

**UNIVERSIDADE MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
MESTRADO**

Sandra Collado Gonsales

EVOLUÇÃO DA INOVAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL: uma
análise com base em patentes e publicações científicas
dos casos da energia eólica e solar

**São Caetano do Sul
2020**

SANDRA COLLADO GONSALES

EVOLUÇÃO DA INOVAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL: uma
análise com base em patentes e publicações científicas
dos casos da energia eólica e solar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Municipal de São Caetano do Sul como requisito para a obtenção do título de Mestre (a) em Administração.

Área de concentração: Gestão e Regionalidade

Orientador: Prof. Dr. João Batista Pamplona

São Caetano do Sul

2020

Reitor da Universidade Municipal de São Caetano do Sul

Prof. Dr. Leandro Campi Prearo

Pró-reitora de Pós-graduação e Pesquisa

Profa. Dra. Maria do Carmo Romeiro

Gestor do Programa de Pós-graduação em Administração

Prof. Dr. Eduardo de Camargo Oliva (Gestor)

Prof. Dr. Milton Carlos Farina (Vice - gestor)

FICHA CATALOGRÁFICA

GONSALES, Sandra Collado

Evolução da inovação em energias renováveis no Brasil: uma análise com base em patentes e publicações científicas dos casos da energia eólica e solar/ Sandra Collado Gonsales – São Caetano do Sul - USCS, 2020.

126f.

Orientador: João Batista Pamplona

Dissertação (Mestrado) – USCS, Universidade Municipal de São Caetano do Sul, Programa de Mestrado em Administração, 2020.

1. Energia Eólica 2. Energia Solar 3. Inovação 4. Patentes 5. Análise de Patentes I. Título II. Universidade Municipal de São Caetano do Sul

Trabalho de pesquisa apreciado pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. João Batista Pamplona (orientador – (Universidade Municipal de São Caetano do Sul)

Prof. Dr. Marco Antonio Pinheiro da Silveira – (Universidade Municipal de São Caetano do Sul)

Prof. Dr. Roberto Carlos Bernardes – (Centro Universitário FEI)

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos aqueles que me acompanharam nesta jornada com muito carinho, em especial ao meu esposo, Marcelo Caetano, ao meu lado desde o início, apoiando e incentivando nas horas mais difíceis, sempre com muita paciência e compreensão. Dedico ao meu irmão Jose Antonio e ao meu cunhado Carlos Alberto, que me incentivaram a iniciar o mestrado, e por me fazerem acreditar que a realização deste sonho seria possível. Dedico também aos meus sogros, Alice Negri e Josias Caetano, por quem sinto a mais profunda admiração e gratidão. Dedico a minha mãe, que acreditou em mim ao meu lado em todos os momentos de minha vida, exemplo admirável de ser humano. Dedico a todos os meus familiares e amigos, por fazerem parte da minha vida.

Agradecimentos

Agradeço aos professores do Programa de Pós-graduação da Universidade Municipal de São Caetano do Sul pela dedicação, pela competência técnica, pelo estímulo nas disciplinas que me ajudaram muito nesta pesquisa. A todos os funcionários administrativos, que sempre me receberam e resolveram todas as minhas demandas e contribuíram para a realização da pesquisa de mestrado.

Agradeço aos meus colegas do programa de mestrado pelo companheirismo.

Agradeço ao Prof. Dr. Jefferson José da Conceição, que me apoiou para ingressar no mestrado, incentivando-me a participar dos projetos acadêmicos para meu aprimoramento.

Agradeço ao Prof. Dr. Antonio Fernando Gomes Alves, pela convivência em sala de aula, que tanto me inspirou com sua dedicação e motivação à docência.

Em especial, meus agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. João Batista Pamplona, que me aceitou como orientanda, pela dedicação e compreensão ao longo de toda a pesquisa, com seus ensinamentos e todo o apoio para superar o desafio da dissertação. A excelência de sua orientação e seu exemplo profissional são dignos de mais alta admiração.

Epígrafe

Antes do compromisso há hesitação,
a oportunidade de recuar,
a ineficácia permanente.
Em todo ato de iniciativa
(e de criação),
há uma verdade elementar
cujo desconhecimento destrói
inúmeras ideias e planos esplêndidos:
no momento em que nos comprometemos de fato,
a providência age também.
Ocorre toda espécie de coisas para nos ajudar,
coisas que de outro modo nunca ocorreriam.
Toda uma cadeia de eventos surge da decisão,
fazendo vir em nosso favor todo tipo de encontros,
de incidentes e de apoio material imprevistos
que ninguém poderia sonhar que viria em seu caminho.
Comece tudo o que pode fazer,
ou que sonha que pode fazer.
Há gênio, poder e magia na Ousadia.

Goethe

Gonsales, Sandra. **Evolução da inovação em energias renováveis no Brasil: uma análise com base em patentes e publicações científicas dos casos da energia eólica e solar.** Universidade Municipal de São Caetano do Sul. São Caetano do Sul, SP, 2020.

RESUMO

As energias eólica e solar constituem a solução para superar os desafios causados pela mudança climática. A transição de energias não renováveis para renováveis depende, visceralmente, do desenvolvimento de novas tecnologias. As inovações tecnológicas possibilitam reduzir o custo das energias renováveis, flexibilizam a produção, transmissão e consumo de energia. Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o desempenho relativo em inovações em energia eólica e solar do Brasil, de 2000 a 2017. Para tanto, foram utilizados procedimentos de análise de patentes e de bibliometria, o que permitiu descrever e analisar os dados coletados de patentes e de publicações. Por meio da análise das patentes, foram identificados os países e os depositantes mais atuantes e a área tecnológica para os dois tipos de energia; por meio da bibliometria, foram identificados os países com mais artigos publicados e os autores que mais publicaram em energia eólica e solar. Os resultados permitiram constatar que os depósitos de patentes em energia solar e eólica no Brasil não são relevantes quando comparados aos de outros países. Na eólica, a maior participação é da empresa alemã que tem interesse no mercado brasileiro; na solar, a participação de empresas é inexpressiva. Nas publicações científicas, os autores brasileiros têm participação irrelevante no total geral. A China desponta como país inovador.

Palavras-chave: Energia Eólica. Energia Solar. Inovação. Patentes. Análise de Patentes

Gonsales, Sandra. **Evolução da inovação em energias renováveis no Brasil: uma análise com base em patentes e publicações científicas dos casos da energia eólica e solar.** Universidade Municipal de São Caetano do Sul. São Caetano do Sul, SP, 2020.

ABSTRACT

Wind and solar energy are the solution to overcoming the challenges brought by climate change. The transition from non-renewable to renewable energies depends fundamentally on the development of new technologies. Technological innovations make it possible to reduce the cost of renewable energy and render production, transmission and energy consumption more flexible. This research aims to evaluate the relative performance in innovations in wind and solar energy in Brazil, from 2000 to 2017. For this purpose, procedures for the analysis of patents and bibliometrics were used, which allowed the description and analysis of the data collected from patents and publications. Through patent analysis, the most active countries and depositors and the technological area for both types of energy were singled out; through bibliometrics, the countries with the most published articles and the authors who most published in wind energy and solar energy were known. The results showed that patent filings in solar and wind energy in Brazil are not relevant when compared to those of other countries. The largest participation in wind energy is held by the German company with interest in the Brazilian market; in solar energy the participation of enterprises is insignificant. In scientific publications, Brazilian authors have an irrelevant participation in the grand total. China is emerging as an innovative country.

Keywords: Wind Power. Solar Energy. Innovation. Patent. Patent Analysis.

Lista de Abreviaturas e Siglas

BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Social
C&T	Ciências e Tecnologia
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
CHI	<i>Computer Horizon Inc.</i>
CIP	Classificação Internacional de Patentes
CO ₂	Dióxido de Carbono
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
EC	<i>European Commission</i>
EPO	<i>European Patent Office</i>
FFSR	<i>Fossil Fuel Subsidy Reform</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hora
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
iNDC	<i>intended Nationally Determined Contribution</i>
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IOREC	<i>International Off-grid Recyclable Energy Conference</i>
IPC	<i>International Patent Classification</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
JPO	<i>Japan Patent Office</i>
KIPO	<i>Korean Intellectual Property Office</i>

MW	Megawatt
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMC	Organização Mundial do Comércio
PASEP	Patrimônio do Servidor Público
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PCT	<i>Patent Cooperation Treaty</i>
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes de Energia Elétrica
PV	<i>Photovoltaic</i>
SIPO	<i>China's State Intellectual Property Office</i>
SSCI	<i>Social Science Citation Index</i>
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TRIPS	<i>Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights</i>
TWh	Terawatt hora
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>
VE	Veículo Elétrico
VRE	Variáveis de Energia Renovável
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i>

Lista de Figuras

Figura 1	Estrutura simplificada dos indicadores de inovação	48
Figura 2	Nuvem de IPC das patentes em energia eólica no mundo – 2000 a 2017	91
Figura 3	Nuvem de IPC das patentes em energia eólica no Brasil - 2000 a 2017	92
Figura 4	Nuvem de IPC das patentes em energia solar no mundo - 2000 a 2017	98
Figura 5	Nuvem de IPC das patentes em energia solar no Brasil – 2000 a 2017	99

Lista de Quadros

Quadro 1	Tipos de inovações	39
Quadro 2	Áreas tecnológicas em patentes	42
Quadro 3	Especificação da classificação internacional de patentes	42
Quadro 4	Modelos de inovação de energia	49

Lista de Gráficos

Gráfico 1	Total de pedidos de patentes por institutos nacionais, Período de 200 a 2017	41
Gráfico 2	Matriz energética mundial (2017)	54
Gráfico 3	Geração de eletricidade mundial em GWh segundo diferentes fontes (2000 a 2017)	55
Gráfico 4	Consumo total de energia (ktoe) por setor - 2000 a 2017	57
Gráfico 5	Participação das fontes renováveis da oferta interna de energia - OIE	62
Gráfico 6	Participação das fontes não renováveis da oferta interna de energia – OIE	62
Gráfico 7	% Participação por fonte renovável na capacidade instalada, Brasil – 2000 a 2017	64
Gráfico 8	Evolução da capacidade instalada de energia eólica no mundo - 2010 a 2019	66
Gráfico 9	Participação no mercado de empresas de equipamentos de turbinas eólicas	69
Gráfico 10	Evolução da geração de energia eólica em GWh no Brasil - 2007 a 2018	70
Gráfico 11	Capacidade instalada de energia solar fotovoltaica e termal no mundo – 2010 a 2019	74
Gráfico 12	Os 10 países com a maior capacidade instalada de energia solar - 2019	75
Gráfico 13	Capacidade instalada no Brasil de energia solar fotovoltaica - 2000 a 2019	79
Gráfico 14	Depósitos de patentes por países em energia eólica no mundo - 2000 a 2017	87
Gráfico 15	Principais países depositantes de patentes em energia solar no mundo - 2000 a 2017	94
Gráfico 16	Evolução dos artigos publicados por países em inovação e energia eólica no mundo - 2000 a 2017	101
Gráfico 17	Evolução dos artigos publicados por países em inovação e energia solar no mundo - 2000 a 2017	107

Lista de Tabelas

Tabela 1	Varição da oferta de energia elétrica das fontes renováveis, 2017 – 2018	63
Tabela 2	Evolução do número das patentes em energia eólica no mundo – 2000 a 2017	85
Tabela 3	Evolução do número das patentes em energia eólica no Brasil – 2000 a 2017	86
Tabela 4	Distribuição da origem dos depositantes em energia eólica no Brasil por países – 2000 a 2017	88
Tabela 5	As 20 maiores depositantes em energia eólica no mundo mundo – 2000 a 2017	89
Tabela 6	As principais empresas depositantes de patentes em energia eólica no Brasil – 2000 a 2017	90
Tabela 7	Evolução do número das patentes em energia solar no mundo – 2000 a 2017	93
Tabela 8	Evolução do número das patentes em energia solar no Brasil – 2000 a 2017	93
Tabela 9	Distribuição da origem dos depositantes em energia solar por países no Brasil – 2000 a 2017	95
Tabela 10	Os 25 principais depositantes de patentes em energia solar no mundo – 2000 a 2017	96
Tabela 11	Os principais depositantes de patentes em energia solar no Brasil – 2000 a 2017	97
Tabela 12	Artigos publicados por ano em inovação e energia eólica - 2000 a 2017	100
Tabela 13	Os 10 periódicos mais citados em inovação e energia eólica no mundo – 2000 a 2017	102
Tabela 14	Os 10 principais autores com maior número de publicações em inovação e energia eólica – 2000 a 2017	102
Tabela 15	Os autores brasileiros com maior número de publicações em inovação e energia eólica – 2000 a 2017	103
Tabela 16	Os 10 artigos mais citados em inovação e energia eólica no mundo – 2000 a 2017	104
Tabela 17	Os artigos brasileiros mais citados em inovação e energia eólica no mundo – 2000 a 2017	105

Tabela 18	Distribuição de artigos publicados em energia solar por ano no mundo – 2000 a 2017	106
Tabela 19	Os 10 periódicos mais citados em energia solar no mundo – 2000 a 2017	108
Tabela 20	Os 10 autores com mais artigos publicados em inovação e energia solar no mundo – 2000 a 2017	109
Tabela 21	Autores com mais artigos publicados em inovação e energia solar no Brasil – 2000 a 2017	110
Tabela 22	Os 10 principais artigos mais citados em inovação e energia solar no mundo – 2000 a 2017	111
Tabela 23	Artigos brasileiros mais citados em inovação e energia solar – 2000 a 2017	112

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	33
1.1 Problema da pesquisa	35
1.2 Objetivos da pesquisa	35
1.3 Delimitação do estudo	36
1.4 Justificativa e relevância do trabalho	36
1.5 Organização do relatório do trabalho	37
2. REVISÃO DA LITERATURA	38
2.1 Referencial teórico	38
2.1.1 Inovação e apropriabilidade	38
2.1.2 Patentes	40
2.1.3 Análise de patentes	41
2.1.4 Análise das publicações científicas (bibliometria)	44
2.1.5 Mensuração do desempenho inovativo em energias renováveis	48
2.2 Contexto	53
2.2.1 Energias renováveis no mundo	53
2.2.2 Energias renováveis no Brasil	61
2.2.3 Energia eólica no mundo	65
2.2.4 Energia eólica no Brasil	70
2.2.5 Energia solar no mundo	73
2.2.6 Energia solar no Brasil	79
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	83
3.1 Caracterização e tipo de pesquisa	83
3.2 População e amostra	83
3.3 Técnica de coleta de dados	83
3.4 Tratamento dos dados e análise	84

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
4.1 As patentes em energia eólica e solar no mundo e no Brasil	85
4.1.1 A evolução das patentes em energia eólica	85
4.1.2 Análise dos países depositantes em energia eólica	86
4.1.3 Análise dos principais depositantes de patentes em energia eólica	88
4.1.4 Análise da área tecnológica em energia eólica	90
4.1.5 A evolução das patentes em energia solar	92
4.1.6 Análise dos países depositantes de patentes em energia solar	93
4.1.7 Análise dos principais depositantes de patentes em energia solar	95
4.1.8 Análise da área tecnológica em energia solar	97
4.2 As publicações científicas em inovação e energia eólica e em inovação e energia solar no mundo e no Brasil	99
4.2.1 Análise dos artigos publicados por ano em inovação e energia eólica no mundo	99
4.2.2 Análise dos países com mais publicações em inovação e energia eólica	100
4.2.3 Análise dos periódicos com publicações em inovação e energia eólica	101
4.2.4 Análise dos principais autores com mais artigos em inovação e energia eólica	102
4.2.5 Análise dos artigos mais citados em inovação e energia eólica	103
4.2.6 Análise dos artigos publicados por ano em inovação e energia solar no mundo	105
4.2.7 Análise dos países com mais publicações em inovação e energia solar	106
4.2.8 Análise dos periódicos com publicações em inovação e energia solar	108
4.2.9 Análise dos principais autores com mais artigos em inovação e energia solar	108
4.2.10 Análise dos principais artigos mais citados em inovação e energia solar	110
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
REFERÊNCIAS	119

1. INTRODUÇÃO

O forte avanço econômico da economia global nas últimas décadas trouxe impactos negativos para o meio ambiente, ao lado do efeito estufa – concentração de gases na atmosfera que eleva a temperatura do planeta pela dificuldade de dissipação. A presença do dióxido de carbono (CO₂), um dos gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera, aumentou 35% desde a era industrial. O CO₂ é o parâmetro pelo qual os cientistas classificam o aquecimento global dos demais gases de efeito estufa (MMA, 2019). Entre os efeitos deletérios dos gases de efeito estufa (GEE) no planeta estão o aumento da temperatura dos oceanos e o consequente derretimento das geleiras, o que provoca a elevação do nível do mar e a mudança no regime das chuvas.

O relatório do *Intergovernmental Panel Climate Change* (IPCC), de 2018, afirma que manter a elevação da temperatura do planeta em 1,5°C é mais seguro que em 2°C, em termos de impacto climático, e não agir de modo que impeça que as temperaturas globais subam 2°C acima dos níveis pré-industriais terá consequências ainda mais devastadoras. De acordo com as projeções do IPCC para 2100, se os níveis excederem 1,5°C, será o fim dos recifes de corais e o início da alternância de secas severas e chuvas intensas em diversas regiões do planeta, com impacto arrasador e irreversível para o meio ambiente e todos os seres humanos (IPCC, 2018).

Diante dessa perspectiva, os países signatários do Acordo de Paris vão envidar esforços para que a temperatura média global se mantenha abaixo de 2°C de elevação a partir de 2020. Cada um dos 195 países que se comprometeram a tomar medidas e estipularam metas para reduzir a emissão de GEE mantém atualizado o documento *intended Nationally Determined Contribution* (iNDC), no qual se registram os compromissos, as metas e ações que objetivam a redução na emissões de GEE, de acordo com a situação econômica, política e geográfica de seu país.

Uma análise das iNDCs de todos os países apontou que a maioria incluiu as energias renováveis como essenciais para alcançar as metas de redução de CO₂. Isso se prende ao fato de o setor de energia responder por 80% das emissões de gases de efeito estufa. Portanto, as energias renováveis são de fundamental importância para a solução climática (IRENA, 2018).

Além do Acordo de Paris, cujo foco principal é a redução de CO₂, também têm relevância os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos e criados

na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, no Rio de Janeiro, em 2012, com 17 objetivos universais para atender aos desafios ambientais, políticos e econômicos do mundo. O sétimo objetivo é garantir a todos o acesso à energia de forma confiável, sustentável e moderna. Ambos os documentos têm por meta reduzir as emissões de carbono e gerenciar os riscos das mudanças climáticas e dos desastres naturais.

Para alcançar as metas climáticas acordadas em 2015, a transição energética é de extrema urgência, razão por que o setor de energia ocupa o centro das discussões de natureza ambiental que vêm ocorrendo pelo mundo. Quase todos os países tornaram seus planos de metas em energias renováveis mais ambiciosos em 2018, o que significa investimento pesado em inovações tecnológicas. Segundo a IEA (2018), as energias renováveis vêm ganhando destaque nos últimos anos, em especial as energias “modernas”, a exemplo da eólica, da fotovoltaica, dos biocombustíveis líquidos, do biogás e da energia térmica.

A energia eólica e a solar são as fontes renováveis que mais se destacaram, com aumento de participação na matriz energética mundial e na brasileira nos últimos anos. No entanto, a energia eólica enfrenta um mercado competitivo, impondo a redução nos preços dos equipamentos das turbinas eólicas e reduzindo o lucro dos fabricantes (REN21, 2019). A China é o país com a maior capacidade de produção em energia solar fotovoltaica no mundo. O seu desenvolvimento se deu principalmente pelas políticas de incentivo no país (ZHAO et al., 2015).

O Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer no desenvolvimento das tecnologias em energia eólica e solar. Segundo o IPEA (2015), o país pouco investe em pesquisa e desenvolvimento nas fontes renováveis: apenas 12% são investidos em P&D, divididos entre eólica, solar e marés.

Nesse contexto e dada a importância dos investimentos em P&D para as energias eólica e solar, cabe perguntar como o Brasil se posiciona em desempenho inovativo quando comparado a outras nações. A resposta, de acordo com Hu et al. (2017), revela-se pela análise de patentes e das publicações científicas. Portanto, esta dissertação procura uma melhor compreensão do desempenho inovativo do Brasil em energia eólica e solar.

1.1 Problema da pesquisa

Do ponto de vista científico, problema é qualquer questão não resolvida que como tal abre espaço para discussão. Assim, qualquer questão não investigada pode receber tratamento científico de modo a fornecer sugestões e inferências a respeito de um problema (GIL, 2008).

Um problema de pesquisa pode provir de várias fontes, pode aparecer de discussões de muitos anos na literatura, de debates políticos, de questões mundiais. A escolha do problema pelo pesquisador pode nascer de uma motivação pessoal, profissional ou do meio em que se insere (CRESWELL, 2007).

A pergunta problema desta dissertação é: **Qual o desempenho brasileiro em inovações na área de energias renováveis do tipo solar e eólica?** A escolha se pauta principalmente no aspecto relevância.

Segundo Gil (2008), o aspecto relevância está relacionado à obtenção de novos conhecimentos, quando tratado pelo ponto de vista científico. Está relacionado aos benefícios decorrentes de sua solução, quando determinado pelo ponto de vista prático. Os dois pontos de vista foram considerados na escolha do problema desta pesquisa. Do ponto de vista científico, este estudo contribuirá para obter novos conhecimentos em inovações tecnológicas em energias renováveis, mais especificamente em energia eólica e energia solar. Já do ponto de vista prático, esta pesquisa auxiliará os tomadores de decisões estratégicas sobre P&D, investimentos e políticas públicas.

