSEN, B.; AFJEH, A. Wind energy: Trends and enabling technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 209-224, 2016.

LAMPE, R. Strategic citation. **The Review of Economics and Statistics**, v. 94, n. 1, p. 320-333, 2012.

LEE, K.; LEE, S. Patterns of technological innovation and evolution in the energy sector: A patent-based approach. **Energy Policy**, v. 59, p. 415-432, 2013.

LEE, J.; SOHN, S. Y. What makes the first forward citation of a patent occur earlier? **Scientometrics**, v. 113, n. 7, 2017.

LI, D.; HEIMERIKS, G.; ALKEMADE, F. The emergence of renewable energy technologies at country level: Relatedness, international knowledge spillovers, and domestic energy markets. **Industry and Innovation**, v. 27, n. 9, p. 991-1013, out. 2020.

LIST, J. An A to X of patent citations for searching. *World Patent Information*, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 306- 312, Dec. 2010.

LUCON, J.; GOLDEMBERG, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 60, p. 51-68, 2007.

MANCUSI, M. L. International spillovers and absorptive capacity: A cross-country cross-sector analysis based on patents and citations. **Journal of International Economics**, v. 76, n. 2, p. 155-165, 2008.

MARAUT, S. *et al.* **The OECD regpat database: a presentation**. 2008.

Disponível em:

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2008/06/the-oecd-regpat-database_g17a1aca/241437144144.pdf Acesso em: 3 nov, 2024.

MAURSETH, P.; VERSPAGEN, B. Knowledge spillovers in Europe: a patent citations analysis. **The Scandinavian Journal of Economics**, v. 104, n. 4, p. 607-624, 2002.

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

MEADOWS, D. H. *et al.* **The limits to growth**. New York: Universe Books, 1972.

MEYER, M. O que há de especial nas citações de patentes? Diferenças entre citações científicas e de patentes. **Cientometria**, v. 49, p. 93-123, 2000.

NAGAOKA, S., MOTOHASHI, K., GOTO, A. Patent statistics as an innovation indicator. *In*: HALL, B. H.; ROSENBERG, N. **Handbook of the Economics of Innovation**. [S. l. : s. n.], 2010. v. 2, cap. 25, p. 1083-1127.

NEGRI, F. **Novos caminhos para a inovação no Brasil**. Brasília, DF: IPEA, 2018.

NEMET, G. F. Inter-technology knowledge spillovers for energy technologies. **Energy Economics**, v. 34, n. 5, p. 1259-1270, 2012.

NOAILLY, J.; SHESTALOVA, V. **Knowledge spillovers from renewable energy technologies**: lessons from patent citations. 2013. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/cpb/discus/262.html>. Acesso em: 14 ago. 2024.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação do conhecimento na empresa**: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo**: proposta de diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. 3. ed. Paris: OCDE, 2004. Disponível em: <https://www.oecd.org/innovation/inno/2367580.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Patent Statistics Manual**. Paris: OECD, 2009.

PERI, G. Determinants of knowledge flows and their effect on innovation. **The Review of Economics and Statistics**, v. 87, n. 2, p. 308-322, 2005.

POLANYI, M. **The tacit dimension**. London: Routledge & Kegan Paul, 1967.

ROODMAN, D. How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. **Stata Journal**, v. 9, n. 1, p. 86-136, mar. 2009.

ROMER, P. M. Endogenous Technological Change. **Journal of Political Economy**, v. 98, n. 5, p. 71-102, 1990.

ROWLING, J. K. **Harry Potter e o Enigma do Príncipe**. Tradução de Lia Wyler. Rio de Janeiro: Rocco, 2005.

SACHS, I. Repensando o crescimento econômico e o progresso social: o âmbito da política. In: ARBIX, G. *et al.* (org.). **Razões e ficções do desenvolvimento**. São Paulo: Editora Unesp/Edusp, 2001. p. 35-50.

SCHERER, F. M. **Innovation and Growth**. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

SCHNEIDER, F.; KALLIS, G.; MARTINEZ-ALIER, J. Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 6, p. 511-518, Apr. 2010.

SCHUMPETER, J. A. **Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process**. New Haven, CT: Yale University Press, 1939.

SILVA, L. F.; OLIVEIRA, V. Renewable energy in Brazil: Status, challenges, and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 103-112, 2015.

SINGH, J. Distributed R&D, cross-regional knowledge integration and quality of innovative output. **Research Policy**, v. 37, n. 1, p. 77-96, 2008.

TRAJTENBERG, M. A penny for your quotes: patent citations and the value of innovations. **RAND Journal of Economics**, v. 21, n. 1, p. 172-187, 1990.