1.2 Objetivos da pesquisa

O delineamento correto dos objetivos garante o sucesso da pesquisa. Para responder ao problema que a pesquisa propõe, tem este estudo por objeto geral avaliar o desempenho relativo em inovações na área de energias renováveis do Brasil de 2000 a 2017, estabelecendo quatro objetivos específicos:

- Analisar o patenteamento e as publicações científicas mundiais e nacionais associadas às energias eólica e solar;
- Identificar os principais países patenteadores e os países com maior número de publicações científicas de energias eólica e solar;

- Comparar a situação do Brasil em relação ao mundo em patentes e publicações científicas de energias eólica e solar;
- Identificar as tendências tecnológicas em outros países na área de energias renováveis do tipo eólica e solar e compará-las com as do Brasil.

1.3 Delimitação do estudo

Este estudo tem como objeto específico de investigação as patentes e as publicações científicas relacionadas à inovação em energia eólica e energia solar do mundo de 2000 a 2017, com destaque para as brasileiras. As patentes foram extraídas da base do INPI e *PATENTSCOPE* e os artigos da plataforma *Web of Science Core Collection*.

1.4 Justificativa e relevância do trabalho

O mundo constata com preocupação crescente o agravamento das alterações climáticas. O aumento das emissões de GEE vem acelerando o aquecimento global, deteriorando o meio ambiente e afetando a qualidade de vida dos seres do planeta. Com o objetivo de reduzir as emissões de GEE, 195 países, inclusive o Brasil, celebraram em 2015 o Acordo de Paris. A principal meta do acordo é impedir – ao longo de todo o século - que a média global de temperatura supere em 2°C os níveis correntes do período pré-industrial.

Para alcançar as metas climáticas acordadas em 2015, a transição energética é de extrema urgência. Entretanto, os desafios são enormes, uma vez que a matriz energética mundial é composta, principalmente, por fontes não renováveis: carvão (27,1%), petróleo e derivados (31,9%), gás natural (22,1%) e energia nuclear (4,9%) (IEA, 2018).

A matriz energética brasileira assenta-se nas energias renováveis, mais precisamente a hídrica, com 60,84%, ficando o restante dividido entre biomassa (8,628%), eólica (8,482%), solar (1,11%), nuclear (1,163%), importação (4,774%) e fóssil (14,995%) (ANEEL, 2018). O setor de energia do País é o menos intensivo do mundo em carbono, o que se deve ao fato de 80% de sua geração de eletricidade ocorrer por meio de grandes usinas hidrelétricas (IEA, 2018). No entanto, a estiagem provoca períodos de sazonalidade de abastecimento, o que põe em risco a segurança energética do País. Desenvolver e explorar outras energias renováveis

assume fundamental importância na solução dessa questão e é determinante para que a meta de reduzir a emissão de GEE seja alcançada.

As energias renováveis constituem a solução para superar os desafios causados pela mudança climática. Mas a transição de energias não renováveis para renováveis depende visceralmente do desenvolvimento das tecnologias modernas. Essas tecnologias requerem avanços tecnológicos para conectar-se às redes de energia já existentes. As inovações tecnológicas possibilitam reduzir o custo das energias renováveis, flexibilizam a produção, transmissão e consumo de energia e capacitam uma nova geração de consumidores de energia. A energia renovável pode eliminar 90% das emissões de CO₂ e promover os ganhos de eficiência energética necessários até 2050 (IRENA, 2019).

Uma das formas de verificar o desenvolvimento das novas tecnologias - energia eólica e solar - consiste em analisar os depósitos de patentes. De acordo com Griliches (1990), a contagem de patentes mede o resultado de desenvolvimento tecnológico. Para Dernis e Guellec (2001), as patentes apresentam-se como os melhores indicadores para medir a inovação, possibilitando medir a inventividade de países, regiões, firmas ou inventores individuais. As pesquisas de Mundaca e Richter (2015) confirmam que o indicador é um fator imprescindível para medir o desempenho tecnológico em energias renováveis.

1.5 Organização do relatório do trabalho

O desenvolvimento desta pesquisa está organizado em seções da seguinte forma: revisão da literatura, procedimentos metodológicos, análise dos resultados, conclusões e referências.

Na revisão da literatura estão descritos os conceitos e processos de inovação e apropriabilidade, patentes, análise de patentes, análise de publicações (bibliometria), mensuração do desempenho inovativo em energias renováveis, contexto, energias renováveis no mundo e no Brasil, energia eólica no mundo e no Brasil e energia solar no mundo e no Brasil. A metodologia detalha a tipologia da pesquisa, coleta e construção da base de dados sobre patentes e publicações científicas em energia eólica e energia solar. A seção resultados apresentará os resultados gerais de importância para verificar o desempenho brasileiro em inovações na área de energia renováveis.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Esta revisão da literatura está dividida em duas seções, a primeira o referencial teórico que aborda os conceitos de inovação e apropriabilidade, patentes, análise de patentes, análise das publicações científicas (bibliometria) e mensuração do desempenho inovativo em energias renováveis. A segunda apresenta o contexto em energias renováveis no mundo e no Brasil, energia eólica no mundo e no Brasil e energia solar no mundo e no Brasil.

2.1 Referencial teórico

2.1.1 Inovação e apropriabilidade

Observa o *Manual de Oslo* (2018) que o termo “inovação” pode significar uma atividade e o resultado da atividade. As empresas estão sempre fazendo mudanças, seja de produtos, seja de processos, e adquirindo novos conhecimentos. E pelo fato mesmo de ser dinâmico o processo, é difícil mensurá-la, mas pode e deve ser medida. Assim, o *Manual de Oslo* caracteriza inovação em dois tipos diferentes: inovação de produto e inovação de processo de negócio.

A **inovação de produto** é a implementação de um bem ou serviço que é novo ou melhorado significativamente em relação às suas características ou usos pretendidos. As melhorias podem ser de especificações técnicas, materiais e componentes, software, facilidade de uso ou outras características funcionais. Pode estender-se ao emprego de novos conhecimentos e técnicas ou combinar conhecimento e técnica já existentes. A **inovação de processo de negócio** é a implementação de um processo de negócio novo ou melhorado para uma ou mais funções de negócios que difere significativamente dos processos anteriores da empresa e que foram usados pela empresa. Essas funções podem ser comercial, para vender bens e serviços; funções de suporte como distribuição de produtos e logística; marketing, que pode ser de venda de produtos, serviços e de pós-venda, de serviços de tecnologia da informação e comunicação (TIC) para a empresa; funções administrativas e de gerenciamento, serviços técnicos de engenharia e relacionados à empresa e desenvolvimento de produtos e processos.

Quadro 1- Tipos de Inovações

TIPOS DE INOVAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
INOVAÇÃO DE PRODUTO	Implementação de novos produtos (bens e serviços) ou melhorados significativamente; conhecimentos e técnicas novos ou já existentes.
INOVAÇÃO DE PROCESSO DE NEGÓCIO	Implementação de um processo novo ou melhorado para mais de uma função de negócio que difere significativamente de processos anteriores da empresa e que foram usados pela empresa. Funções de negócios: comercial; logística; marketing e administrativo.

Fonte: Elaborado pela autora a partir do *Manual de Oslo* (2018).

Levin et al. (1987) e Cohen et al. (2002) ressaltam que o resultado da inovação - o lucro - é a recuperação dos investimentos aplicados em pesquisa e desenvolvimento (P&D), incentivo que torna as empresas propensas a inovar. Para que os esforços em P&D compensem, as empresas precisam desenvolver habilidades para apropriar-se dos retornos do investimento. São muitos os benefícios gerados pela inovação e, a despeito do risco de imitação dos concorrentes, é sempre possível melhorar a inovação e garantir vantagem no mercado.

Para Malerba (1997), a apropriabilidade corresponde ao grau de proteção das inovações contra as imitações dos concorrentes, podendo ser direitos de propriedade, controle de ativos complementares, segredos industriais e patentes. Brockhoff (2003) enfatiza que, sem proteção legal ou algum tipo de sigilo, é difícil obter a apropriabilidade dos retornos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), porque os resultados dos investimentos só são alcançados seguindo as regras de sigilo.

O uso dos métodos de apropriabilidade difere não somente em vista dos setores mas também pelo porte das empresas. Diversos estudos sugerem que as patentes são especificamente vantajosas para as grandes firmas, se comparadas às de menor porte (SATTLER, 2003; BLIND, 2006; BYMA e LEIPOMEN, 2007; ÁLVAREZ e ANTONÍN, 2007).

Os estudos de Álvarez e Antonín (2007) compararam os melhores mecanismos, a exemplo de patentes, segredo industrial, custo e tempo de imitação, e como as empresas optam pelo método de apropriação. Os testes com várias hipóteses foram aplicados em 258 empresas. Nas que empregaram principalmente o conhecimento explícito, observou-se a escolha pelo sistema de patentes como mecanismo de defesa, enquanto nas empresas em que predominava o conhecimento tácito a tendência era optar pelo segredo industrial como mecanismo de defesa. Os

testes também apontaram que as grandes empresas escolhem o sistema de patenteamento.

2.1.2 Patentes

Em 1994, o Brasil, para promover proteção eficaz dos direitos de propriedade intelectual, no âmbito internacional, assinou o *Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights* (Acordo TRIPS). O TRIPS exige dos países-membros da Organização Mundial do Comércio (OMC) maior rigor na proteção da propriedade industrial com relação a direito autoral, marcas, indicadores geográficos, desenhos industriais, patentes, circuitos integrados e informação confidencial (MRE, 2019).

A patente - documento emitido por um órgão governamental – garante ao inventor que seu processo ou invento ficará protegido por certo número de anos, segundo a legislação de cada país. Nos Estados Unidos, são 17 anos (GRILLICHES, 1990). No Brasil, o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) concede ao inventor ou depositante legal proteção pelo prazo de 20 anos para invenções e 15 anos para modelos de utilidade, a partir da data de depósito da patente. O INPI, único órgão federal que garante o direito de propriedade industrial no Brasil, presta, entre outros, os seguintes serviços: registro de marcas, desenho industrial, indicações geográficas, programas de computadores e topografias de circuitos integrados, concessões de patentes e averbações de franquia (INPI, 2019).

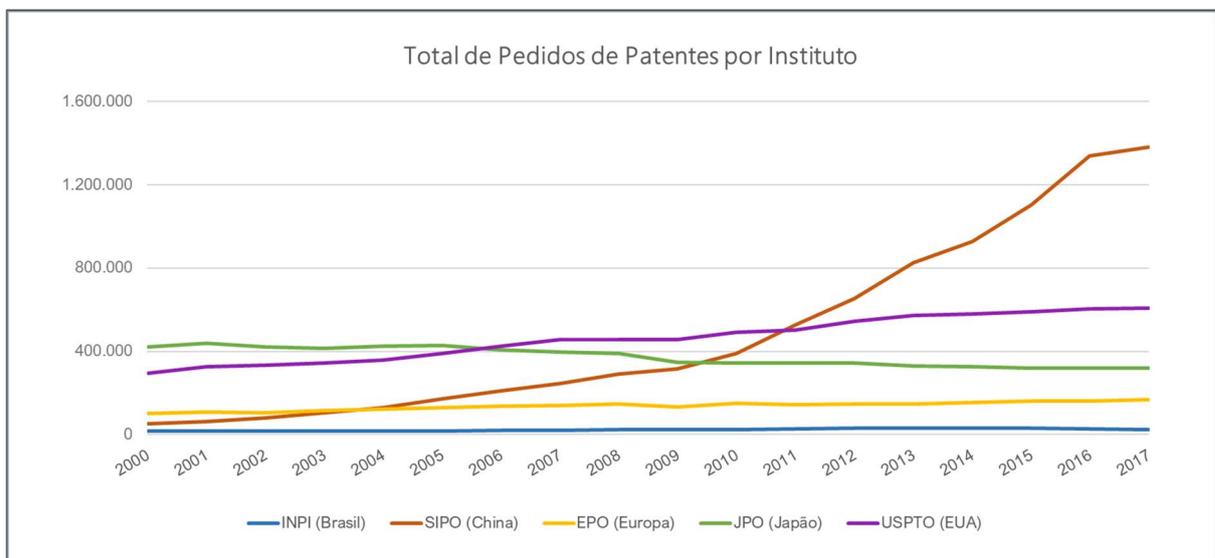
As patentes concedem ao requerente o direito de uso exclusivo sobre a sua invenção, seja ela um produto ou um processo novo, contanto que tenha aplicação industrial. Os direitos da patente proíbem a terceiros fabricar, vender ou oferecer ao mercado o item nela protegido por um período de 20 anos, a contar da data da solicitação, após o que a invenção protegida passa a domínio público. A concessão da patente considera a aplicabilidade industrial, mas nem todas têm utilização na empresa (OECD, 2009).

Dernis e Guellec (2001) definem patente como o direito de propriedade intelectual relacionado com a invenção tecnológica. Está apta a requerer patentes uma pessoa individual, uma empresa ou um órgão público, mediante um escritório nacional de patentes. O titular deposita o pedido da patente nacional ou - no caso de querer a proteção de seu invento estendida a mais países – procura os órgãos correspondentes nos países estrangeiros pelos quais se interessa. Para a

internacionalização do documento, pode optar pelo sistema *Patent Cooperation Treaty* (PCT), administrado pela Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO), que conta com 152 países-membros.

Nos Estados Unidos, o escritório responsável pela concessão de patentes e registro das marcas comerciais é o *United States Patent and Trademark Office* (USPTO). Na Europa, o *European Patent Office* (EPO) protege as invenções de inventores, pesquisadores e empresas de 44 países. No Japão, o órgão é o *Japan Patent Office* (JPO) e, na China, o *China's State Intellectual Property Office* (SIPO). No gráfico 1, observa-se que o INPI apresenta pouca atividade patentária, ao passo que a da SIPO supera a da EPO como a da USPTO (WIPO, 2019).

Gráfico 1- Total de pedidos de patentes por institutos nacionais, período de 2000 a 2017



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da Wipo (2019).

2.1.3 Análise de patentes

A análise de documentos de patentes é uma ferramenta importante para acessar os múltiplos aspectos de mudanças tecnológicas. Muitos estudos recorrem às estatísticas de patentes para compreender a relação entre desenvolvimento tecnológico e crescimento econômico (ABRAHAM; MOITRA, 2000). Serve também para analisar uma firma no que diz respeito à pesquisa, quais tecnologias estão sendo realizadas e quais países estrangeiros estão sendo explorados para o desenvolvimento das tecnologias. A atividade de patenteamento em um país estrangeiro é geralmente realizada com o objetivo de proteger um mercado potencial no país para os produtos de uma firma (SHIPMAN, 1967).

Entre as informações incluídas no documento de patente consta a Classificação Internacional de Patentes (CIP), com mais de 64.000 subdivisões. É a área técnica à qual a invenção pertence, embora seja possível registrá-la em mais de uma área tecnológica. A Classificação Internacional de Patentes está dividida em 8 setores principais e 64.000 subdivisões, de acordo com o INPI (2018).

Quadro 2 – Áreas tecnológicas em patentes

Seção	Área Tecnológica	Seção	Área Tecnológica
A	Necessidades Humanas	E	Construções Fixas
B	Operações e Processamento; transportes	F	Engenharia mecânica/ iluminação/ aquecimento
C	Química e Metalurgia	G	Física
D	Têxteis e Papel	H	Eletricidade

Fonte: INPI (2018)

A descrição completa da classificação para a área técnica específica é composta por uma combinação de letras e números: seção (letra), classe (número composto por dois algarismos), subclasse (letra maiúscula), grupo (dois números e barra) e subgrupo (um número).

Quadro 3- Especificação da classificação internacional de patentes

A	22	C	29/	2
seção	Classe	Subclasse	Grupo	Subgrupo

Fonte: INPI (2018)

Ainda estão disponíveis informações como: o **inventor** - nesse campo é fornecido o endereço e país de residência; o **depositante** - aquele que requereu a patente e goza da concessão de direito, seja um indivíduo, empresa ou órgão; a **data de depósito** no país de origem (a partir da qual se inicia a proteção); a **data da publicação da patente** (18 meses a contar da data do depósito); o **procurador** - o escritório de marcas e patentes que pode ser do inventor ou do depositante; o **país de origem** - onde a invenção foi protegida primeiro; e o **título e resumo** - basicamente que tipo de invenção e para que serve (INPI, 2018). Além disso, os documentos

trazem citações de patentes anteriores e artigos científicos referente às invenções (OECD, 2009).

Segundo a OECD (2009), as informações contidas no documento de patente podem ser utilizadas para análises estatísticas. Na folha de rosto do documento são encontradas as informações bibliográficas, conforme a descrição anterior. Além disso, o documento fornece detalhes da invenção (resumo, descrições técnicas e da invenção) úteis para a análise. Essas informações tratam de três aspectos: descrição técnica da invenção, desenvolvimento e propriedade da invenção.

De acordo com Griliches (1990), a contagem de patentes mede o resultado do processo de desenvolvimento tecnológico. O pedido de patentes é amplamente utilizado por vários pesquisadores para medir o desempenho da inovação. A pesquisa de Mundaca e Richter (2015) confirma que o indicador é fator imprescindível para medir o desempenho tecnológico em energias renováveis. Lindman e Soderholm (2015) examinam a contagem de patentes no campo de energia e comparam os níveis tecnológicos entre países. Na mesma linha, Arundel e Kempt (2009) confirmam que as patentes podem ser usadas para medir os resultados da inovação eecoinvenções.

Patent counts can be used as an indicator of the level of innovative activity in the environmental domain. In the same way as for innovation in general, patents covering eco-inventions can be used to measure research and inventive activities and to study the direction of research in a given technological field (ARUNDEL; KEMPT, 2009, p.17).

Segundo Watanabe (2001), as informações contidas nos documentos de patentes constituem ferramentas de análise preciosas para pesquisadores. Sua maior vantagem, entretanto, é o próprio número de patentes emitidas em vários países do mundo, por diversos inventores, em períodos diferentes. Apesar disso, existem limitações: a OECD (2009) esclarece que nem toda invenção é patenteada, por não cumprir os requisitos necessários à concessão da patente. Outra limitação é o tamanho das empresas: aquelas com menor escala de produção têm mais dificuldades em arcar com os custos do patenteamento. Em termos de comparação de países, as leis de patenteamento adotadas individualmente podem discrepar das que a maioria aplica, tornando difícil a comparabilidade dos dados extraídos do documento da patente.

Um motivo bastante relevante que Blind et al. (2006) ressaltam para as empresas patentear é o fator estratégico para garantir novas fontes de receitas, bloqueando ofensivamente os concorrentes. Muitas empresas recorrem ao

patenteamento para que outras não usem suas invenções, e o fazem mesmo sem interesse imediato de usar o conteúdo dessa patente. Há, por fim, o bloqueio defensivo, que visa proteger o laboratório interno.

No entanto, a OECD (2009) argumenta que é possível corrigir essas limitações, escolhendo um critério de metodologia. Uma forma de superar a limitação ligada à propensão da indústria a patentear seria restringir-se a um setor ou indústria. Para Klitkou et al. (2010), a grande dificuldade de monitorar tecnologias emergentes envolve a categorização. Por ser difícil identificar as tecnologias de energia renovável no registro de patente, conviria estabelecer a busca mediante a *International Patent Classification* (IPC).

2.1.4 Análise das publicações científicas (bibliometria)

Para acompanhar a expansão da ciência e da tecnologia, empregam-se vários métodos que medem e analisam a ciência e os fluxos de informações, entre os quais a bibliometria, a cienciometria, a infometria. Essas subdisciplinas apresentam funções semelhantes, mas cada qual com enfoque diferente, o que dificulta bastante estabelecer onde uma termina e a outra começa (VANTI, 2002). Eis como alguns autores definem esses métodos.

A bibliometria, método que envolve várias técnicas, procura quantificar o processo da produção científica. Essas técnicas são empregadas para identificar os autores, os padrões da ciência a serem seguidos, os periódicos mais produtivos em diferentes campos e as relações entre disciplinas científicas (IKPAAHINDI, 1985). Outra definição de bibliometria é dada por Tague-Sutcliffe (1992):

Bibliometria é o estudo dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso das informações gravadas. São desenvolvidos modelos e medidas matemáticas para esses processos e, em seguida, usa os modelos e medidas para precisão e tomada de decisão (TAGUE-SUTCLIFFE, 1992, p.1).

Tague-Sutcliffe (1992) também define cienciometria e infometria:

Cienciometria é o estudo dos aspectos quantitativos da ciência como disciplina ou atividade econômica. Faz parte da sociologia da ciência e tem aplicação na formulação de políticas científicas. Envolve estudos quantitativos de atividades científicas, incluindo, entre outros, publicações e, portanto, sobrepondo-se à bibliometria até certo ponto. Infometria é o estudo dos aspectos quantitativos da informação em qualquer formato, e não apenas registros catalográficos ou bibliografias referentes a qualquer grupo social, e não apenas aos cientistas (TAGUE-SUTCLIFFE, 1992, p.1).

A informetria pode incorporar, utilizar e ampliar os muitos estudos de avaliação da informação que estão fora dos limites da bibliometria e cienciométrica.

Braga (1974) assinala que a bibliometria, para transformar os conceitos teóricos em estatísticas empíricas, examina as relações de diferentes diversas: recursos humanos-documentos; artigos-periódicos; produção-consumo etc. Relaciona o número de citações com o número de artigos, instituições com o número de doutorados, autores com o número de artigos, revistas com o número de artigos. É uma ferramenta utilizada para avaliar as atividades de pesquisa, laboratórios e cientistas, assim como as especializações e o desempenho dos países e auxilia na tomada de decisão e na pesquisa (OKUBO, 1997).

Para fornecer resultados seguros, a bibliometria trabalha com fontes de vários bancos de dados, estabelecidos por empresas ou por instituições públicas ou privadas, que ilustram as atividades da ciência e tecnologia (dados não tratados). Por meio de processamento especial, eles podem ser usados para estabelecer indicadores bibliométricos (OKUBO, 1997).

A análise bibliométrica de uma pesquisa científica tanto pode ser de natureza qualitativa quanto quantitativa. A revisão por “pares” – quando o pesquisador submete o artigo para que os especialistas dos periódicos avaliem o conteúdo da pesquisa e se está de acordo com o foco editorial e padrão da revista - é utilizada para decidir propostas de pesquisas, nomear e avaliar grupos e programas de pesquisa. Sua natureza é qualitativa, porque avalia o desempenho da pesquisa. Por outro lado, o indicador bibliométrico é de natureza quantitativa, igualmente presente na revisão de pares, quando mensura o número de publicações em revistas científicas (VAN RAAN, 2003).

Para a comunidade científica, a análise bibliométrica constitui boa ferramenta para avaliar a produção e o desempenho científico, visto que recorre a uma série de variáveis, como a literatura científica expressa em documentos, artigos, livros, relatórios etc., coautoria, patentes, citações e palavras-chave. As informações fornecidas por meio da análise orientam a comunidade científica, porque, entre outras coisas, é possível avaliar a participação na ciência e tecnologia de um país no mundo (OKUBO, 1997).

A aplicabilidade dos indicadores bibliométricos apresenta-se com uma gama de vantagens para a avaliação científica, uma das quais o fato de que seus dados são

totalmente verificáveis, podendo ser reproduzidos, e seus resultados são objetivos, numéricos e aplicáveis a um grande volume de dados (IGAMI, 2011).

Os indicadores bibliométricos são utilizados para comparações e servem de parâmetro para pesquisadores e especialistas entenderem a dinâmica da área científica de interesse. Os mais conhecidos no âmbito nacional e internacional são: **a) número de trabalhos** – conta o número de publicações por vários meios de documentos para textos científicos (livros, artigos, publicações científicas, relatórios etc.); por instituição, área de conhecimento, país etc.; e reflete a produção científica de um país e a pesquisa pode ser monitorada e sua tendência traçada ao longo do tempo; **b) número de citações** – é a contagem do número de citações que se faz de um artigo e reflete o impacto dos artigos ou assuntos citados; **c) coautoria** – reflete o grau de colaboração na ciência; e **d) número de patentes** – o grau da inovação tecnológica é o resultado dos recursos investidos em P&D e indica a tendência tecnológica ao longo do tempo (MACIAS-CHAPULA, 1998).

Para monitorar o desenvolvimento científico, algumas áreas utilizam técnicas de mapeamento bibliométrico, instrumento que auxilia na identificação de padrões de estrutura dos campos científicos, identifica processos de disseminação do conhecimento e visualiza as dinâmicas do desenvolvimento científico, tecnológico e de sua efetiva adoção na produção de bens e serviços. A partir dos dados da produção científica, são gerados mapas (KOBASHI; SANTOS, 2008).

Morris e Martens (2008) definem mapa bibliométrico como uma representação da estrutura e interconexão de elementos conhecidos da especialidade. Contam-se entre esses elementos os tópicos de pesquisa, equipes de pesquisadores, conceitos básicos de conhecimento, autoridades, arquivo de periódicos, instituições de pesquisa e vocabulários técnicos.

Para construir o mapa bibliográfico, é necessário ter acesso a um banco de dados com grande volume de documentos do interesse a ser pesquisado. Esses registros fornecem o título do artigo, o autor, a fonte, o ano em que foi publicado e as referências citadas no documento. Os bancos de dados de documentos multidisciplinares são disponibilizados pela Thomson Reuters (Web of Science) e Elsevier (Scopus). Para disciplinas específicas, os bancos de dados são: **Chemical Abstracts** – banco de dados especializado em física e química; **Compendex** – banco de dados especializado em engenharia e tecnologia; **Embase** – banco de dados especializado em ciências médicas; **Inpec** – banco de dados especializado em

ciências físicas; **Pascal** – banco de dados geral, que abrange vários campos; **Science Citation Index** - banco de dados multidisciplinar produzido pelo *Institute for Scientific Information* (ISI). A fonte de dados usada com maior frequência é o *Derwent Information Limited WPI (L)* e o banco de dados da *Computer Horizon, Inc.* (CHI). As bases de dados da *Derwent* são multidisciplinares e de âmbito internacional, registrando patentes emitidas e solicitações de patentes publicadas por 30 escritórios de patentes nacionais e pelo *Science Citation Index* (ECK, 2011; OKUBO, 1997).

Rosseto; Bernardes e Borini (2016) utilizaram o método bibliométrico para compreender os pilares teóricos que sustentam a estrutura das teorias da inovação. Procederam a uma análise de citações e cocitações de todos os artigos da área de inovação obtidos a partir do Índice de Citações de Ciências Sociais (*SSCI Social Science Citation Index*), no período de 1956 a 2016. Por meio da análise de citações, compreendese como a dinâmica do conhecimento em inovação é gerada e transferida ao longo do tempo. Analisando o comportamento das citações, constata-se o crescimento das publicações e a popularização da inovação, indicada no número médio anual de publicações. O número médio de referências por artigo apresentou diminuição no período de 2001 a 2016, reflexo, segundo os autores, do aumento das publicações nesse período que impactou na redução de referências por artigo. Vem-se verificando nas últimas décadas redução no número de páginas dos artigos – que variam de 15 a 25 páginas de extensão contra 30-40 páginas das primeiras décadas -, sinal de preferência da qualidade sobre a quantidade. Observou-se o envelhecimento da idade das referências citadas no período pesquisado, que indicador de estagnação na evolução da disciplina. O número de autocitações cresceu no período, o que aponta para falta de maturidade da inovação como disciplina científica e revela que há espaço para crescimento na área. Também se registrou aumento no número de periódicos, com declínio de periódicos que ocupavam posição de destaque dentre os mais citados e com maior número de publicações na área de inovação, prova de que, para se estabelecerem na área do conhecimento, os periódicos precisam envidar muito esforço e foco editorial. Os periódicos *Research Policy*, *Technical Forecast and Social Change*, *International Journal of Technology Management*, *Journal of Product Innovation Management* e o *Technovation* foram os que exerceram influência no conhecimento na área de inovação. Na análise de cocitações, os resultados indicaram aumento de autores e *clusters* no período analisado, indicando crescimento e diversificação da disciplina. De acordo com

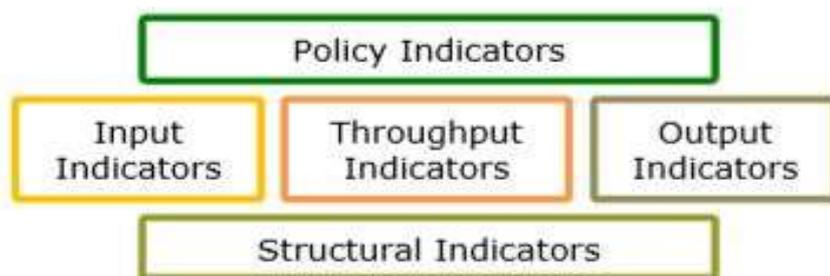
Rosseto et al (2018) as citações diminuem com o tempo, à medida que surge um novo tema na área de inovação.

2.1.5 Mensuração do desempenho inovativo em energias renováveis

De acordo com o *Nordic Energy Technology Scoreboard (2010)*, as tecnologias de energia de baixo carbono são difíceis de mensurar devido à variedade de tecnologias e seus diferentes estágios. Algumas tecnologias se encontram em estágios imaturos de desenvolvimento e exigem a adoção de padrões comuns antes da coleta de dados para que a comparabilidade se torne viável. A IEA (2016) propõe a seguinte classificação para as tecnologias de baixo carbono: **primeiro** – as energias mais maduras hidrelétrica, eólica *onshore* – em terra firme, combustão de biomassa e geotérmica; **segundo** - também mais maduras: energia solar fotovoltaica e eólica *offshore* – fora da terra; **terceiro** - menos maduras, a concentração de energia solar, a *carbon capture and storage (CCS)* e energia oceânica. O desenvolvimento das tecnologias menos maduras depende de outras tecnologias já existentes, como é o caso da geração de energia renovável intermitente e redes inteligentes.

Para melhorar a avaliação da tecnologia de baixo carbono, o painel de avaliação tecnológica nórdica identificou dez áreas que necessitavam de desenvolvimento na coleta e categorização dos dados: investimentos em P&D; atividades industriais; licenciamento e investimento privado por meio de capital de risco; transferência internacional de tecnologia; padrões de tecnologia; relações entre indicadores; indicadores bibliométricos e de patentes; monitoramento armazenamento CCS; condições da estrutura política e aceitação do público. Com base nessas necessidades, foram criados cinco grupos de indicadores para descrever o processo de inovação, conforme a estrutura abaixo (NORDEN, 2010).

Figura 1- Estrutura simplificada dos indicadores de inovação



Os *Input indicators* – indicadores de entrada - medem os recursos de investimentos, como os orçamentos públicos de P&D. *Throughput indicators* – indicadores de rendimentos - medem os resultados intermediários do processo de inovação, tal como publicações científicas e depósitos de patentes. *Output indicators* – indicadores de saída - capturam os resultados desejados das entradas no sistema de inovação. *Policy indicators* – indicadores de políticas - medem os aspectos quantitativos das políticas de energia tecnológica (NORDEN, 2010).

Segundo Smith (2008), as diferentes tecnologias de baixo carbono também representam novas formas de inovação, que podem ser incrementais, disruptivas ou radicais. Ao classificar as inovações de energias renováveis, Smith (2008) argumenta que as tecnologias se desenvolvem de forma diferente, dependendo do estágio em que se encontram, exigindo diferentes graus de financiamento público para superarem as dificuldades dos custos, das incertezas tecnológicas e de mercado, como a rigidez das estruturas das tecnologias de energias já existentes.

Quadro 4- Modelos de inovação de energia

	Mudança Incremental	Mudança Radical	Mudança Disruptiva
Tecnologias de controle climático sem redução de emissão	Desmatamento reduzido	Emissão de sulfato em dissipadores de carbono na atmosfera	
Inovação para redução de emissão	Melhor eficiência do motor de aquecimento e resfriamento urbano; Potência de carga à base de gás	Sequestro de carbono/carvão limpo (incluindo captura e armazenamento geológico); Combustíveis para motores avançados de bioenergia; Combustão em leito fluidizado (maior eficiência de combustão); Materiais avançados para transporte de tecnologias de combustão eficientes.	
Tecnologias de emissão baixa ou zero	Tecnologias de bombeamento de calor para edifícios (incluindo armazenamento); Desenvolvimento de capacidades nucleares existentes; Hidrelétricas.	Energia geotérmica; Painel Solar e Sistema de Energia Eólica	Energia de fusão hidrogênio; Energia do oceano; Sistemas de energia fotovoltaica; Energia solar concentrada (espelhos orbitais para rastreamento do sol); Células de combustível avançadas; Tecnologias avançadas de armazenamento de energia (baterias, capacitores, armazenamento de gás comprimido)

Fonte: Adaptado de NORDEN (2010) e Smith (2008).

Medir os esforços em inovação do setor energético não é tarefa simples, uma vez que há indicadores que costumam apresentar algum viés. Segundo Freeman e Soete (2009), o uso desses indicadores pode depender das fontes, definições e métodos, que muitas vezes são coletados e publicados de forma incorreta. A maioria do conteúdo informativo, que o qualificaria para desempenhar o seu papel, acaba sendo perdido. O produto interno bruto (PIB) - um dos indicadores econômicos mais utilizados no mundo nas últimas décadas – quando relacionado com o gasto em P&D apresenta problemas de medição porque os gastos em P&D nem sempre são apropriados de forma correta.

O indicador amplamente utilizado no século passado por países, setores e empresas, foram as despesas formais com P&D. Recorreu-se amplamente às pesquisas em inovação como fonte de comparação. No entanto, as pesquisas empíricas mostraram que o *design* e as atividades detalhadas de engenharia associadas ao *design* nem sempre se realizavam dentro do departamento ou grupo designados como departamento de P&D, o que tornava difícil a medição, uma vez que os gastos não seriam totalmente medidos, e expunha a fragilidade desse indicador (FREEMAN e SOETE, 2009). As *proxies* de entrada, como as despesas em P&D, são indicadores imperfeitos de um desempenho inovador do país, visto que a taxa de retorno dos esforços de P&D pode diferir bastante entre países e tempo (JOHNSTONE et al., 2009).

Outro indicador, certamente o mais utilizado para medir a produção de tecnologia, é o indicador de patente. As estatísticas em patentes têm várias aplicações e testemunham a inventividade de países, regiões, empresas ou de inventores individuais. Maior número de patentes significa mais invenções. Portanto, o indicador de patentes é um bom preditor de desempenho econômico. Também pode ser utilizado para mapear o processo de inovação, como cooperação em pesquisa, difusão de tecnologia de indústria ou países, ou do processo competitivo, como o mercado - estratégia de negócios - e servem para monitorar o sistema de patentes. Além disso, para conseguir padrões internacionais de pesquisa, ou seja, coinvenção internacional em atividades de ciências e tecnologia (C&T), as patentes fornecem dados dos inventores (OECD, 2009).

Nesse sentido, o melhor indicador para medir o desempenho tecnológico é o documento de patente, pois contém informações valiosas sobre a natureza da

invenção, do requerente e da área tecnológica. Também pode fornecer os atores que estão inovando ativamente em áreas tecnológicas, em que grau colaboraram, assim como ajudar os formuladores de políticas a identificar áreas fracas ou fortes em sistemas de inovação nacionais ou regionais (DERNIS; GUELLEC, 2001).

Contudo, as patentes não revelam todo o esforço e pesquisa por trás da invenção, já que não têm obrigatoriamente aplicação industrial. Às vezes, o inventor que fez o pedido da patente percebe que falta à sua invenção suficiente valor econômico ou que outra, superior à sua, vai ser comercializada mais rapidamente (OECD, 2009).

No entanto, o uso dos dados de patentes para medir a inovação de tecnologias emergentes – que não alcançaram o estágio de maturidade no mercado, como a energia eólica e a solar - enfrenta vários desafios reconhecidos. Ainda assim, os indicadores baseados em patentes às vezes são o único meio disponível para acompanhar o surgimento de tecnologias emergentes, como nanotecnologia e biotecnologia (OECD, 2009). Um desafio importante envolve a categorização, porque não é fácil identificar com precisão as tecnologias de energia renovável no registro de patente. Uma forma de mitigar o erro para identificar a tecnologia é recorrer ao IPC, e às palavras-chave (KLITKOU et al., 2010).

Klitkou et al. (2010) elaboraram um relatório para avaliar o desempenho tecnológico inovativo em energia de baixo carbono em cinco países nórdicos: Noruega, Suécia, Dinamarca, Finlândia e Islândia. Entre os indicadores usados para fornecer com precisão o desempenho tecnológico inovativo dos países nórdicos estão incluídas as patentes. O objetivo do documento foi dar aos tomadores de decisão uma ferramenta de conhecimento que permita avaliar o estágio do desenvolvimento da tecnologia relacionada à energia, com as informações necessárias para influenciar o desenvolvimento do setor. Pretende ainda desenvolver metodologias capazes de adaptar-se a pontuações mais abrangentes no futuro e servir de instrumento para melhorar a coleta de dados, apontando indicadores com dados disponíveis e propondo indicadores onde existem brechas de dados.

Na análise da pesquisa, os dados de patentes revelaram que a Dinamarca tem um nível alto de atividade inovativa em dois campos de tecnologia: o de energia eólica e biocombustíveis de segunda geração e o de hidrogênio. A Finlândia e a Suécia têm um alto nível de atividade nos biocombustíveis de segunda geração. A Noruega apresenta atividade em vários campos: energia solar fotovoltaica (PV), captura e

armazenamento de dióxido de carbono (CCS, sigla em inglês), hidrelétrica e hidrogênio. Os números de patentes da Finlândia não constaram do Escritório Europeu de Patentes (EPO).

Em outro estudo, Hu et al. (2017) analisam o desempenho inovativo da China em energia eólica, comparando-o com o dos países líderes do mercado global no setor, como Estados Unidos, Dinamarca e Alemanha. Utilizaram um conjunto de indicadores que desse maior rigor na comparação do desempenho inovativo. As métricas utilizadas são de entradas (*inputs*), saídas (*outputs*) e resultados (*outcomes*). As entradas medem a quantidade de recursos investidos nos orçamentos públicos de P&D. As saídas dizem respeito às exportações de tecnologia de energia, e os resultados avaliam os resultados intermediários do processo de inovação por publicações e patentes científicas.

Como os dados do PIB e P&D podem exagerar o desempenho de grandes países, principalmente em se tratando de comparações entre países de tamanhos diferentes, eles podem não bastar para medir o desempenho tecnológico inovativo, razão por que foram analisados e comparados os níveis das empresas líderes em energia eólica dos países. A Goldwind, para a China, a Vestas, para a Dinamarca, a Siemens, para a Alemanha, e a GE, para os Estados Unidos (HU et al., 2017).

A China lidera os gastos em P&D em energia eólica, gastos que ultrapassaram os dos Estados Unidos em 2010 e encostaram-se aos da Alemanha em 2015. Também lidera em produção de publicações científicas, tendo, em 2015, ultrapassado os Estados Unidos para tornar-se o maior produtor de publicações científicas em tecnologias de turbinas eólicas. De 30 publicações, em 2005, passou para 560, em 2015, uma taxa de crescimento anual de 37%. Já em pedidos de patentes, o desempenho chinês é fraco junto ao EPO ou ao Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos (USPTO). Em 2011, a China fez apenas 28 solicitações ao EPO e 40 ao USPTO. Antes de 2005, porém, praticamente nenhum chinês residente havia fabricado tecnologia de turbinas eólicas (HU et al., 2017).

Vários indicadores de inovação da China cresceram vertiginosamente, a despeito do déficit de patentes do país no EPO e USPTO. Ainda de acordo com a pesquisa de Hu et al. (2017), o número dos registros de patentes da Alemanha e dos Estados Unidos, apesar da redução de gastos em P&D e da diminuição dos financiamentos em ativos, continuou superando por larga margem os da China no EPO e no USPTO.

Em resumo, a China mostra-se um país inovador em tecnologias de energia eólica quando comparada aos líderes globais, exceto para os resultados das patentes, no EPO e no USPTO, e em exportação de tecnologia. Na comparação entre empresas, a dinamarquesa Vestas é a mais inovadora.

A inovação é um processo contínuo que requer investimentos constantes em P&D, gerando efeitos cumulativos em termos de capacidade tecnológica que impõem barreira dificilmente transponível para os países entrantes. Não basta apenas acompanhar o nível de investimentos: o tempo aplicado às pesquisas é fator determinante (HU et al., 2017).

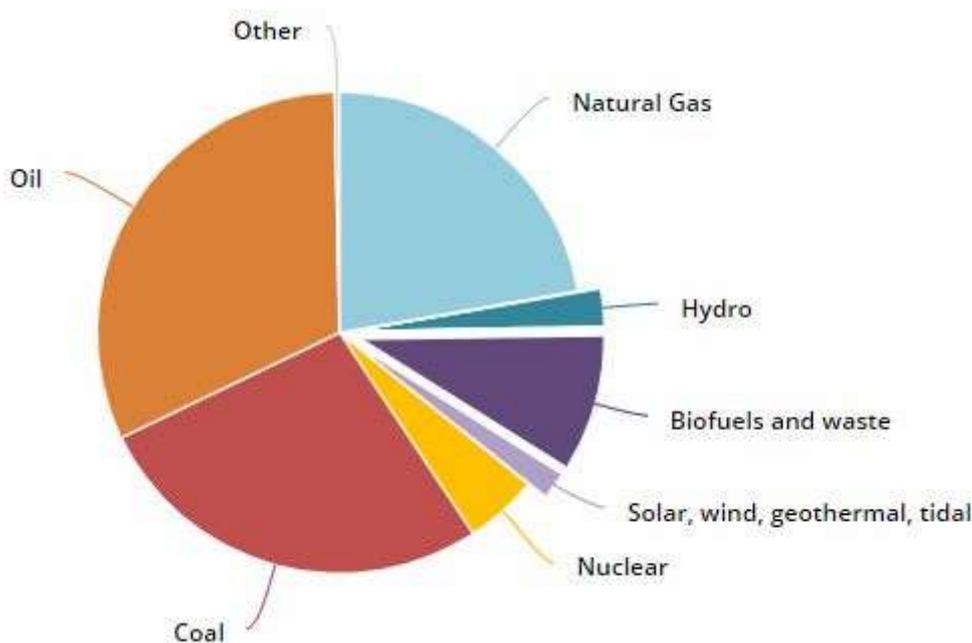
Conhecer o sistema de inovação no setor energético é fundamental para entender as mudanças no setor de energia e as oportunidades de mudanças para um sistema mais sustentável. O conhecimento do sistema de inovação pode fornecer uma visão do mercado de energias e oferecer novas soluções energéticas (BORUB et al., 2013).