USHER, A. **A history of mechanical inventions**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1929.

VERSPAGEN, B., MAURSETH, P. **Knowledge spillovers in Europe and its consequences for systems of innovation**. 1998. Disponível em: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/1591601/521014.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

VON HIPPEL, E. Sticky information and the locus of problem solving: implications for innovation. **Management Science**, v. 40, p. 429-439, 1994.

WAGNER, C. S.; LEYDESDORFF, L. Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration science. **Research Policy**, v. 34, n. 10, p. 1608-1618, 2005.

WEBB, C., DERNIS, H., HARHOFF, D., HOISL, K. **Analysing European and international patent citations: a set of EPO patent database building blocks**. Paris: OECD, 2005.

ZHANG, Y.; LI, Y.; HUANG, J. Development of renewable energy in China: Current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1890-1900, 2018.

ZUCKER, L. G.; DARBY, M. R. Star scientists and institutional transformation: Patterns of invention and innovation in the formation of the biotechnology industry. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 26, p. 10081-10086, 2007.

APÊNDICE A – Classificação dos Códigos CPC para Energias Solar e Eólica

Quadro 1 - Códigos utilizados para construção do banco de dados relativos a energia solar e eólica por meio do código CPC

Código CPC	Descrição
Y02E 10/40	Energia solar térmica, por exemplo, torres solares
Y02E 10/44	Sistemas de troca de calor
Y02E 10/46	Conversão de energia térmica em energia mecânica, por exemplo, motores Rankine, Stirling ou solares térmicos
Y02E 10/50	Energia fotovoltaica [PV]
Y02E 10/52	Sistemas fotovoltaicos com concentradores
Y02E 10/541	Células fotovoltaicas de material CuInSe ₂
Y02E 10/542	Células solares sensibilizadas por corante
Y02E 10/543	Células solares de materiais do Grupo II-VI
Y02E 10/544	Células solares de materiais do Grupo III-V
Y02E 10/545	Células fotovoltaicas de silício microcristalino
Y02E 10/546	Células fotovoltaicas de silício policristalino
Y02E 10/547	Células fotovoltaicas de silício monocristalino
Y02E 10/548	Células fotovoltaicas de silício amorfo
Y02E 10/549	Células fotovoltaicas orgânicas
Y02E 10/60	Híbridos térmico-fotovoltaicos
Y02E 10/70	Energia eólica
Y02E 10/72	Turbinas eólicas com eixo de rotação na direção do vento
Y02E 10/727	Turbinas eólicas offshore
Y02E 10/728	Turbinas eólicas terrestres
Y02E 10/74	Turbinas eólicas com eixo de rotação perpendicular a direção do vento
Y02E 70/30	Sistemas que combinam armazenamento de energia com geração de energia de origem não fóssil

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B – Estimações Alternativas com Variações nos Lags por System Gmm (2000-2019)

Tabela 1 - Estimações alternativas com variações nos lags por System Gmm – 2000 a 2019

Variável dependente: <i>ln(Patentes)</i>	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>lnPatentes</i>	0,207** (0,014)	0,207** (0,017)	0,351** (0,016)	0,355** (0,012)
<i>lnMédia das citações de patentes</i>	0,221 (0,002)	0,210 (0,002)	0,232 (0,000)	0,231 (0,000)
<i>lnMédia de citações NPL</i>	0,243 (0,000)	0,244 (0,000)	0,248 (0,000)	0,247 (0,000)
<i>lnPesquisa e desenvolvimento(t-1)</i>	0,996 (0,000)	0,991 (0,000)	0,761 (0,004)	0,752 (0,002)
<i>lnCapital Humano(t-1)</i>	0,269 (0,516)	0,288 (0,437)	0,145 (0,701)	0,168 (0,643)
<i>dummy de desenvolvimento</i>	0,921** (0,082)	0,903** (0,055)	0,851** (0,081)	0,868** (0,060)
Constante	-2,508 (0,000)	-2,464 (0,000)	-2,268 (0,000)	-2,275 (0,000)
Observações	412	412	412	412
Número de Grupos	40	40	40	40
Número de Instrumentos	31	33	31	32
Número de Lags utilizados como instrumentos	2 e 3	2 e 5	3 e 4	3 e 5
Dummies de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Teste F	0,000	0,000	0,000	0,000
AR (1)	0,002	0,002	0,009	0,007
AR (2)	0,636	0,651	0,428	0,419
Teste Hansen	0,350	0,516	0,524	0,636