2.2 Contexto

2.2.1 Energias renováveis no mundo

As mudanças climáticas alteraram o modo de os países olhar o planeta. Os dados revelados no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que se o nível da temperatura global exceder em 1,5°C, chegando a 2°C, o impacto para o meio ambiente será desastroso e para os seres humanos devastador (IPCC, 2018). Diante disso, os países não estão medindo esforços para reduzir a emissão GEE e alcançar os objetivos fixados no Acordo de Paris, em 2015. No entanto, os desafios são enormes, uma vez que a matriz energética mundial – dados de 2017 – compõe-se principalmente de fontes não renováveis: carvão (27,1%), petróleo e derivados (31,8%), gás natural (22,2%) e energia nuclear (4,9%). A participação das fontes renováveis totaliza somente 14%, assim dispostos: hidráulica (2,5%), biomassa (9,7%) e solar, eólica e geotérmica (1,8%) (IEA, 2019), conforme o gráfico 2.

Gráfico 2 - Matriz energética mundial (2017)



Fonte: IEA (2019)

A produção mundial dos combustíveis fósseis continua crescendo, com 2,2% em 2017 e 3% em 2018. Esse aumento foi impulsionado pela produção de carvão (3,3% em 2017 e 3,5% em 2018) e de petróleo (0,1% em 2017 e 2,4% em 2018). Já o gás natural cresceu 3,2% em 2018, após 4% em 2017 (IEA, 2018).

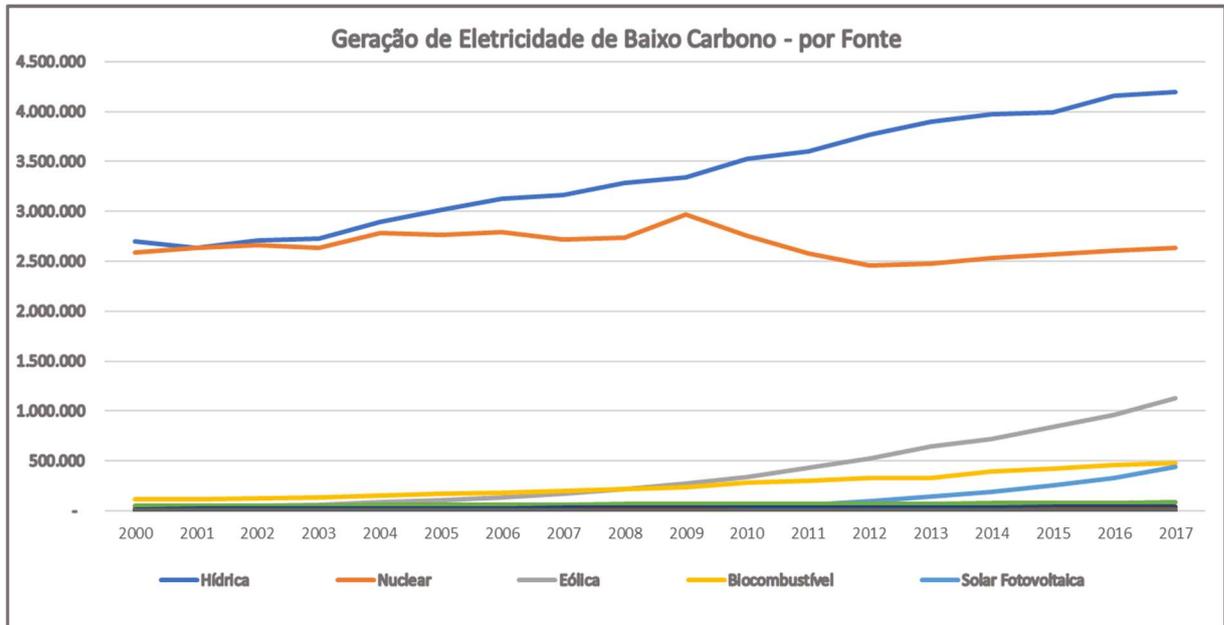
Uma das metas fundamentais da política climática adotada pelos países é eliminar o consumo da energia a carvão. Os Estados Unidos e a Europa vêm limitando a geração dessa energia, enquanto a China e a Índia ainda a empregam muito, com aumento de demanda em 2018 (IEA, 2018).

Fatores como os altos preços do carvão, ativos ociosos e os riscos à política climática não estão estimulando novos investimentos. Empresas do setor público, bancos, companhias de seguros e outros operadores estão saindo do negócio de carvão. Segundo as previsões da IEA (2018), a demanda global por carvão ficará estável até 2023 e a participação do carvão na matriz energética cairá de 27% para 25%, devido ao crescimento de energias renováveis e gás natural.

Embora ainda seja muito pequena a participação das fontes renováveis na matriz energética mundial, sua participação na geração de eletricidade vem crescendo: a energia eólica passou de 2,8% em 2004 para 19,2% em 2017; a energia solar, de 0,1% em 2004 para 7,6% em 2017 e com queda da participação da energia

hidrelétrica, 95,2% em 2004 para 71,6% em 2017 (IEA, 2019). Observa-se no gráfico 3 que a energia eólica e a solar são as únicas fontes de energia que cresceram continuamente depois de 2012:

Gráfico 3 - Geração de eletricidade mundial em GWH segundo diferentes fontes (2000 a 2017)



Fonte: IEA (2019)

Em 2018, as energias renováveis representaram mais de um terço da capacidade instalada global de energia, aumento que se deveu ao maior número de países comprometidos em reduzir a emissão GEE que expandiram sua capacidade instalada (REN21, 2019). Esse aumento da capacidade instalada é resultado das políticas de redução de CO₂ juntamente com a redução de custos e avanços tecnológicos do setor. As energias renováveis estão cada vez mais competitivas e começam a tornar-se mais viáveis.

A redução dos custos da energia eólica e solar fotovoltaica (PV) tornou mais econômica a geração de eletricidade a partir de novas usinas, em 2018, comparadas a usinas movidas por energias renováveis já é mais viável economicamente do que continuar operando as de combustível fóssil (REN21, 2019). Muito embora as energias renováveis sejam mais indicadas para gerar eletricidade, visto que são mais sustentáveis e não representam risco à saúde pública, além de promover a geração de novos empregos, o aspecto econômico da exploração dos combustíveis fósseis representa um entrave poderoso no caminho das energias limpas.

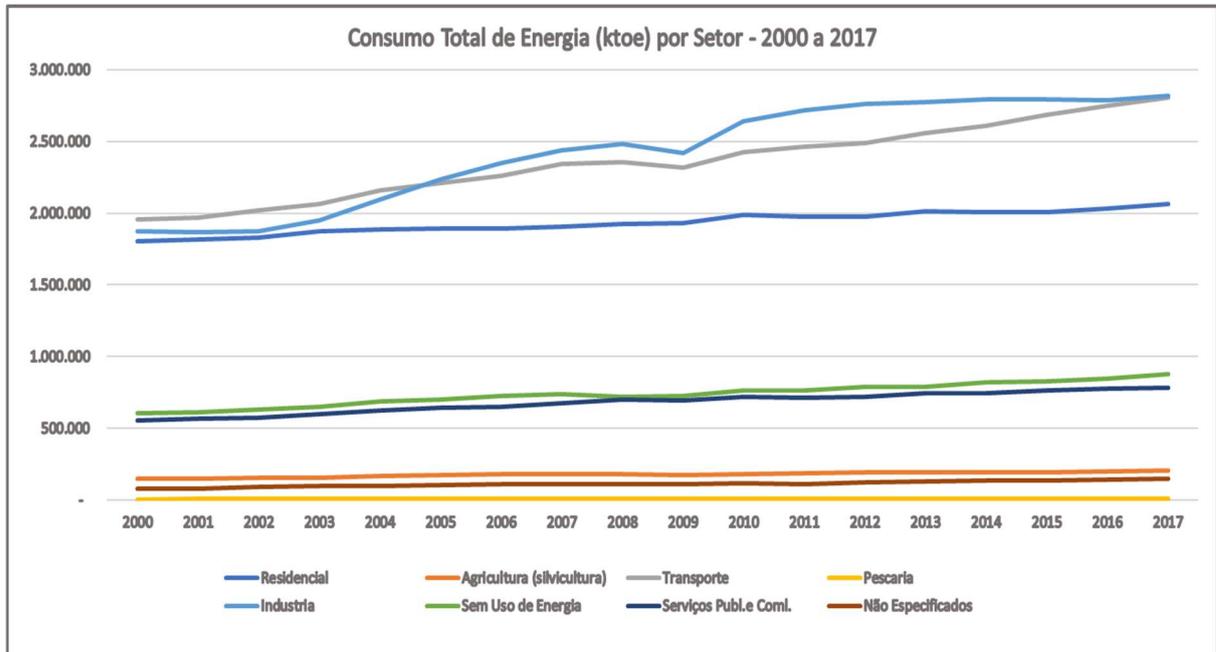
Merril et al. (2017) defendem que a *Fossil Fuel Subsidy Reform* (FFSR) e o aumento da tributação do combustível fóssil poderiam reduzir emissões de CO₂ e fornecer recursos domésticos iniciais e contínuos para o financiamento de projetos sustentáveis de desenvolvimento e transição energética sustentável. Para os autores, a combinação da reforma dos subsídios aos combustíveis fósseis, o aumento da tributação dos combustíveis fósseis e a economia dos subsídios revertida para as energias renováveis, juntamente com a regulação climática implementada, poderiam reduzir ainda mais as emissões.

De acordo com a *Breakthrough Energy Coalition* (2019), para levar energia, alimentos, transportes, bens e serviços a todos e diminuir a emissão de GEE, há uma série de desafios a enfrentar, divididos – para facilidade de entendimento - em cinco áreas: eletricidade, indústria e edifícios, transportes e agricultura. Dessas áreas, indústria e edifícios concentram o maior consumo de energia nos setores de aquecimento e refrigeração, gerada, basicamente, por combustíveis fósseis. A área de edifícios engloba cozinha, aquecimento de água, aquecimento de ambiente, refrigeração e refrigeração de ambiente. A de indústria, além do aquecimento e refrigeração, inclui o aquecimento de processos produtivos, aplicações de baixa temperatura - como nas indústrias de alimentos - e as aplicações de alta temperatura - como nas indústrias de cimento, ferro e aço.

Tanto a refrigeração quanto o aquecimento para fins residenciais, comerciais e industriais demandam muita energia. Segundo dados da *European Commission* (EC), o aquecimento e o resfriamento em edifícios e na indústria representam metade do consumo de energia da União Europeia (EC, 2019). De acordo com a Eurostat (2017), do total de energia consumida para aquecimento e refrigeração na União Europeia, as energias renováveis representaram 19,5%. Observa-se, contudo, que em quatro Estados-membros da UE mais da metade da energia utilizada para o aquecimento e refrigeração em 2017 proveio de fontes de energias renováveis. Eis os dados percentuais: Suécia, 69,1%; Finlândia, 54,8%; Letônia, 54,6% e Estônia, 51,6%. Observa-se no gráfico 4 que no consumo total de energia por setor a indústria consome 29,1%, transportes 28,9%, residências 21,2%, serviços públicos e comerciais 8,1%, agricultura 2,1%, pescaria 0,1%, uso não energético 9,0% e não especificado 1,5%. Os setores que mais consomem são o de transporte e a indústria, vindo aquele aumentando o consumo desde 2010, aproximando-se dos números de consumo da indústria. O consumo das residências é o terceiro que lista, mas seu

aumento não tem sido significativo. Os setores de serviços públicos e comerciais, agricultura, pescaria, uso não energético e não especificado não apresentam alterações relevantes ao longo do período.

Gráfico 4 - Consumo total de energia (ktoe) por setor – 2000 a 2017



Fonte: IEA (2019)

A energia renovável forneceu 9% da demanda de calor, em 2016, com o maior percentual proveniente da bioenergia. O aquecimento de edifícios residenciais e comerciais demanda temperaturas geralmente na faixa de 40° a 70° C, correspondentes ao aquecimento de ambiente e água. As fontes renováveis diretas - como calor solar térmico e geotérmico - estão aptas a atender a tais demandas, de modo que a eletricidade renovável pode ser usada para o aquecimento de ambientes, refrigeração e refrigeração de ambiente, entre outras aplicações (REN21,2019).

No setor industrial, a energia renovável forneceu cerca de 11% da demanda de calor para usos de temperatura baixa (abaixo de 100°C). Na indústria, a bioenergia forneceu 7% da demanda total de calor industrial. As tecnologias de bioenergia para o calor foram implantadas com sucesso nos setores de agricultura, celulose e papel. As tecnologias solares térmicas são usadas principalmente para pré-aquecimento de água, secagem e geração de vapor a baixa temperatura em indústrias de mineração, produção de alimentos e bebidas, têxtil e agrícola (REN21, 2019).

Entre os obstáculos a superar para que cresça a participação das energias renováveis no setor de aquecimento e de refrigeração contam-se a falta de infraestrutura para transportar energia térmica a diferentes locais – visto que o suprimento de calor é produzido no próprio local da demanda, como na geração de vapor em processos industriais ou em caldeiras de água quente em edifícios residenciais e comerciais – e o desafio tecnológico, uma vez que a energia renovável não consegue suprir a demanda de calor em altas temperaturas e pressões, exigindo tecnologia que nivele a demanda térmica com um suprimento renovável de aquecimento ou refrigeração (REN21, 2019).

O setor de aquecimento e refrigeração sofre com a falta de política pública eficaz, visto ser um setor fracionado e complexo, se comparado ao setor de energia elétrica. Segundo a Ren21 (2019), a solução para aumentar a captação de energia renovável para o aquecimento e refrigeração nos setores de edifícios e indústria seria implementar políticas que promovam o uso de tecnologias de calor renovável, reduzir o consumo de energia, exigir o uso de iluminação ou aparelhos eficientes e integrar as diversas tecnologias de energia renovável, tais como energia solar fotovoltaica e energia solar térmica. As fontes de calor renováveis podem ajudar a descarbonizar os edifícios e os setores industriais.

A área de transportes, por sua vez, apresenta o menor nível de uso de energia renovável - apenas 3% - embora responda por um terço da demanda global de energia e 14% das emissões globais de GEE. É uma área altamente dependente de combustível fóssil, mas com enorme potencial de crescimento no emprego de energia renovável. Assim como o setor de aquecimento e refrigeração, também padece da falta de política eficaz, ainda que seja necessário transformar ou substituir a energia em uso no setor de transportes para que os países atinjam os objetivos climáticos, que postulam concentração de esforços no setor (IRENA, 2019).

Uma alternativa factível é o veículo elétrico (VE), cuja energia pode ser suprida por fontes renováveis. Ademais, além de reduzir as emissões de CO₂ e, por consequência, a poluição do ar, pode ainda ser importante fonte de armazenamento para eletricidade renovável (IRENA, 2019). O biocombustível líquido e suas formas convencional e avançada de etanol e biodiesel representa ótima alternativa para os motores movidos a gasolina, diesel ou querosene. Em comparação com os dados correspondentes aos motores que empregam combustível fóssil, as reduções na emissão de CO₂ podem chegar a 80% e são essenciais para reduzir as emissões de

cargas pesadas, remessas e aviação. Em 2030, o biocombustível pode atingir 10% da energia do setor de transportes, mais que o triplo da sua participação em 2017 (IRENA, 2019).

Esse cenário revela a extrema necessidade de reduzir as emissões de CO₂ relacionadas à energia para limitar as mudanças climáticas. Vale dizer que a transição de energia não renovável para energia renovável é a solução para descarbonizar o setor energético até 2050, providência que requer a implantação acelerada de energias renováveis para apoiar a transição energética. A inovação em energias renováveis decerto ajudará a superar as barreiras impostas pelo setor, mas requer esforços em tecnologias, investimentos em P&D, implantação de políticas públicas e incentivos e subsídios às energias renováveis.

Irena (2017) elaborou o documento *Accelerating the Energy Transition Through Innovation*, no qual examina as condições necessárias para gerar inovação e produzir novas tecnologias para um futuro de baixo carbono. Do texto constam as seguintes recomendações:

- incentivar a inovação implantando políticas adequadas e de longo prazo;
- integrar o sistema de energia, ou seja, integrar fontes variáveis de energia renovável (VRE), solar e eólica, nas redes de energia existentes;
- descarbonizar setores de uso final, eletrificar transportes, edifícios e outros de usos finais;
- expandir a inovação além da pesquisa e desenvolvimento: os avanços tecnológicos têm de andar lado a lado com estruturas políticas inovadoras, novos modelos de negócios, mecanismos de financiamento adequados e uma série de medidas sociais para promover energias renováveis e eficiência energética.

A expansão das energias renováveis condiciona forçosamente uma inovação tecnológica contínua, políticas inovadoras e P&D, combinação sem a qual é inviável cumprir as metas climáticas, promover o avanço das energias e ter eficiência energética.

O sétimo objetivo estabelecido nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) visa levar energia para áreas e comunidades fora da rede do sistema de energia. Entretanto, apesar dos esforços nacionais e internacionais das últimas décadas e dos ganhos obtidos no acesso à energia, a meta a atingir até 2030 ainda

está muito longe. Estimativas dos ODS apontam que cerca de 600 milhões de pessoas continuarão sem acesso à eletricidade em 2040 (IRENA, 2017).

Assim, para atingir os objetivos de acesso à energia, é fundamental a implantação rápida de energia renovável fora da rede, inovação técnica, comercial e de mercado, de modo que as minirredes renováveis sejam acessíveis, mais sustentáveis, mais confiáveis, mais fáceis de instalar e tenham menor custo. A minirrede renovável é uma ferramenta modular que pode ajudar acelerar o ritmo de eletrificação. São sistemas autônomos, que dispensam postes e fios para conectar as comunidades à rede principal. A energia gerada por painéis solares é armazenada por baterias e pode ser utilizada tanto no período diurno quanto noturno (IRENA, 2016).

As fontes renováveis fora da rede oferecem tecnologias energéticas com um custo benefício ambientalmente sustentável, além de serem de rápida implantação. A fonte com maior destaque para atender às minirredes é a energia solar fotovoltaica, ideal para as condições locais devido ao custo baixo e à natureza modular. Contudo, ela não se aplica a equipamentos que exigem potência alta, como chuveiros e ferros de passar. O recurso, então, é que trabalhe em conjunto com as minirredes a diesel, que foram adaptadas para receber a geração de energia solar fotovoltaica (PV) (IRENA, 2016).

A fim de abranger todas as necessidades da energia renovável fora da rede, a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) organizou a *International Off-grid Renewable Energy Conference* (IOREC), realizada em Nairóbi, Quênia, em 2016, a terceira conferência organizada pela agência. A IOREC é uma plataforma global para compartilhamento de experiências e melhores práticas em *design* e implementação de políticas facilitadoras, esquemas de financiamento, modelos de negócios inovadores e aplicações de tecnologia para sistemas autônomos e sistemas de minirredes. Nessa conferência foram identificadas oito prioridades para o sistema de minirredes, a fim de cumprir os objetivos adotados pelas Nações Unidas em 2015:

- Integração de energia renovável fora da rede nas estratégias nacionais de eletrificação rural;
- Criação de um ecossistema para acelerar a implantação;
- *Design* de políticas e regulamentos dedicados;
- Desbloqueio do capital para acesso à energia;

- Identificação dos modelos de negócios certos para implantar renováveis fora da rede;
- Inovação para melhorar a acessibilidade, confiabilidade e variedade de serviços de eletricidade;
- Fortalecimento do acesso à energia sustentável e maximização dos benefícios;
- Aproveitamento do impacto intersetorial das energias renováveis fora da rede (IRENA, 2017).

De acordo com o relatório da conferência da *International Renewable Energy Agency* (IRENA), com a inovação tecnológica, os custos de geração de energia renovável podem ser reduzidos em 60% com a adoção das minirredes, num período de 20 anos (IRENA, 2017).

Diante desse quadro, para que as energias renováveis aumentem a sua participação na matriz energética mundial e contribuam para reduzir a emissão de GEE a fim de cumprir as metas estabelecidas pelos países signatários do Acordo de Paris, de 2015, é de fundamental importância avançar na inovação tecnológica do setor energético.

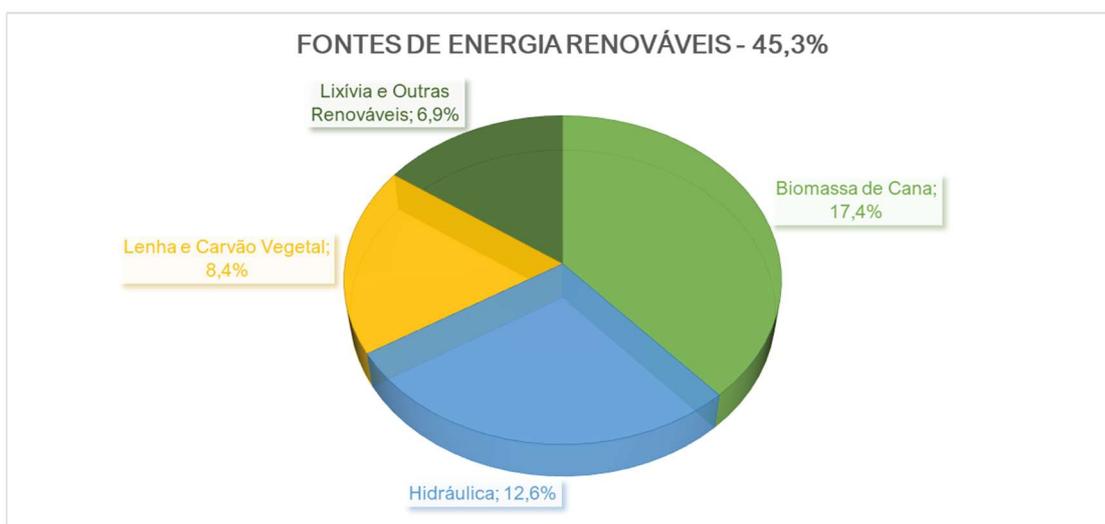
O avanço tecnológico “limpo” requer fortes investimentos em energias renováveis, a exemplo do salto de 50 bilhões de dólares por ano, em 2004, para 300 bilhões de dólares por ano, nos últimos anos. Apesar desse crescimento, os investimentos ainda não são suficientes para acelerar a transformação global em energia (IRENA, 2016). Cada vez mais, os países estão investindo em inovação em energias renováveis e aumentando os gastos em P&D visando reduzir a emissão de GEE, mas é preciso mensurar com critério objetivo esses esforços para comprovar o efeito positivo das iniciativas tomadas.

2.2.2 Energias renováveis no Brasil

Conforme as estatísticas do Balanço Energético Nacional (BEN), o Brasil, em 2018, atingiu a participação de 45,3% de energias renováveis na matriz energética, superando o indicador de 2017. O destaque foi para a energia solar, que cresceu 316,2%, a maior elevação em percentual da matriz energética. A eólica teve um crescimento de 14,4%, seguida pela hidráulica, com 4,1% e, na sequência, a bioenergia, com 2,4%. As estatísticas ainda indicam um aumento no volume das

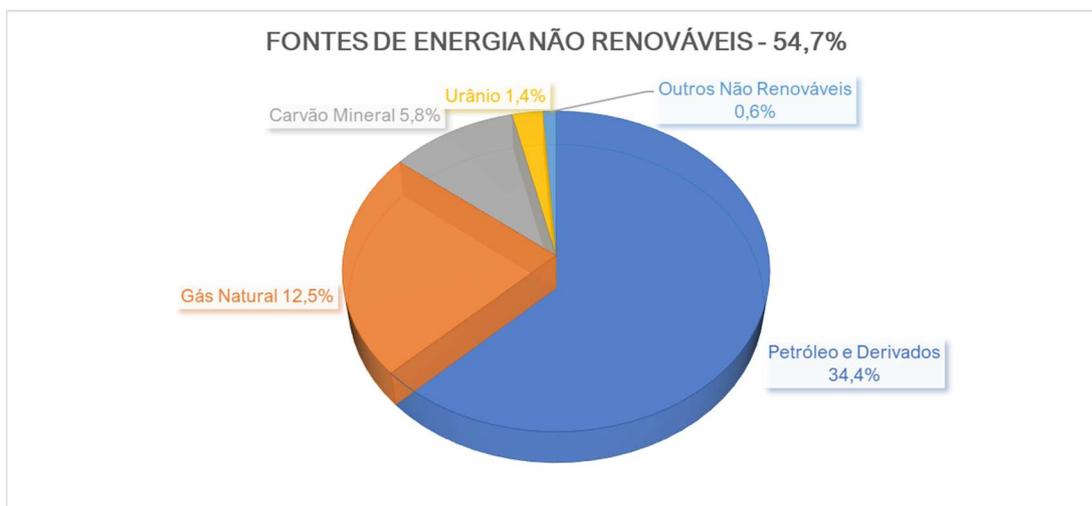
fontes renováveis, que foi de 4,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP). A participação da oferta de energia elétrica das fontes renováveis passou de 80,5% em 2017 para 83,3% em 2018. Distribuídas em 66,7% para hidráulica, bioenergia com 8,5%, eólica com 7,6% e solar com 0,5% (BEN, 2019). Os gráficos e quadros permitem uma melhor visualização dos dados.

Gráfico 5 - Participação das fontes renováveis da oferta interna de energia – OIE



Fonte: BEN (2019)

Gráfico 6 - Participação das fontes não renováveis da oferta interna de energia - OIE



Fonte: BEN (2019)

Tabela 1- Variação da oferta de energia elétrica das fontes renováveis, 2017-2018

Oferta de Energia Elétrica - Brasil (mil tep)			
Fontes de Energia Renováveis	2017	2018	△ 2017/2018
Lixívia	8.892	9.553	7,4%
Biodiesel	3.313	4.174	26,0%
Outras Biomassas ¹	1.280	1.351	5,5%
Biogás	191	204	6,7%
Gás Industrial de Carvão Vegetal	74	88	18,7%
Eólica	3.644	4.169	14,4%
Solar	72	298	316,2%
TOTAL	17.467	19.837	13,6%

¹ Inclui casca de arroz, capim-elefante e óleos vegetais

Fonte: BEN (2019)

Obs.: Lixívia é um subproduto da fabricação da celulose.

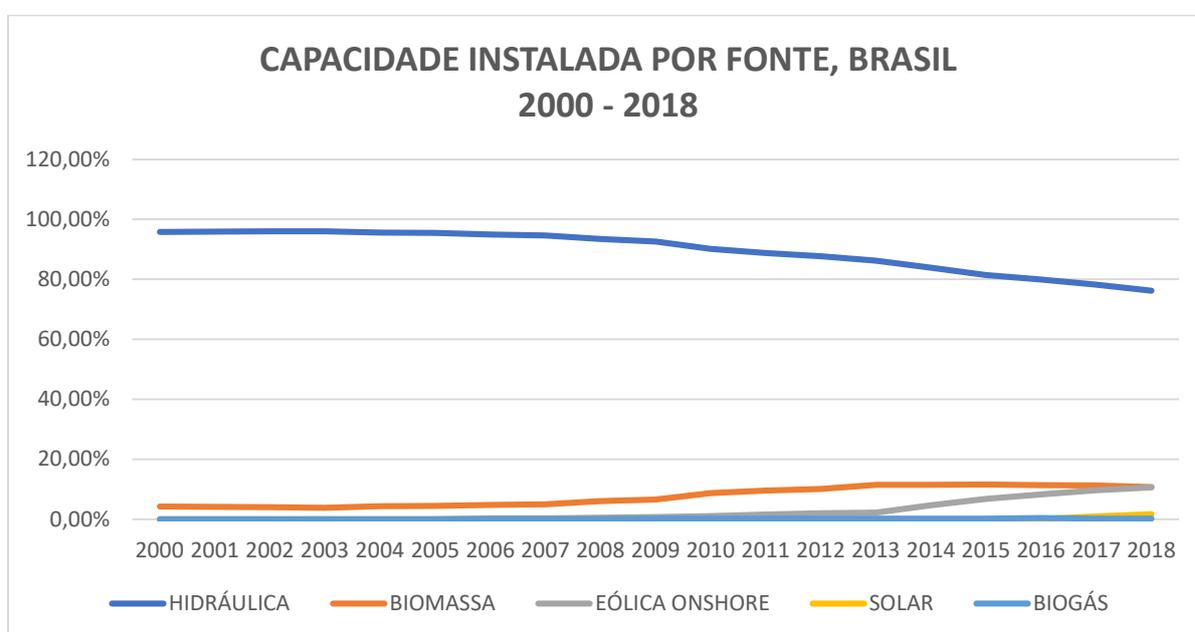
Segundo a IEA (2018), o Brasil tem o setor de energia menos intensivo em carbono do mundo, o que se explica pelas grandes usinas hidrelétricas, responsáveis por cerca de 80% da geração de eletricidade no País. Conta ainda, com alta radiação solar em praticamente todo o território brasileiro, o que favorece a geração de energia solar. As regiões Nordeste e Sul têm ventos intensos e regulares, o que favoreceu a instalação da maioria dos parques eólicos. As energias eólicas e solar apresentam-se, também, como alternativas de geração para períodos de seca, quando a capacidade hídrica é baixa, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do País. A biomassa da cana tem grande participação nas energias renováveis. A produção do bagaço de cana tem aumentado devido à maior produção de etanol, em consequência do consumo desse tipo de energia nos transportes. A participação do etanol no mercado de veículos leves passou de 36%, em 2017, para 42%, em 2018. No sentido contrário, houve queda da produção e da importação de gasolina (MME, 2019).

O Brasil é pioneiro em bioenergia e um dos líderes em energia eólica e hidráulica na América Latina. É, ainda, líder na produção de biocombustível, detendo a maior frota de veículos flexíveis movidos a etanol – álcool produzido pela fermentação de carboidratos em culturas de açúcar ou amido, como milho, cana de açúcar ou sorgo doce (IRENA, 2019).

Contudo, com a abundância de recursos hídricos, de custos menores e mais competitivos, o Brasil pouco investiu em alternativas de energias renováveis, mais especificamente, a eólica e a solar, o que explica a baixa participação destas energias em sua matriz energética. A sazonalidade no abastecimento dos reservatórios nos períodos de seca, porém, justificaria, por si o desenvolvimento de alternativas de energia limpa. Para Johnstone et al. (2009), embora as energias renováveis tenham aumentado sua participação na matriz energética dos países, ainda permanece limitada. Sem financiamentos públicos, os custos de sua produção ainda são elevados para que se viabilizem como substitutas às de origem fóssil.

O Brasil responde pela maior participação do total da capacidade instalada da América do Sul, 64,22% e 135.673 MW. A energia hidrelétrica tem destaque, com capacidade instalada de 104.195 MW, seguida da bioenergia, com 14.781 MW, e a eólica, com 14.401 MW. As outras fontes renováveis têm valores insignificantes (IRENA, 2019). Nota-se no gráfico 7 que a capacidade instalada da energia eólica e da solar é muito pequena, com a energia eólica apontando crescimento a partir de 2011.

Gráfico 7 - % Participação por fonte renovável na capacidade instalada, Brasil – 2000 a 2018



Fonte: IEA (2019)

Nesse cenário, é evidente que o Brasil dispõe de território favorável para a geração de energias renováveis e com grande capacidade de consumo de energia. Apesar do percentual elevado da participação das fontes de energias renováveis na matriz

energética, é preciso aumentá-la a fim de que o País cumpra o Acordo de Paris, 2015. O compromisso é diminuir, ainda mais, a emissão GEE. Para superar o desafio, o governo brasileiro precisa participar fortemente com financiamentos, incentivos fiscais e subsídios para aumentar a exploração no setor de energia renovável.

Para as energias renováveis terem condições de competir com as energias já existentes há tempo no mercado e com preços já consolidados, é necessário promover a inovação tecnológica no setor energético. De acordo com Pamplona e Yanikan (2015), como mecanismos de apoio financeiro à inovação para as empresas brasileiras, o Estado brasileiro tomou medidas entre 2004 e 2014 visando melhorar o desempenho tecnológico. Entre elas contam-se a Lei Federal Brasileira de Inovação (Lei nº 10.973/04); a criação dos Fundos de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (os fundos setoriais) e a promoção de incentivos fiscais, subvenção econômica e empréstimos. He et al. (2018) enfatizam que os mecanismos de incentivo de subsídios às energias são instrumentos necessários para promover a inovação das tecnologias renováveis até se tornarem maduras e poderem competir com as opções de tecnologias existentes, e que os investimentos em P&D se mostraram mais eficazes para energias imaturas do que as políticas de preços, as quais – ao longo prazo – podem envolver riscos.

2.2.3 Energia eólica no mundo

Embora ainda seja muito pequena a participação da energia eólica na matriz energética mundial, sua participação na geração de eletricidade vem crescendo, tendo passado de 2,8% em 2004 para 19,2% em 2017 (IEA, 2019). A energia eólica figura entre as tecnologias de energias renováveis que mais crescem. Em 2019, a energia eólica aumentou sua capacidade em cerca de 60 GW (com geração total de 586GW). Juntas, a energia eólica e a solar respondem por quase metade da capacidade das energias renováveis no mundo, somando 1209 GW e respondendo com predominância ao aumento da capacidade das energias renováveis. A expansão da capacidade instalada de energia eólica, no período de 2010 a 2019, para a energia eólica *onshore* foi de 334,3% e a *offshore* de 926,3%, conforme o gráfico 8:

Gráfico 8 - Evolução da capacidade instalada de energia eólica no mundo – 2010 a 2019



Fonte: Elaborado pela autora a partir de IRENA (2019)

Os países que mais contribuíram para essa expansão, em 2019, foram a China, com 26GW, e os Estados Unidos, com 9 GW. Metade das novas instalações aconteceram na Ásia, embora a região tenha crescido em ritmo mais lento que em 2018. A Europa e a América do Norte vêm crescendo gradativamente ano a ano. A África expandiu em mais 2 GW os 4 GW instalados em 2018. A América do Sul adicionou 1,5 GW, de 2018 para 2019 (IRENA, 2019).

O aumento universal da capacidade instalada das energias renováveis, mais especificamente da energia eólica, se dá em virtude da preocupação em reduzir as emissões de GEE e em tornar o planeta sustentável, refletindo o aumento do interesse dos países pelas energias renováveis. Não obstante, os desafios são enormes, uma vez que a matriz energética mundial se compõe principalmente de fontes não renováveis. A participação das fontes renováveis totaliza somente 14% - dados de 2017- assim dispostos: hidráulica (2,5%), biomassa (9,7%) e solar, eólica e geotérmica (1,8%) (IEA, 2019).

Uma das metas fundamentais da política adotada pelos países é eliminar o consumo da energia a carvão. Os Estados Unidos e a Europa vêm limitando a geração dessa energia, enquanto a China e a Índia ainda a empregam muito, com aumento de demanda em 2018 (IEA, 2018).

Zhang et al. (2018), em uma análise qualitativa e quantitativa de patentes em energia renovável e de combustível fóssil, no banco de dados de patentes da China

(SIPO), compararam a vantagem tecnológica entre a China, os Estados Unidos, Japão e países europeus, e constataram que a China vem crescendo rapidamente em energias renováveis, mais do que em combustível fóssil, apesar de persistir a desvantagem tecnológica quando comparada às de tecnologias de combustível fóssil.

Merril et al.(2017) defendem que a *Fossil Fuel Subsidy Reform* (FFSR) e o aumento da tributação do combustível fóssil poderiam reduzir emissões de CO₂ e fornecer recursos domésticos iniciais e contínuos para o financiamento de projetos sustentáveis de desenvolvimento e transição energética sustentável. Para os autores, a combinação da reforma dos subsídios aos combustíveis fósseis, o aumento da tributação dos combustíveis fósseis e a reversão da economia dos subsídios para as energias renováveis, juntamente com a regulação climática implementada, poderiam reduzir ainda mais as emissões.

Para limitar as mudanças climáticas, é de extrema necessidade reduzir as emissões de CO₂ relacionadas à energia. Vale dizer que a transição de energia não renovável para energia renovável é a solução para descarbonizar o setor energético até 2050, providência que requer a implantação acelerada de energias renováveis para apoiar a transição energética. A inovação em energias renováveis decerto ajudará a superar as barreiras impostas pelo setor, mas requer esforços em tecnologias, investimentos em P&D, implantação de políticas públicas e incentivos e subsídios às energias renováveis.

A energia renovável encontra várias barreiras que impedem o aumento de sua capacidade de geração. Uma delas é a integração do sistema de energia, ou seja, integrar fontes variáveis de energia renovável (VRE), solar e eólica, nas redes já existentes, inclusive em redes elétricas; de aquecimento e de sistemas de refrigeração; e de sistemas de abastecimento de transportes. Mas, para que haja essa integração, são necessárias medidas com um projeto apropriado das operações, regulação de mercado por agências de energia elétrica e melhoria da infraestrutura que facilita o acesso às energias renováveis (REN21, 2019).

A queda dos custos por kilowatt/hora – *onshore* (por terra) e *offshore* (fora da terra) tem impulsionado o aumento da capacidade em energia eólica, fazendo com que vários países aumentem a produção, tornando a energia eólica a opção de menor custo para novas capacidades de geração de energia em grande escala para um maior número de mercados do mundo. Por outro lado, o ambiente das eólicas se tornou muito competitivo. A competitividade dos preços tem exigido inovações

constantes do setor. Um exemplo são as turbinas terrestres, cada vez mais potentes, de 3 MW, em 2017, com tendência a aumentar para 4 GW, em 2018. O mesmo aconteceu com a chegada dos sistemas de armazenamento de baterias localizados em parques eólicos *onshore* e *offshore* (REW, 2018). A redução dos preços da energia eólica tem provocado diminuição do preço das turbinas. As empresas fabricantes de turbinas - General Electric Company - Vestas Wind Systems S/A, Siemens Gamesa Renewable Energy AS e Nordex SE viram seus lucros diminuir devido à redução de 50% nos preços das turbinas na última década (BLOOMBERG, 2018). Segundo a *Guidehouse insights* (2018), que analisa o mercado global de energia eólica, a queda dos preços está relacionada com as mudanças das políticas adotadas, que vão, desde os pagamentos fixos de suporte à energia eólica, como a tarifa de alimentação (FIT), aos leilões competitivos de contratos de energia e a outros mecanismos de preços dinâmicos mais competitivos.

A Alemanha adotou, desde 1991, a política de tarifas de alimentação (tarifas Feed-in) como estímulo à inovação e aumento do consumo em energias renováveis, uma vez que o país tem como estratégia empregar 100% de energias renováveis a fim de diminuir as emissões de GEE. Bohringer et al., (2017) utilizaram a contagem de patentes para medir o impacto da tarifa de alimentação alemã na inovação e concluíram que a tarifa tem efeito positivo na inovação.

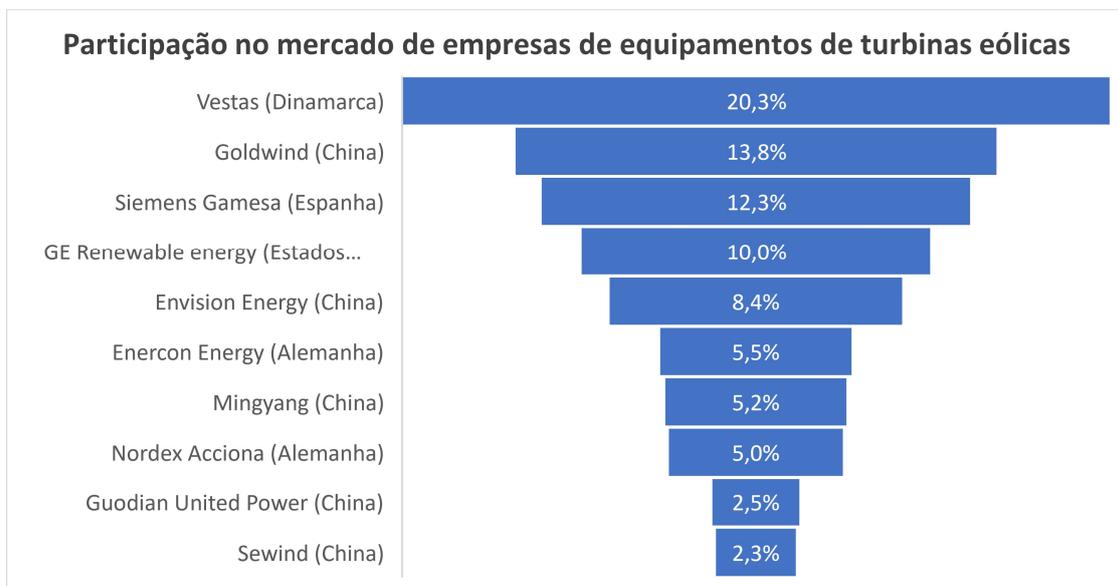
Os leilões e licitações em 2018 foram realizados em vários países como forma de concessão de capacidade de energia eólica. A média dos preços ofertados para a energia eólica *onshore* foi de aproximadamente US\$ 20 por MWh, uma diminuição de 66% em relação a 2017, quando os preços médios ofertados eram de US\$ 30. A Índia, a maior ofertante, vendeu capacidade de geração de energia com a menor tarifa do mundo para incentivar as energias renováveis e atingir seu objetivo de instalar 175 gigawatts de capacidade renovável até 2022. Os desenvolvedores de parques eólicos enfrentam sérios problemas em busca de grandes áreas onde construir os projetos e ter acesso a rede elétrica. Um projeto eólico leva menos de 2 anos de construção, enquanto a capacidade de transmissão pode levar de 3 a 4 anos (REW, 2019).

A forte concorrência vem tirando do mercado fabricantes menores de componentes de energia eólica e fazendo com que as empresas procurem alternativas para aumentar sua participação no mercado de energia, uma das quais consiste em estabelecer alianças em outros campos pouco explorados. A Vestas (Dinamarca), fabricante de turbinas eólicas, se uniu com a Newsan (Argentina),

fabricante de máquinas de café, torradeiras e chaleiras. O governo argentino, para atrair novos investimentos, oferece benefícios fiscais como tarifa zero de importação para os componentes da turbina eólica (pás, mastro e turbina eólica) (CLARÍN, 2018). Outro recurso utilizado pelas fabricantes são as fusões, como GE e Alstom para a criação da GE Energy; Siemens e Gamesa; e aquisição da LM-Wind líder na fabricação de pás, pela GE.