p-valor entre parênteses ****p* < 0,01 ***p* < 0,05 **p* < 0,1

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO A – SISTEMA COMPLETO DE CLASSIFICAÇÕES CPC

CPC	COOPERATIVE PATENT CLASSIFICATION	
Y	GENERAL TAGGING OF NEW TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS; GENERAL TAGGING OF CROSS-SECTIONAL TECHNOLOGIES SPANNING OVER SEVERAL SECTIONS OF THE IPC; TECHNICAL SUBJECTS COVERED BY FORMER USPC CROSS-REFERENCE ART COLLECTIONS [XRACs] AND DIGESTS	
	<i>(NOTES omitted)</i>	
Y02	TECHNOLOGIES OR APPLICATIONS FOR MITIGATION OR ADAPTATION AGAINST CLIMATE CHANGE	
	<i>(NOTES omitted)</i>	
Y02E	REDUCTION OF GREENHOUSE GAS [GHG] EMISSIONS, RELATED TO ENERGY GENERATION, TRANSMISSION OR DISTRIBUTION	
10/00	Energy generation through renewable energy sources	reactors 30/30. Nuclear fission reactors
10/10	. Geothermal energy	
10/20	. Hydro energy	
10/30	. Energy from the sea, e.g. using wave energy or salinity gradient	
10/40	. Solar thermal energy, e.g. solar towers	
10/44	. . Heat exchange systems	
10/46	. . Conversion of thermal power into mechanical power, e.g. Rankine, Stirling or solar thermal engines	
10/47	. . Mountings or tracking	
10/50	. Photovoltaic [PV] energy	
10/52	. . PV systems with concentrators	
10/541	. . CuInSe ₂ material PV cells	
10/542	. . Dye sensitized solar cells	
10/543	. . Solar cells from Group II-VI materials	
10/544	. . Solar cells from Group III-V materials	
10/545	. . Microcrystalline silicon PV cells	
10/546	. . Polycrystalline silicon PV cells	
10/547	. . Monocrystalline silicon PV cells	
10/548	. . Amorphous silicon PV cells	
10/549	. . Organic PV cells	
10/56	. . Power conversion systems, e.g. maximum power point trackers	
10/60	. Thermal-PV hybrids	
10/70	. Wind energy	
10/72	. . Wind turbines with rotation axis in wind direction	
10/727	. . Offshore wind turbines	
10/728	. . Onshore wind turbines	
10/74	. . Wind turbines with rotation axis perpendicular to the wind direction	
10/76	. . Power conversion electric or electronic aspects	
20/00	Combustion technologies with mitigation potential	
20/12	. Heat utilisation in combustion or incineration of waste	
20/14	. Combined heat and power generation [CHP]	
20/16	. Combined cycle power plant [CCPP], or combined cycle gas turbine [CCGT]	
20/18	. . Integrated gasification combined cycle [IGCC], e.g. combined with carbon capture and storage [CCS]	
20/30	. Technologies for a more efficient combustion or heat usage	
20/32	. Direct CO ₂ mitigation	
20/34	. Indirect CO ₂ mitigation, i.e. by acting on non CO ₂ directly related matters of the process, e.g. pre-heating or heat recovery	
30/00	Energy generation of nuclear origin	
30/10	. Nuclear fusion	
40/00	Technologies for an efficient electrical power generation, transmission or distribution	
40/10	. Flexible AC transmission systems [FACTS]	
40/20	. Active power filtering [APF]	
40/30	. Reactive power compensation	
40/40	. Arrangements for reducing harmonics	
40/50	. Arrangements for eliminating or reducing asymmetry in polyphase networks	
40/60	. Superconducting electric elements or equipment; Power systems integrating superconducting elements or equipment	
40/70	. Smart grids as climate change mitigation technology in the energy generation sector	
50/00	Technologies for the production of fuel of non-fossil origin	
50/10	. Biofuels, e.g. bio-diesel	
50/30	. Fuel from waste, e.g. synthetic alcohol or diesel	
60/00	Enabling technologies; Technologies with a potential or indirect contribution to GHG emissions mitigation	
60/10	. Energy storage using batteries	
60/13	. Energy storage using capacitors	
60/14	. Thermal energy storage	
60/16	. Mechanical energy storage, e.g. flywheels or pressurised fluids	
60/30	. Hydrogen technology	
60/32	. . Hydrogen storage	
60/34	. . Hydrogen distribution	
60/36	. . Hydrogen production from non-carbon containing sources, e.g. by water electrolysis	
60/50	. . Fuel cells	
60/60	. Arrangements for transfer of electric power between AC networks or generators via a high voltage DC link [HVCD]	
70/00	Other energy conversion or management systems reducing GHG emissions	
70/30	. Systems combining energy storage with energy generation of non-fossil origin	