O setor eólico reúne poucos fabricantes de equipamentos (turbinas). O mercado, em 2018, contava com 37 fabricantes, e as 10 maiores empresas detinham 85% de participação, contra 75% em 2016 (REN21,2019). As maiores fabricantes se desenvolveram nos países onde a energia eólica é mais difundida - Estados Unidos, Alemanha, Dinamarca, Espanha e China - países que souberam aproveitar a expansão dessa fonte. No entanto, é forçoso ressaltar que a metade (5) das maiores empresas provém da China. Conforme o gráfico 9:

Gráfico 9 - Participação no mercado de empresas de equipamentos de turbinas eólicas



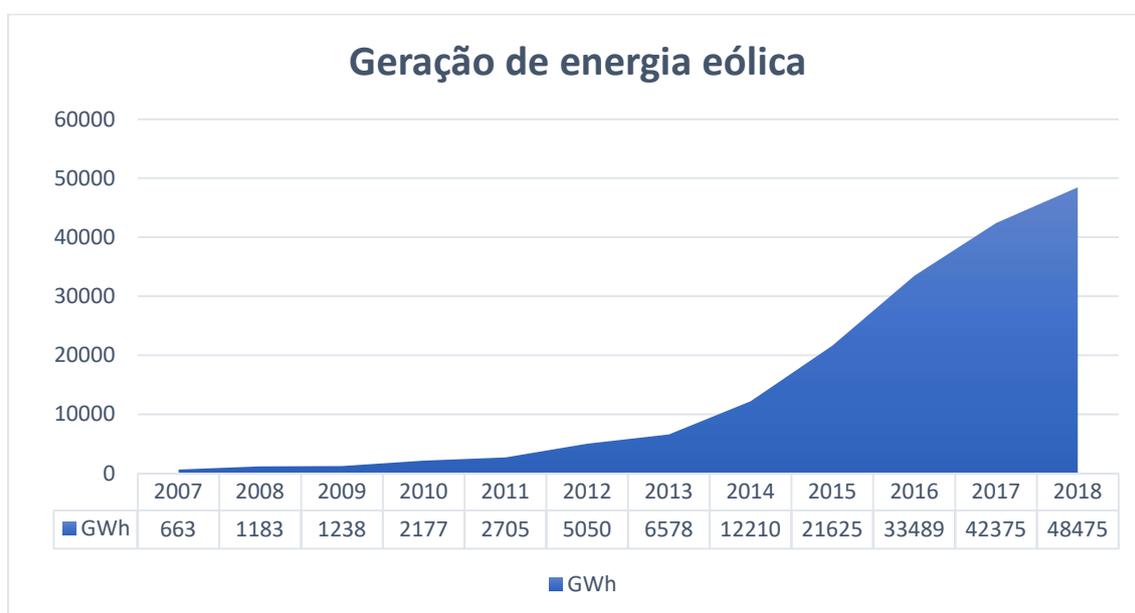
Fonte: Elaborado pela autora a partir de Ren21(2019)

Para Klassen et al. (2005), o desenvolvimento das tecnologias de turbinas eólicas se deve aos programas de P&D e à experiência que acumula no processo produtivo. A expansão da capacidade instalada dos países é parcialmente obtida por meio de incentivos financeiros para o aumento da demanda por energia eólica.

2.2.4 Energia eólica no Brasil

A participação das fontes de energia renovável na matriz energética brasileira, em 2018, atingiu 45,3%, superando o indicador de 2017. A energia eólica participa com 7,6%. Na matriz elétrica, as fontes renováveis têm participação ainda maior, de 83,3%, tendo sido, em 2017, de 80,5%. Os maiores aumentos se observam em energia eólica e hidráulica. Em geração elétrica, a energia eólica apresenta um aumento de 14,4%, comparando com 2017, que passou de 42.373 GWh para 48.475 GWh (BEN, 2019). No gráfico 10, temos a evolução da geração de energia eólica:

Gráfico 10 - Evolução da geração de energia eólica em GWh no Brasil – 2007 a 2018



Fonte: Elaborado pela autora a partir de BEM (2019)

Comparando o período de 2007 a 2018, a geração de energia eólica começou a aumentar a partir de 2010, quando gerava 2.177 GWh, e foi crescendo ano a ano, tendo atingido 48.475 GWh em 2018.

A geração de energia eólica está concentrada na região Nordeste do País, onde, em virtude das condições climáticas favoráveis, está situada a maioria dos parques eólicos. A região apresentou expansão na geração de energia, em 2016, de 60% quando comparada a 2015. Os Estados com maior geração de energia eólica foram: Rio Grande do Norte (10,59 TWh); Bahia (6,08 TWh); Ceará (5,87 TWh); Rio Grande do Sul (4,56 TWh); e Piauí (2,91 TWh) (ABEEÓLICA, 2016).

A energia eólica é umas das energias renováveis que mais crescem no Brasil, embora com participação ainda muito pequena. O País dispõe de recursos hídricos em abundância, a custos menores e mais competitivos, o que explica a baixa participação na matriz energética. No entanto, a sazonalidade no abastecimento dos reservatórios nos períodos de seca, por si, justificaria o desenvolvimento de energia eólica, quando, de julho a dezembro, o potencial eólico é mais intenso e coincide com a época de chuva mais escassas (SILVA et al., 2016). Além disso, o governo precisa reduzir a emissão de GEE para cumprir o Acordo de Paris, 2015. Para superar o desafio, cabe ao governo aumentar significativamente os financiamentos, incentivos fiscais e subsídios para expandir a exploração no setor de energia renovável.

Incrementar a energia eólica demanda o equacionamento da infraestrutura por meio do avanço tecnológico, visto que os custos da eólica são maiores que os das fontes fósseis. No processo de inovação, é fundamental a intervenção do governo com uma política nacional, uma regulação estatal formal, uma coordenação informal e fundos para P&D. Como resultado, haveria um fluxo financeiro público de inovação, incluindo financiamento privado de inovação e investimento de capital; marco legal, políticas e regras para a propriedade intelectual; fluxos tecnológicos, científicos e de informações; fluxos sociais, com inovações das organizações, que passam de uma empresa para a outra; e fluxos pessoais, que passam de universidade para indústrias e de empresa para empresa (NIOSI et al. 1993).

Com o objetivo de ampliar o aproveitamento e a participação das fontes alternativas de energia elétrica na matriz energética nacional, o governo tomou a iniciativa de implantar algumas reformas. Em 26 de abril de 2002, foi sancionada a Lei 10.438, revisada e ajustada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, pela qual se instituiu o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica).

O programa conta com o apoio financeiro do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento), além de outras instituições, como o BNB/FNE (Fundo Constitucional do Nordeste). Sua implementação, dividida em duas fases, tem por meta aumentar o fornecimento de energia elétrica para o País no prazo de 20 anos e, de acordo com a Lei nº 11.943, de 28 de maio de 2009, o prazo para essa meta é 2030. O apoio foi considerado extremamente importante para a energia eólica, uma vez que as centrais hidrelétricas e de biomassa já vinham sendo atendidas. Mas o programa encontrou dificuldades administrativas e barreiras durante a fase de

implementação, o que dificultou o acesso aos investidores em energia eólica. A meta de energia eólica estabelecida originalmente para 2008 só foi atingida em 2011 (IRENA, 2013).

Outra ação do governo para expandir a energia eólica foram os leilões específicos, o primeiro dos quais realizado no final de 2009, seguido de outros, com bom resultado. Segundo a ANEEL (2019), foram contratados no leilão de abril de 2019 44 empreendimentos eólicos, negociados a preço médio de R\$ 98,89 MWh. O objetivo dos leilões é baixar o custo do MWh e levar energia ao consumidor com menor custo.

O governo brasileiro, para aumentar a demanda de energia elétrica renovável, capturar tecnologia de fornecedores estrangeiros e criar um parque eólico brasileiro, estimulou a localização da indústria de aerogeradores no Brasil. Com a indústria doméstica, o País, além do desenvolvimento econômico, auferiu benefícios como: a venda de novos produtos; a criação de empregos; o aumento de impostos; a exportação de equipamentos de turbinas eólicas fabricadas no mercado interno; e economia de custos, resultando em equipamentos de turbinas eólicas com menor preço e, conseqüentemente, geração de eletricidade com melhor custo benefício. A evolução da energia eólica no Brasil e em outros países é devida à utilização de mecanismos de apoio ao setor, direta e indiretamente, com mecanismos de apoio a políticas no desenvolvimento da indústria doméstica. Assim como o Brasil, outros países implementaram a mesma política, como Espanha, China e Canadá (LEWIS; WISES, 2005).

A primeira fábrica de aerogeradores a se instalar no Brasil foi a Wobben Windpower Ind. Com. Ltda, subsidiária da empresa alemã Enercon, inaugurada em Sorocaba (SP), em 1995. Com a concessão de empréstimos fornecidos pelo BNDES às empresas estrangeiras, vários fabricantes de turbinas eólicas instalaram suas fábricas no País: Acciona Windpower (fusão com a Nordex), em Simões Filho (BA); Siemens Gamesa Renewable Energy (fusão), em Camaçari (BA); GE Water & Process Technologies do Brasil Ltda (aquisição Alstom), em Camaçari (BA); Vestas do Brasil Energia Eólica Ltda, em Itaitinga (CE); e Wind Power Energia S/A (IMPESA), em Cabo de Santo Agostinho (PE). A Weg Equipamentos Elétricos S/A, em Jaraguá do Sul (SC), é única empresa nacional. Em 2012, o BNDES condicionou a concessão de empréstimos apenas aos fabricantes que tivessem 60% dos produtos fabricados no Brasil. Somente seis montadoras foram homologadas no FINAME/BNDES (IMPESA, Wobben, GE, Alstom, Gamesa e Acciona) (ABDI, 2014).

No entanto, quando se trata de investimentos em pesquisa em energias renováveis, o Brasil investe muito pouco. Segundo o IPEA (2015), que analisou entre 1999 e 2012 o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) - principal fundo de apoio à pesquisa - os valores destinados às energias renováveis no Brasil, foram principalmente canalizadas para a biomassa (55%); seguida pela energia solar, eólica e marés (12%); hidrelétricas (8%); hidrogênio (7%) e outras energias renováveis (16%). O fato de o Brasil investir tão pouco em energias renováveis se prende à sua própria estrutura econômica, uma vez que, além dos altos custos em P&D, estão os investimentos em educação, a capacidade de fazer pesquisa e a integração de grandes laboratórios com institutos internacionais e com empresas interessadas em investir a longo prazo (IPEA, 2015).

O baixo nível de investimento em P&D se reflete no número reduzido de patentes e na qualidade delas. A maioria das patentes em energia eólica depositadas no Brasil são de residentes pessoas físicas (inventores independentes), sendo inexpressiva a contribuição das empresas (LEUSIN et al., 2018). Para Negri (2018), as patentes de pessoas físicas são menos viáveis economicamente se comparadas às das empresas, por não terem aplicação industrial. Juárez et al. (2014) apontam que o Brasil padece por falta de recursos humanos qualificados para o desenvolvimento da tecnologia em energia eólica no País.

2.2.5 Energia solar no mundo

O setor de energia no mundo está mudando, em especial devido ao crescimento na geração das energias renováveis, ao baixo custo das energias eólica e solar e à implantação de recursos de energia distribuída (DER). As condições de infraestrutura da rede permitem maior integração da demanda e da oferta, possibilitando a captação mais rápida de recursos de geração variável, como a energia eólica e a solar (IEA, 2020).

Segundo a IEA (2020), a capacidade de energia renovável deve aumentar em 50% entre 2019 e 2024. A energia solar fotovoltaica sozinha é responsável por 60% do crescimento estimado, e a geração fotovoltaica em 2018 cresceu 31%, o que representou o maior crescimento de todas as tecnologias renováveis (IEA, 2020).

A energia solar é gerada de duas formas:

- **energia fotovoltaica (PV)** - converte luz solar em eletricidade por meio de um dispositivo eletrônico. O fornecimento de energia por essa fonte pode ser em escala comercial ou em configurações menores, para minirredes ou uso pessoal. O uso dessa fonte de energia apresenta uma ótima solução para fornecer acesso às pessoas que moram longe das linhas de transmissão de energia, como em países em desenvolvimento e com recursos de energia solar;
- **energia solar concentrada (CSP)** - usa espelhos para concentrar os raios solares. Esses raios aquecem o fluido que cria vapor para acionar uma turbina e gerar eletricidade. A CSP é usada para gerar eletricidade em usinas de grande escala. A grande vantagem de uma usina CSP sobre a usina fotovoltaica solar é que se pode armazenar o calor mediante os sais derretidos, o que possibilita a geração de eletricidade mesmo após o pôr do sol (IRENA, 2019).

O gráfico 11 ilustra o crescimento mundial da capacidade instalada de energia solar no período de 2010 a 2019. A energia fotovoltaica apresenta crescimento de 1340% no período, enquanto a energia termal (CSP) apresenta 395%.

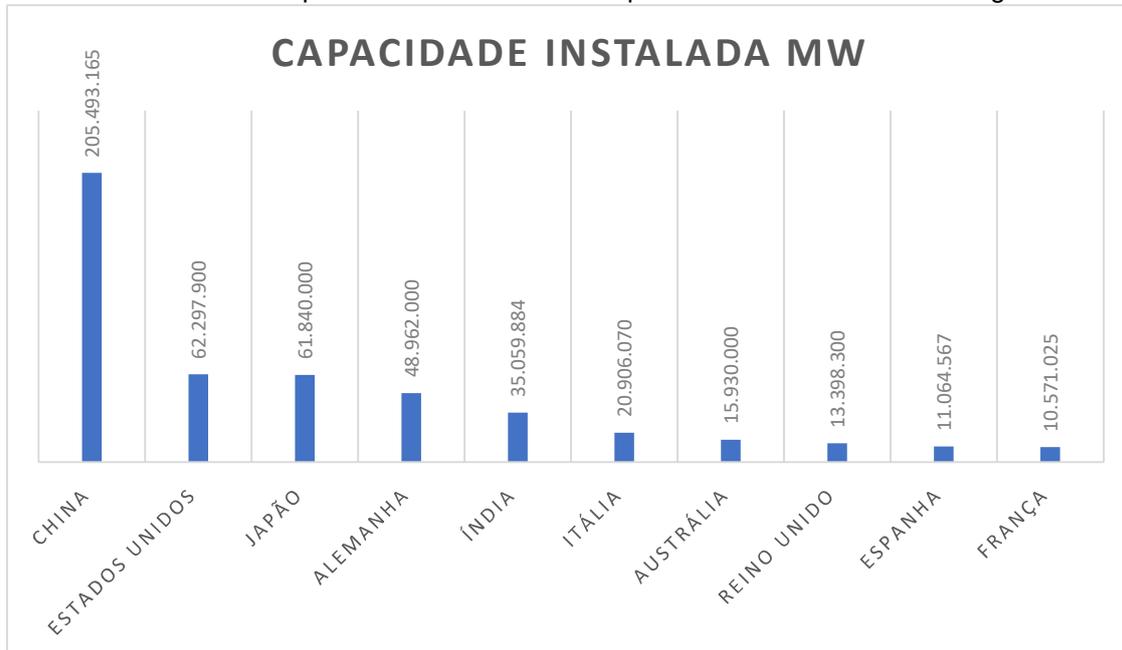
Gráfico 11 - Capacidade instalada de energia solar fotovoltaica e termal no mundo – 2010 a 2019



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Irena (2019)

A China tornou-se o maior consumidor de energia do mundo e vem enfrentando muitos desafios nesse campo, a exemplo da sustentabilidade energética, aquecimento global e poluição ambiental. Tais desafios puseram o país no caminho das energias renováveis. Mediante políticas de incentivo à geração dessas energias, a China atingiu a maior capacidade instalada de energia solar e está entre os 10 países com maior capacidade instalada, à frente dos Estados Unidos, Japão, Alemanha, Índia, Itália, Austrália, Reino Unido, Espanha e França (IRENA, 2019), como registra o gráfico 12.

Gráfico 12 - Os 10 países com a maior capacidade instalada de energia solar – 2019



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Irena (2019)

Nas últimas décadas, a indústria fotovoltaica da China vem-se desenvolvendo rapidamente, tendo-se tornado a primeira em capacidade de produção no mundo. No entanto, enfrenta problemas de excesso de capacidade. A geração e a utilização da energia solar demandam melhorias na capacidade de geração das usinas fotovoltaicas para atender o mercado doméstico e resolver o problema de perda de energia durante o transporte. O desenvolvimento da energia solar fotovoltaica distribuída na China se deu principalmente pelas políticas de incentivo (ZHAO et al., 2015).

São vários os instrumentos de políticas de apoio que diferentes países adotam em relação à energia solar. Podemos incluir as tarifas *feed-in*, subsídios, medição

líquida, etiquetas verdes, portfólios de energia renovável, apoio financeiro, investimento público, créditos tributários, mandatos governamentais e provisões regulatórias. Apesar de todo o potencial técnico, o desenvolvimento e a implantação em larga escala de tecnologias de energia solar em todo o mundo ainda precisam superar as barreiras técnicas, financeiras, regulatórias e institucionais, e o apoio político será necessário por muitas décadas para que a energia solar continue crescendo em países desenvolvidos e em desenvolvimento (TIMILSINA et al., 2012).

Qiang et al. (2014), comparam os instrumentos de políticas da indústria fotovoltaica da China com os dos Estados Unidos, Alemanha e Japão, os três principais fornecedores fotovoltaicos e os principais consumidores. A China mantém muitas políticas de energia fotovoltaica PV, políticas, no entanto, que foram lançadas sem orientação da estratégia nacional do portfólio de energia, sob pressão externa. Os incentivos estão voltados à oferta de mercado. Desde 1988, o governo isenta de tarifa de importação e exportação os produtos fotovoltaicos, oferece redução tributária aos fabricantes de fotovoltaicas, dedução de despesas em P&D em até 50% dos custos totais de pesquisa e uma política de reembolso do IVA de 17% nas vendas de baterias fotovoltaicas. Além disso, concede empréstimos e garantias preferenciais aos fabricantes de energia fotovoltaica e atua na transferência de tecnologia, facilitando vários planos nacionais de tecnologia e projetos-piloto nos principais laboratórios nacionais.

A China pode aprender com a experiência dos Estados Unidos e do Japão a manter os investimentos em P&D e enfatizar a demanda orientada para o mercado interno. Concluir o mecanismo de tarifa *Feed-in* e estabelecer um sistema de política de energia solar distribuída, incluindo padrões de interconexão e medição líquida. Estabelecer um mecanismo de financiamento centrado no usuário, como garantias de empréstimos, créditos de impostos sobre investimentos e financiamentos de terceiros. As políticas devem ser equilibradas do lado da oferta até que a indústria e o mercado se tornem maduros, momento em que podem ser substituídas por políticas do lado da demanda. Em contraste com a Alemanha e Japão, que mantêm o equilíbrio do conjunto de políticas independentemente do estágio de evolução da indústria, a China não criou mecanismos de saída de instrumentos de política. A Europa é um bom exemplo para a China no item tarifa de alimentação em razão da maturidade de seu mercado de energia elétrica. Os usuários de energia fotovoltaica, incluindo residentes e empresas, podem comercializar sua eletricidade solar no mercado nacional de

energia elétrica a preço de mercado. Estados Unidos e Japão também têm um bom mecanismo de comercialização e tarifação em seus sistemas de eletricidade (QIANG et al., 2014).

O México aumentou sua demanda total de energia - todas as energias - em 25% desde 2000, mas o consumo ainda é inferior a 40% se comparado ao dos países da OCDE, o que demonstra o potencial de crescimento. Seu mix de energia é dominado por petróleo e gás, monopólios estatais, que provocam severa poluição ambiental. Esse cenário levou, em 2013, a uma reforma energética que compreendia a transformação dos setores de petróleo, gás e eletricidade do país, com a abertura da concorrência em todo o setor energético, atraindo capital estrangeiro e tecnologia. O mercado de energia solar é incipiente e os primeiros leilões da nova fonte de alimentação de longo prazo aconteceram em 2016, com a expectativa de fazer crescer a capacidade solar fotovoltaica dos 0,2GW de 2015 para quase 30 GW em 2040 (IEA, 2016).

Tão importante como os instrumentos de políticas de incentivos são os investimentos no setor solar. Em 2018, quem mais investiu em energia solar e eólica foram as economias desenvolvidas, seguidas pela China. O Reino Unido investiu em uma usina solar no Marrocos (800 MW), que combina energia fotovoltaica solar com concentração de energia térmica solar. Os Estados Unidos, que constituem o maior mercado de energia solar em pequena escala, investiram em sistemas fotovoltaicos solares menores de 1MW. Alemanha, Austrália, Índia, Japão e Holanda também fizeram investimentos significativos. Os investimentos em P&D corporativo e governamental aumentaram em 2018, com destaque para a China, país que mais investiu no geral, seguida pelos países da Ásia (excluída a Índia) (REN21, 2019).

A energia solar vem crescendo rapidamente nas últimas décadas, recebendo cada vez mais investimentos de todas as economias e, conseqüentemente, reduzindo custo dos equipamentos solares e tornando o mercado mais competitivo. No entanto, para Lewis (2016), lacunas tecnológicas ainda dificultam a implantação em larga escala e econômica, combinada com tecnologia de armazenamento para o fornecer energia confiável. Para tanto, a inovação tecnológica é imprescindível, aliada ao desenvolvimento de materiais mais leves, flexíveis e robustos, que permitem reduzir o custo dos equipamentos e da instalação.

A WIPO (2018) relata que, desde 2003, os números de pedidos de patentes estão crescendo no mundo, com exceção de 2009, quando diminuíram em 3,9%,

devido à crise financeira. Em 2017, o Escritório Estatal de Propriedade Intelectual da China (SIPO) recebeu 1,38 milhão de pedidos de patentes, mais que o dobro recebido pelo USPTO, que totalizou 606.956. Em terceiro lugar ficou o Escritório de Patentes do Japão (JPO), com 318.479 formulários, na frente do *Korean Intellectual Property Office* (KIPO), com 204.775, e do EPO, com 166.585. Os cinco escritórios representaram 84,5% do total mundial. Segundo a WIPO (2018), os números de depósitos de patentes de 2017 não sofreram alterações, tendo-se mantido estáveis em relação a 2016. Os 10 escritórios nacionais de patentes receberam registros de residentes e não residentes. Os escritórios da China, Japão e Coreia, receberam a maior parte dos depósitos de residentes. Austrália, Canadá, Índia e EUA, por sua vez, receberam depósitos de não residentes. Os depositantes de patentes, para protegerem suas invenções em mercados estrangeiros, consideram a localização geográfica, laços comerciais ou a residência do titular da patente. Um exemplo é o México, onde toda a atividade de não residentes vem dos Estados Unidos, Alemanha e da China.

A pesquisa de Paulo e Porto (2018) revela a predominância dos depósitos de patentes em energia solar fotovoltaica dos países asiáticos, com 79,1% do total das patentes, no período de 1998 a 2017. Os depósitos de patentes são protegidos em primeiro lugar na China, Japão e Estados Unidos. O mesmo estudo identificou as tecnologias com maior número de patentes para dispositivos adaptados para a conversão de energia de radiação em energia elétrica (56%), montagem de uma pluralidade de celular solares (18%), e dispositivos (9%). Essas três tecnologias representaram 83% dos IPCs das classificações das patentes PV. As empresas japonesas dominam os depósitos de patentes (70%), seguidas pelas empresas coreanas, francesas, americanas e chinesas. Destaca-se que a participação das universidades ainda é pequena.

Outro estudo sobre energia solar no mundo, feito a partir das publicações científicas entre 1991 e 2010 (DONG et al., 2012), compreendeu periódicos de todas as categorias do *Science Citation Index*, com as palavras-chave: “*solar cell*”, “*solar energy*”, “*solar power*”, “*solar radiation*” e “*solar thermal*”, nos campos de pesquisa título, resumo e palavras-chave. O objetivo foi avaliar a tendência da pesquisa no setor e colaborar com pesquisadores para o entender a dinâmica das investigações. Os autores identificaram forte crescimento das publicações de energia solar naquele período e maior número de países colaborando com artigos sobre energia solar. Os

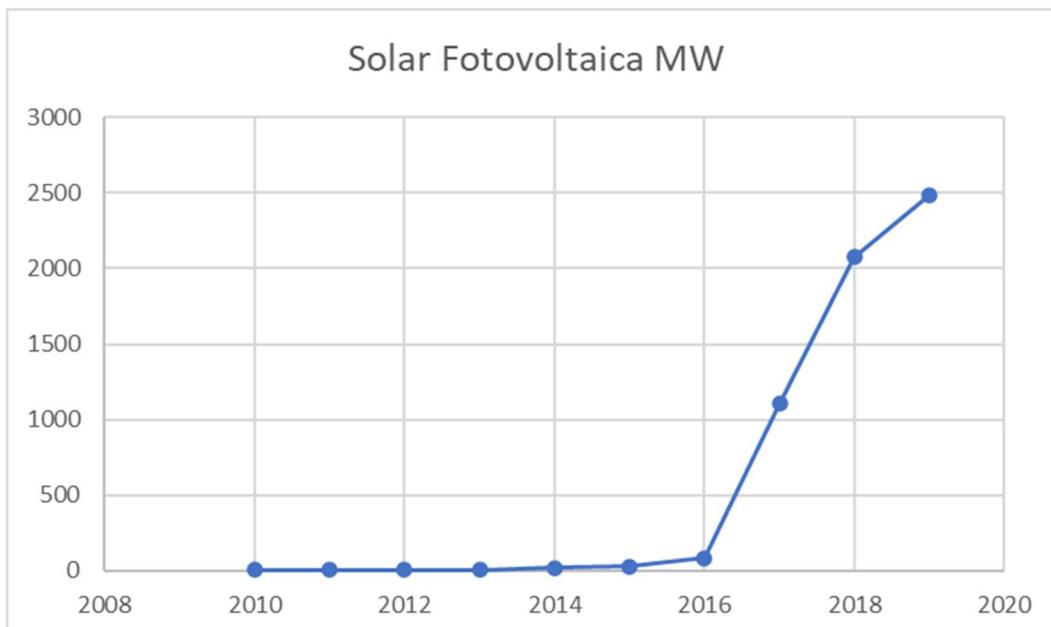
EUA foram o país com mais artigos relacionados e o parceiro que mais aparece nos artigos colaborativos internacionais. Os artigos da China e da Coreia do Sul tiveram o maior crescimento dos últimos cinco anos. Estados Unidos, China, Japão, Alemanha e Reino Unido foram os países mais produtivos. Os periódicos com mais publicações em energia solar são: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *Thin Solid Films*, *Applied Physics Letter*, *Journal of Applied Physics*, *Solar Energy* e *Renewable Energy*.

2.2.6 Energia solar no Brasil

O Brasil tem o setor de energia menos intensivo em carbono do mundo. Quando comparada com outras economias, é 17% menos intensiva que a europeia, 48% menos do que a americana e 68% menos do que a chinesa (IEA, 2016). A participação das energias renováveis na matriz elétrica é de 83,3%, porém a da energia solar é de apenas 0,5%, mas vem crescendo nos últimos anos. A geração de eletricidade da energia solar fotovoltaica, em 2017, foi de 832 GWh, enquanto, em 2018, foi 3.461 GWh, representando um crescimento de 316,10% (BEN, 2019).

O Brasil vem aumentando sua capacidade instalada desde 2010, quando era de 2MW, que saltaram para 2.488 MW em 2019, conforme o gráfico 13.

Gráfico 13 - Capacidade instalada no Brasil de energia solar fotovoltaica – 2010 a 2019



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Irena (2019)

O Brasil conta com alta radiação solar em praticamente todo território, o que favorece a geração de energia solar. Como estímulo para o crescimento dessa energia, o governo brasileiro promoveu alguns incentivos destinados a inovar a tecnologia do setor (SILVA, 2015):

a) Regime especial de Incentivos para o desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI): isenção da Contribuição para o Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), para comercialização de equipamentos destinados a usinas geradoras de energia solar e assemelhados;

b) Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS): o programa incentiva as empresas que queiram produzir e comercializar células e painéis fotovoltaicos, isentando de tributos e impostos federais, em contrapartida são obrigadas em investir em P&D;

c) Lei da Informática: possibilita reduzir a alíquota do IPI para inversores e baterias com fabricação nacional até 31/12/2029, com a condição que as empresas invistam o mínimo em P&D;

d) Incentivos financeiros promovidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES): redução de taxas de juros em relação as de mercado e prazo de pagamento de até 20 anos, para geração de energia eólica e solar, dentre outras fontes alternativas; e estabelecimento de condições incentivadas para o Leilão de Energia de Reserva de 2014 (LER 2014);

e) Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO): financiamento gerido pelo BNDES para ações direcionadas a redução de consumo de energia e elevação dos níveis de eficiência global em energias renováveis;

f) Inova Energia: tem o objetivo de fomentar à inovação para o desenvolvimento tecnológico das empresas na área de energias renováveis: solar fotovoltaica, termossolar e eólica para a geração de energia elétrica;

g) Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): Para melhor eficiência energética por parte das empresas do setor de energia elétrica, a Lei nº 9991, de 24 de junho, dispõe que as empresas concessionárias, e empresas de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a investir 0,75% da receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, para programas de eficiência energética 0,25%.

h) Laboratório de Energia Fotovoltaica Richard Louis Anderson: foi construído pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, por meio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), para incentivar a P&D em toda cadeia de produção de energia fotovoltaica do País.

O território brasileiro oferece grandes oportunidades para o desenvolvimento da energia solar, que, associadas aos incentivos de políticas públicas podem aumentar muito sua participação na matriz energética. Os efeitos desejados dos incentivos, entretanto, levam tempo para vir à tona. Por exemplo o convênio da CONFAZ nº101, de 1997, considerado um sucesso na energia eólica, produziu efeitos somente a partir de 2004 (SILVA, 2015).

Outro obstáculo apontado por Silva (2015) foram as alterações regulatórias no setor elétrico (medidas provisórias, leis, decretos, resoluções etc.), o que se traduziu para os investidores como aumento de incertezas e risco elevado, fazendo com que reavaliassem a alocação do recurso no setor. Outro entrave é a questão tributária, que isenta o imposto de importação de células fotovoltaicas e dos seus componentes ao todo 18, mas apenas 3 alcançados pela isenção, que caminha em sentido oposto à política de incentivos do BNDES para a nacionalização desses componentes. Espósito e Fuchs (2013) enfatizam a ausência de apoio no Brasil para a produção de painéis fotovoltaicos, principalmente se considerado que as alíquotas para a importação desses equipamentos são zero e para a produção e montagem nacional incidem os impostos correntes.

Comparada às energias tradicionais, a solar continua cara. Para viabilizar o mercado, é necessário diminuir o preço. Segundo Espósito e Fuchs (2013), são fundamentais medidas como articular as políticas industrial e de inovação com a política energética; tornar as redes elétricas inteligentes, uma vez que a energia solar é fonte intermitente, que gera distúrbios na rede elétrica; capacitar e treinar pessoas para atividades de P,D&I, para a massificação das tecnologias, com níveis mais altos

de complexidade na instalação, operação e manutenção de ativos. Sem essas ações, o País correrá o risco de ser importador de tecnologias de energia solar quando a estrutura do mercado global estiver consolidada.

Azevedo et al. (2018) analisaram a produção tecnológica no setor de energia solar por meio de patentes. Pesquisaram as patentes nas bases do INPI, EPO e USPTO no período entre 2004 e 2016. O estudo constatou baixo nível de depósitos de patentes no INPI, baixo investimento das empresas nesse setor e pequena participação de inventores do País quando comparado ao EPO e ao USPTO. Concentram maior número de patentes as áreas do conhecimento de engenharia mecânica, iluminação e aquecimento.

Paulo e Porto (2018) analisaram a evolução das redes colaborativas de tecnologias aplicadas à energia solar. O estudo utilizou patentes de energia solar entre 1997 e 2016 no Brasil e no Japão. Apesar de estudos e projetos cooperativos entre os dois países, os depositantes japoneses não veem o mercado brasileiro como relevante para proteger suas tecnologias, talvez porque a exportação da mesma tecnologia não represente uma ameaça de cópias, devido à falta de capacitação tecnológica dos atores locais para seu uso.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Caracterização e tipo de pesquisa

O presente trabalho é caracterizado como descritivo. Para Gil (2008), a pesquisa descritiva tem por objetivo descrever as características de uma população, fenômeno ou de uma experiência. Quanto à abordagem, esta pesquisa se enquadra como quantitativa pelo uso que faz de uma base de dados de patentes que propicia análises estatísticas descritivas sobre as invenções e titulares.

3.2 População e amostra

A amostra abrange todos os depósitos de patentes com entrada em todos os escritórios nacionais de patentes do mundo assim como as produções científicas em energias solar e eólica, entre 2000 e 2017.

3.3 Técnica de coleta de dados

A primeira etapa desta pesquisa é a coleta de dados contidos nos registros de patentes disponíveis para consulta nos escritórios de patentes vinculados à *World Intellectual Property Organization* (WIPO). O documento de patente apresenta várias informações sobre a invenção, o inventor e as organizações responsáveis pela tecnologia. O primeiro passo é construir de uma base de dados a partir das variáveis extraídas dos documentos de patentes: número da patente (*publication number*): depósito original; título da patente (*title*): título original da patente; data de depósito (*application date*): data de depósito da patente; IPC: código referente à área tecnológica; titular da patente (*assignee-standardized*): depositante da patente; ano de depósito (*application year*): ano de depósito da patente; ano de publicação (*publication year*): ano de publicação da patente; país de depósito (*application country*): país de depósito da patente; país de publicação (*publication country*): país de publicação da patente. Os dados são coletados por meio da base de dados do *WIPO-PATENTSCOPE*, que reúne dados dos principais escritórios de patentes e permite o acesso aos documentos de patentes, e do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). As buscas são feitas a partir das palavras-chave para energia eólica: “FP:(

“wind energy”) OR FP:(“wind power”) OR FP:(“wind farm”) OR FP:(“wind turbine”) DP: [01.01.2000 TO 31.12.2017]”. No INPI, com as palavras-chave “energia and eólica”, nos campos de pesquisa “título” e “resumo”. Para a energia solar, as buscas são feitas a partir das palavras-chave “FP:(“solar energy”) OR FP:(“solar power”) OR FP:(“solar thermal”) OR FP:(“photovoltaics”) DP:[01.01.2000 TO 31.12.2017]”. No INPI, com as palavras-chave “energia and solar”, nos campos de pesquisa “título” e “resumo”.

A segunda etapa é a bibliometria das produções científicas relacionadas à energia eólica e à solar de 2000 a 2017. A pesquisa dos artigos científicos é realizada em periódicos indexados pelo *Web of Science Core Collection*, sobre energia eólica e inovação, publicados entre os anos de 2000 e 2017. São procuradas as palavras-chave “innovation” e (“ wind energy” OR “ wind power” OR “wind farm” OR “ wind turbine”), (01.01.2000 TO 31.12.2017)”, em títulos, resumos e palavras-chave. Para a energia solar, são pesquisados energia solar e inovação, publicados entre 2000 e 2017. São procuradas as palavras-chave “innovation” e (“solar energy” OR “solar power” OR “solar thermal” OR “ photovoltaics”) (01.01.2000 TO 31.12.2017)”. De acordo com Braum et al. (2000), o banco de dados da Web of Science (WoS) é amplamente aceito e o de uso mais frequente para analisar publicações científicas.

3.4 Tratamento dos dados e análise

A plataforma do *PATENTSCOPE* limita-se a 500 documentos de patentes por lista, o que demanda exportar várias listas e depois unificá-las, removendo os documentos em duplicidade. Para a harmonização dos dados, a ferramenta escolhida foi a *OpenRefine* 3.1, desenvolvida pela Google para o tratar dados confusos, limpando-os e passando-os para um formato uniformizado.

Os resultados são obtidos pela análise do patenteamento e das publicações mundiais e nacionais; são identificados os principais países patenteadores e com maior número de publicações; compara-se a situação do Brasil em relação ao mundo; identificam-se as tendências tecnológicas na Alemanha, Dinamarca, China, Estados Unidos, Japão e México para, por fim, compará-las com as tendências no Brasil, na área de energias renováveis (eólica e solar).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção está organizada em duas partes, que descrevem e analisam os dados coletados de patentes e de publicações científicas sobre energia eólica e solar. A primeira parte, que trata de patentes, identifica os países e os depositantes mais atuantes e a área tecnológica para os dois tipos de energia. A segunda, aborda as publicações científicas e identifica os países com mais artigos publicados e os autores que mais publicaram em energia eólica e solar.

4.1 As patentes em energia eólica e solar no mundo e no Brasil

4.1.1 A evolução das patentes em energia eólica

A pesquisa levantada no banco de dados do *WIPO-PATENTSCOPE* permitiu identificar 46.481 patentes correspondentes à energia eólica no mundo, entre os anos 2000 e 2017.

Nos 18 anos analisados (tabela 2), observou-se o crescimento no volume de depósitos de patentes em energia eólica, especialmente a partir de 2007. Até 2006, somente os anos 2001, 2003 e 2006 apresentaram crescimento, respectivamente, de 26,15%, 3,39% e 12,83%. De 2007 até 2016, o crescimento médio anual foi de 10,8%. Em 2017, constatou-se uma queda acentuada no volume de patentes. No processo de análise de patentes, é natural que os períodos recentes registrem queda na quantidade de patentes, uma vez que muitas delas se encontram em período de sigilo (18 meses). Essa tendência crescente no patenteamento de inovações em energia eólica acompanha o aumento da participação na geração de eletricidade, que, de 2,8%, em 2004, passou para 19,2%, em 2017 (IEA, 2019). De acordo com a WIPO (2018), o volume de patentes vem crescendo no mundo desde 2003.

O aumento do depósito de patentes reflete o resultado dos investimentos em P&D e demonstra o interesse dos países e empresas no desenvolvimento da tecnologia.

Tabela 2: Evolução do número das patentes em energia eólica no mundo – 2000 a 2017

Anos	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Patentes	1721	2171	2006	2074	1446	1364	1539	2261	2956	3284	3632	3532	3551	2909	3288	3040	3747	1900	46421

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados *Patentscope* (2019)

A pesquisa efetuada no banco de dados do INPI permitiu identificar 359 patentes relativas à energia eólica no Brasil, entre os anos de 2000 e 2017.

O banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) registrou significativo crescimento na quantidade de depósitos de patentes em energia eólica no Brasil em 2002 (tabela 3), aumento que equivaleu a 104,76% em relação a 2001 e constituiu recorde em depósitos de patentes. Nos anos seguintes, até 2010, os registros sofreram forte queda. Em 2011, houve retomada do crescimento, com aumento de 387,50% em comparação com 2010. O pior número se apresenta em 2017, com queda de 92,30% em relação ao ano anterior. Não deve, entretanto, essa queda (2017) causar estranheza, porque grande número de depósitos de patentes acha-se em período de sigilo (18 meses), como já explicado. O crescimento dos depósitos de patentes, principalmente de 2011 a 2016, parece justificar-se pelos incentivos do governo brasileiro, como a Lei nº 9.991, de 24 de junho de 2000, pela qual as empresas do setor energético são obrigadas a destinar parte da receita operacional líquida a investimentos em P&D (SILVA, 2015). Com o apoio do BNDES, pelo programa PROINFA, instituído em 2002, a energia eólica somente alcançou a meta estipulada em 2011 (IRENA, 2013). Os leilões realizados em 2009 contribuíram para expandir a energia eólica no Brasil (ANEEL, 2019). Os anos com números baixos de depósitos de patentes, em especial os anteriores a 2011, talvez se devam às dificuldades administrativas e às barreiras criadas durante a fase de implementação do programa PROINFA, visto que inibiam o acesso aos investidores (IRENA, 2013). No Brasil, o baixo volume de depósitos de patentes reflete baixo investimento realizado em P&D em energia eólica (IPEA, 2015).

Tabela 3: Evolução do número das patentes em energia eólica no Brasil – 2000 a 2017

Anos	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Patentes	11	21	43	19	15	22	8	10	9	12	8	39	28	34	34	18	26	2	359

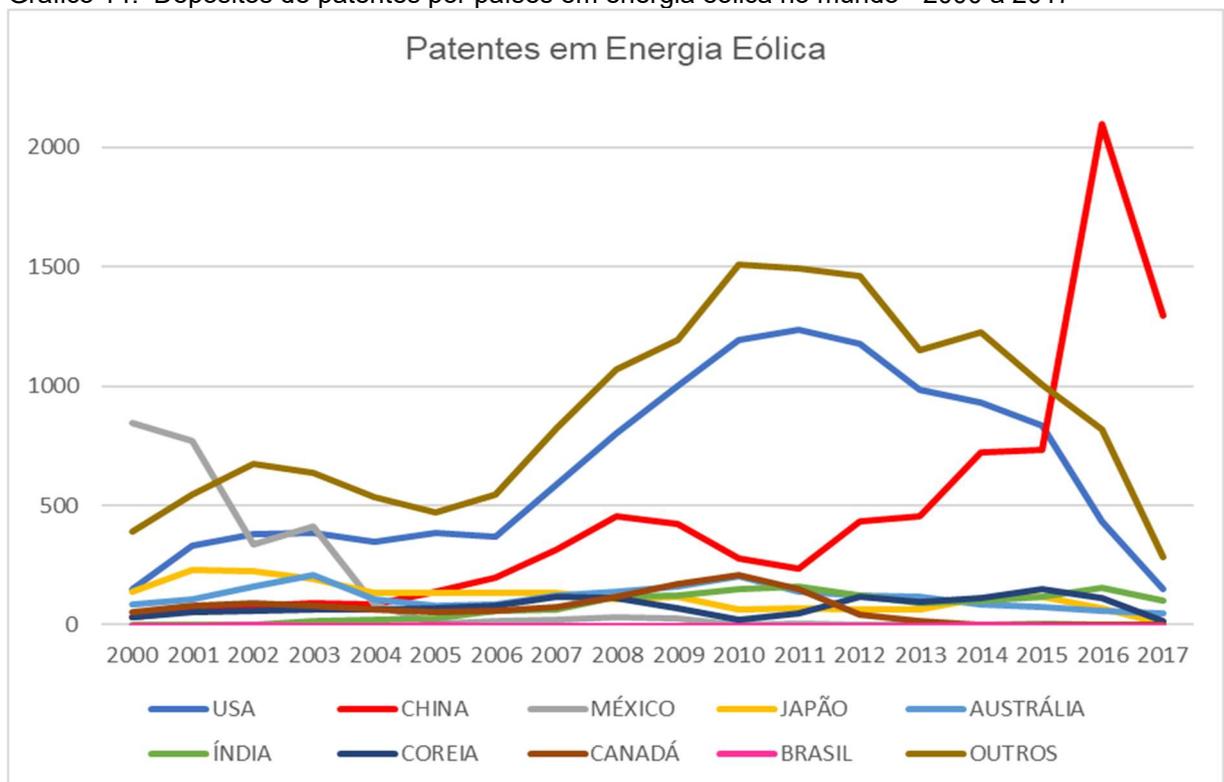
Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados do INPI (2018)

4.1.2 Análise dos países depositantes de patentes em energia eólica

O exame dos países depositantes de patentes em energia eólica no mundo aponta os Estados Unidos com o maior número (11.689), representando 25,1% do

total dos depósitos de patentes. A China, o segundo país com maior número de depósitos de patentes (8.113), registra 17,5%, somando ambos os países 42,6% do total. O México ocupa a terceira posição, participando com 5,5% do total, a uma distância considerável da China, em relação à qual representa apenas 31,7%. Japão, Austrália, Índia, Coreia do Sul, Canadá e Brasil, juntos, alcançam 17,8% do total de patentes. Os números expostos no gráfico 14 revelam crescimento de depósitos de patentes chinesas de 185,9% de 2015 a 2016. No mesmo período, o Brasil depositou apenas três patentes, volume inexpressivo em comparação aos outros países.

Gráfico 14: Depósitos de patentes por países em energia eólica no mundo - 2000 a 2017



Fonte: Elaborado pela autora a partir do banco de dados *Patentscope* (2019)

Confrontando os países depositantes de patentes em energia eólica referidos no banco de dados do Instituto Nacional Propriedade Industrial (INPI), tabela 4, verifica-se que a Alemanha apresenta 209 depósitos de patentes, do total de 359, representando 58,2%. Os depositantes com origem no Brasil ocupam a segunda colocação (66 depósitos), seguidos pelos Estados Unidos (12) e pela Itália (8). As demais 64 patentes estão distribuídas entre outros 11 países.

O banco de dados do Instituto Nacional Propriedade Industrial (INPI) apresenta registro de poucos depósitos de patentes em energia eólica. A WIPO (2019) já indicava que, comparado aos outros escritórios - EPO (Europa), JPO (Japão), SIPO (China) e USPTO (EUA) – o brasileiro registrava pouca atividade patentária. Os depósitos de patentes na Alemanha indicam que o país quer proteger sua atuação no mercado brasileiro (SHIPMAN, 1967). As patentes brasileiras, em sua maioria, pertencem a pessoas físicas (60), contando-se apenas seis nas mãos de empresas. Leusin et al. (2018) apontaram em sua pesquisa que as empresas apresentavam um número de patentes irrelevante. O reduzido número de patentes depositadas por outros países é sinal inegável de seu baixo interesse no mercado brasileiro.

Tabela 4: Distribuição da origem dos depositantes em energia eólica no Brasil por países -2000 a 2017

Países	Quantidade	% Total
Alemanha	209	58,2
Brasil	66	18,4
Estados Unidos	12	3,3
Itália	8	2,2
Outros (11 países)	64	17,8
Total	359	100,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados INPI (2018)

4.1.3 Análise dos principais depositantes de patentes em energia eólica

Os depositantes de patentes foram classificados de acordo com a origem da empresa (país de origem) e com o tipo de natureza (empresa ou pessoa física). Do total de depósitos de patentes (46.421), as 20 maiores depositantes detêm 29,63% das patentes, conforme tabela 5. A líder, Vestas Wind System SA, com origem na Dinamarca, apresenta 3.173 patentes; seguida pela General Electric Company, com 2.944 e origem nos Estados Unidos; e pela Mitsubishi Heavy Industries Ltda, com 1.291 e origem no Japão. Das 19 maiores empresas, 7 são de origem alemã, 4 de origem dinamarquesa, 3 são francesas, 2 japonesas, 1 espanhola, 1 americana e 1 anglo-holandesa. Somente uma pessoa física encontra-se entre os 20 maiores depositantes: Aloys Wobben, CEO da Enercon GmbH, maior empresa alemã de aerogeradores. As patentes da Enercon estão registradas em nome da Wobben Properties, empresa que as gerencia.

A depositante Vestas Wind System SA é a maior fabricante de equipamentos de turbinas e detém a maior participação no mercado de turbinas (20,3%), confirmando-se como empresa inovadora (HU et al., 2017). Siemens, Gamesa,

Enercon Energy (Wobben Properties e Aloys Wobben) e Nordex, são os maiores fabricantes de equipamentos de turbinas e com maior participação no mercado de turbinas eólicas (REN21, 2019). Os estudos de Klitkou et al. (2010) mostram altos níveis de atividade inovativa da em energia eólica. Estados Unidos, Dinamarca e Alemanha confirmam a posição de líderes no mercado global no setor de energia eólica (HU et al., 2017). Para se manterem em um mercado competitivo, as fabricantes de equipamentos de turbinas investem em P&D visando desenvolver tecnologia (REN21,2019).

Tabela 5: As 20 maiores depositantes de patentes em energia eólica no mundo – 2000 a 2017

Depositantes	Origem da Empresa	Tipo	Patentes	% Total
Vestas Wind System SA	Dinamarca	Empresa	3173	6,8
General Electric Company	Estados Unidos	Empresa	2944	6,3
Mitsubishi Heavy Industries Ltda	Japão	Empresa	1291	2,8
Aloys Wobben	Alemanha	Pessoa Física	1161	2,5
Siemens Akitiengesellschaft	Alemanha	Empresa	1021	2,2
Siemens AG	Alemanha	Empresa	1001	2,2
Wobben Properties	Alemanha	Empresa	667	1,4
LM WP Patent Holding SA	Dinamarca	Empresa	373	0,8
Hitachi Ltda	Japão	Empresa	321	0,7
LM Glasfiber SA	Dinamarca	Empresa	307	0,7
Gamesa Innovation &Ttechnology	Espanha	Empresa	305	0,7
Nordex Energy GMBH	Alemanha	Empresa	209	0,5
Repower System AG	Alemanha	Empresa	199	0,4
Alstom Renewable Technologies	França	Empresa	155	0,3
Shell Oil Company	Anglo-Holandesa	Empresa	131	0,3
Alstom Renewables Espanha, SLU	França	Empresa	118	0,3
LM Wind Power AS	Dinamarca	Empresa	117	0,3
Senvion GMBH	Alemanha	Empresa	104	0,2
Senvion SE	Alemanha	Empresa	79	0,2
Alstom Wind, S.L.U	França	Empresa	77	0,2
Total de patentes dos 20 maiores depositantes			13.753	29,6
Total geral de patentes			46.421	100,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados *PATENTSCOPE* (2019)

No Brasil, os depositantes de patentes (tabela 6) também foram classificados de acordo com a origem da empresa (país de origem) e com o tipo de natureza (empresa ou pessoa física). Os seis maiores depositantes somam 201 patentes e representam 56% do total no período analisado (359). Destaca-se com maior número de patentes a empresa Wobben Properties (96). A pessoa física com maior número de patentes é Aloys Wobben (90), de origem alemã, seguido por Wilton R. Silveira (4), de origem brasileira. Das 4 maiores empresas, 2 são de origem alemã, 1 italiana e 1

americana. Dentre os depositantes das demais 158 patentes, 62 são de origem brasileira, sendo 56 pessoas físicas e 6 empresas, nenhum dos quais com mais de 4 patentes. Os outros 96 estão distribuídos em vários depositantes, cada qual com menos de 3 patentes.

As patentes alemãs depositadas no Brasil foram primeiramente registradas em seu país de origem e estão aqui, para proteger suas invenções no mercado brasileiro. A Wobben Windpower foi a primeira fabricante de aerogeradores a se instalar no País, em Sorocaba – SP, em 1995. O governo brasileiro, com o objetivo de atrair outros fornecedores estrangeiros e capturar a tecnologia envolvida, estimulou, com incentivos financeiros e fiscais, a instalação da indústria de aerogeradores no País (LEWIS; WISES, 2005). De acordo com Leusin et al. (2018), as patentes brasileiras são de residentes pessoas físicas (inventores independentes). Para Negri (2018), as patentes de pessoas físicas são menos viáveis economicamente se comparadas às das empresas, por não terem aplicação industrial. Juárez et al. (2014) constataram que o Brasil padece com a falta de recursos humanos qualificados para desenvolver a tecnologia eólica no País.

Tabela 6: As principais empresas depositantes de patentes em energia eólica no Brasil - 2000 a 2017

Depositantes	Origem da empresa	Tipo	Patentes	% Total
Wobben Properties (DE)	Alemanha	Empresa	96	26,7
Aloys Wobben (DE)	Alemanha	Pessoa Física	90	25,1
Windfin B.V. (IT)	Itália	Empresa	4	1,1
General Electric Company (US)	Estados Unidos	Empresa	4	1,1
Wilton R Silveira (BR)	Brasil	Pessoa Física	4	1,1
Nordex Energy (DE)	Alemanha	Empresa	3	0,8
Total dos depósitos de patentes das 06 maiores depositantes			201	56,0
Total geral dos depósitos de patentes			359	100,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados INPI (2018)

4.1.4 Análise da área tecnológica em energia eólica

Ao analisar a área tecnológica das patentes depositadas no mundo, correspondentes à energia eólica, o IPC que surge com mais frequência é o F03D, com um total de 24.297 registros. Esmiuçando o código, temos que a seção F corresponde ao grupamento engenharia mecânica, iluminação ou aquecimento; na classe 03, que trata de máquinas ou motores a líquidos, motores movidos a vento, molas, pesos ou outros e produção de força mecânica ou de empuxo propulsivo por

efeito estufa, aumentando a participação da energia solar na matriz energética mundial (IEA, 2019). Os países estão investindo em inovação em energias renováveis e gastando em P&D.

Tabela 7: Evolução do número de patentes em energia solar no mundo - 2000 a 2017

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Patentes	2107	1806	1093	1491	1259	1836	2685	2706	2890	3124	3349	2962	2859	2572	2827	3370	5746	2751	47433

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados *Patentscope* (2019)

No Brasil, nos 18 anos analisados (tabela 8), observa-se crescimento na quantidade de depósitos de patentes, especialmente em 2007, quando houve aumento de 140% em comparação com 2006. Em 2011, o crescimento foi de 41,2% em relação ao ano anterior. Em 2017, a queda na quantidade dos depósitos de patentes foi de 81,8%, mas – repita-se – é preciso considerar as patentes que ainda permaneciam sob sigilo. A energia solar no Brasil é muito incipiente, com participação na matriz elétrica de apenas 0,5% (BEN, 2019). O governo brasileiro promoveu alguns incentivos como forma de estimular o crescimento das pesquisas em fontes renováveis, a exemplo da Lei nº 9.991, de 24 de junho de 2000, pela qual as empresas do setor elétrico tornaram-se obrigadas a destinar parte da receita operacional líquida a investimentos em P&D (SILVA, 2015).

Tabela 8: Evolução do número das patentes em energia solar no Brasil - 2000 a 2017

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Patentes	7	16	15	3	6	11	10	24	10	11	17	24	13	18	18	22	11	2	238

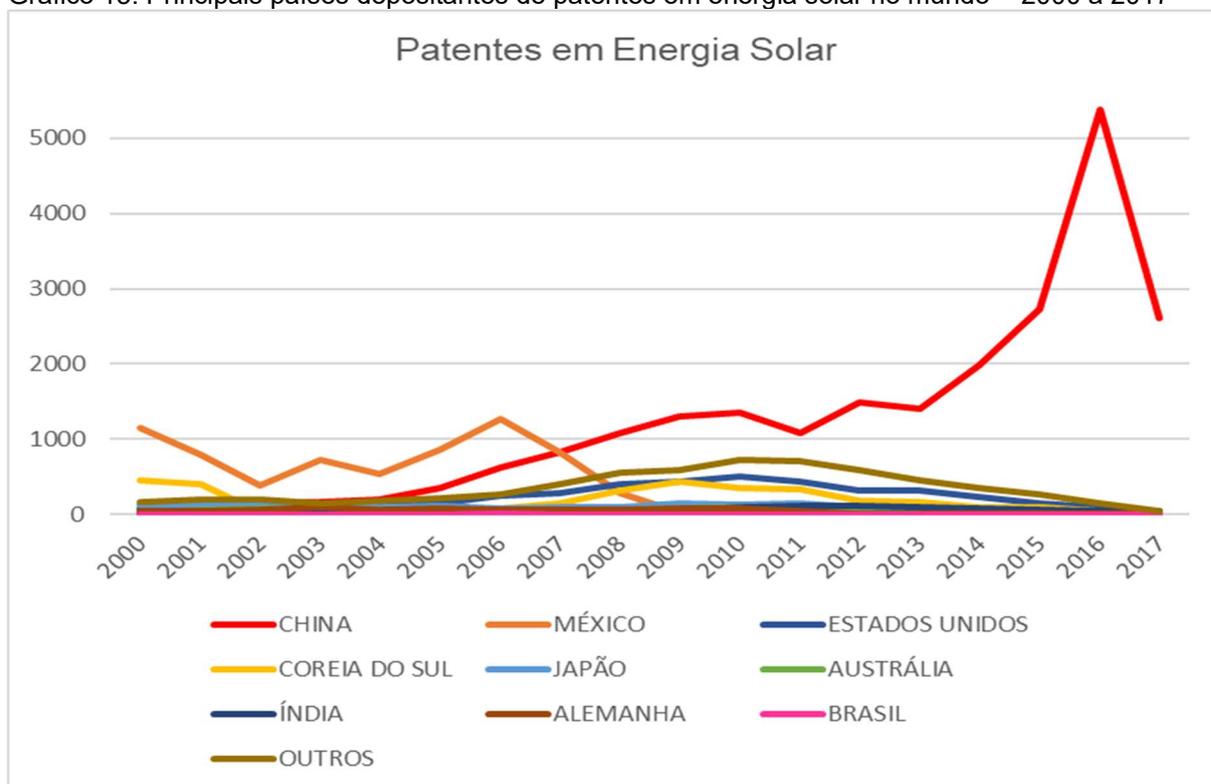
Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados INPI (2018)

4.1.6 Análise dos países depositantes de patentes em energia solar

Considerados os países depositantes de patentes em energia solar no mundo (gráfico 15), a China destaca-se como líder, com o registro de 22.834 patentes, o que representa 48,1% do total dos depósitos. Depois vêm o México, com 6.940 depósitos (14,6% do total), os Estados Unidos, com 4.104 (8,6%) e a Coreia do Sul, com 3.262 patentes (6,9%). Os quatro países juntos representam 78,3% do total das patentes. Japão, Austrália, Índia, Alemanha e outros somam 10.313 depósitos e representam 21,7% do total. O Brasil conta com apenas 1 patente. China, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Austrália, Índia e Alemanha são os países com maior capacidade instalada de energia solar (IRENA, 2019). A China concentrar o maior número de patentes é

resultado das políticas de incentivo do governo chinês (ZHAO et al., 2015). O México vem transformando desde 2013 o setor de energia com a reforma energética (IEA, 2016) e o país apresenta-se como mercado potencial, recebendo depósitos de patentes de não residentes. De acordo com a WIPO (2018), toda a atividade de não residentes do México vem de Estados Unidos, Alemanha e China. Paulo e Porto (2019) indicaram que os depósitos de patentes, primeiramente, são protegidos na China, Japão e Estados Unidos. A pesquisa indica a predominância dos depósitos de patentes em energia solar pelos países asiáticos, com 60,1% (PAULO e PORTO, 2019).

Gráfico 15: Principais países depositantes de patentes em energia solar no mundo - 2000 a 2017



Fonte: Elaborado pela autora a partir do banco de dados *Patentscope* (2019)

Ao analisarmos os países depositantes de patentes em energia solar, no banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), tabela 9, vimos que o Brasil lidera o ranking dos depositantes, com 153 patentes, o que representa 64,3% do total. A segunda posição é ocupada pelos Estados Unidos, com 26 patentes, ou 10,9% do total, seguidos por Alemanha e Itália, com 7 patentes (2,9%) cada um, e pela China, com 6 depósitos (2,5%). As demais 39 patentes distribuem-se por outros 19 países.

O banco de dados do Instituto Nacional Propriedade Industrial (INPI) registra poucos depósitos de patentes em energia solar e, embora o Brasil detenha o maior número de patentes, a grande maioria delas é de pessoas físicas e não refletem investimentos significativos em P & D, demonstrando os baixos investimentos do País no desenvolvimento industrial dessa tecnologia (IPEA, 2015).

Tabela 9: Distribuição da origem dos depositantes em energia solar por países no Brasil -2000 a 2017

Países	Quantidade	% total de Patentes
Brasil	153	64,3
Estados Unidos	26	10,9
Alemanha	7	2,9
Itália	7	2,9
China	6	2,5
Austrália	5	2,1
Reino Unido	4	1,7
Taiwan	4	1,7
França	3	1,3
Outros	23	9,7
Total	238	100,0

Fonte: Elaborada pela autora com base no banco de dados do INPI (2018)

4.1.7 Análise dos principais depositantes de patentes em energia solar

Ao analisar os depositantes de patentes em energia solar no mundo (tabela 10), nota-se que – em vez de concentração de depositantes – o que há é uma grande pulverização. A empresa que aparece com o maior número de patentes é a americana The Procter & Gamble Company, cujas patentes representam 0,39% do total. Depois vêm a também americana Klimberly-Clark Worldwide Incorporated, com 0,32%, e a chinesa Changzhou Trina Solar Energy Co Ltda, com 0,30%. Os 25 principais depositantes correspondem a apenas 4,79% do total de depósitos. Desses, 6 são empresas americanas, 5 alemãs, 3 chinesas, 2 francesas, 2 japonesas e 1 coreana. As 6 universidades que aparecem como depositárias de patentes são todas chinesas e representam 1,12% do total. Diferentemente dos achados da pesquisa de Paulo e Porto (2019), que estudaram as patentes de energia solar fotovoltaica e constataram pequena participação das universidades, este estudo revela participação expressiva das universidades chinesas.

Tabela 10: Os 25 principais depositantes de patentes em energia solar no mundo - 2000 a 2017

Depositantes	Origem	Tipo	Nº patentes	% do total
THE PROCTER&GAMBLE COMPANY	Estados Unidos	Empresa	183	0,39
KIMBERLY-CLARK WORLDWIDE INCORPORATED	Estados Unidos	Empresa	150	0,32
CHANGZHOU TRINA SOLAR ENERGY CO LTD	China	Empresa	142	0,30
GENERAL ELECTRIC COMPANY	Estados Unidos	Empresa	127	0,27
CENTROTHERM PHOTOVOLTAICS AG	Alemanha	Empresa	114	0,24
BEIJING INSTITUTE OF GRAPHIC COMMUNICATION	China	Universidade	112	0,24
ZHEJIANG UNIVERSITY	China	Universidade	111	0,23
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT	Alemanha	Empresa	92	0,19
KUNSHAN BOWEN LIGHTING TECHNOLOGY CO LTD	China	Empresa	88	0,19
THOMSON LICENSING SA	França	Empresa	87	0,18
NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (BAODING)	China	Universidade	84	0,18
BASF AKTIENGESELLSCHAFT	Alemanha	Empresa	83	0,17
TIANJIN UNIVERSITY	China	Universidade	77	0,16
SOUTHEAST UNIVERSITY	China	Universidade	77	0,16
3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY	Estados Unidos	Empresa	77	0,16
JOHNSON&JOHNSON	Estados Unidos	Empresa	73	0,15
KUNMING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	China	Universidade	71	0,15
BASF SE	Alemanha	Empresa	69	0,15
SIEMENS AG	Alemanha	Empresa	68	0,14
SHARP CORPORATION	Japão	Empresa	68	0,14
QUALCOMM INCORPORATED	Estados Unidos	Empresa	68	0,14
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD	Japão	Empresa	66	0,14
LG ELECTRONICS INC	Coreia do Sul	Empresa	63	0,13
ALSTOM TECHNOLOGY LTD	França	Empresa	63	0,13
DALIAN ZINTELLIGENCE TECHNOLOGY CO LTD	China	Empresa	59	0,12
Subtotal de patentes			2272	4,79
Total de patentes			47.433	100,00

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados *Patentscope* (2019)

Da análise dos depositantes de patentes em energia solar no Brasil (tabela 11), observa-se que somam 238 depósitos fortemente pulverizados entre seus depositantes, uma vez que os 10 maiores somam apenas 26 depósitos de patentes. Dentre esses, a principal é a brasileira Aquecedor Solar Transsen, com 7 depósitos, seguida pela australiana Endless Solar Corp, com 3. Os demais registram apenas 2 depósitos cada um, que se dividem entre 4 outras empresas diferentes e 4 pessoas físicas.

Os depositantes brasileiros representam 64,3% do total de depósitos, com 153 patentes. As empresas nacionais que lideram os depósitos são Aquecedor Solar Transsen (7) e Celesc Distribuição S.A. (2). Outras 21 empresas completam o quadro, com 1 patente cada uma. Como depositantes, observa-se ainda a participação de 3 universidades - UNICAMP, Universidade Federal de Uberlândia e UFRJ, além do SENAI e do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), cada qual com apenas uma patente. As pessoas físicas, por sua vez, preponderam, com 118 depósitos, correspondendo a 77,1% do total de patentes brasileiras, todas, também, com apenas 1 depósito por pessoa.

O resultado comprova o baixo interesse das empresas brasileiras, como observado por Azevedo et al. (2018), uma inexpressiva participação das

universidades e a presença significativa de pessoas físicas, muitas das quais nem manifestam finalidade industrial (NEGRI, 2018). Nota-se, ainda, que os incentivos patrocinados pelo governo brasileiro nesse campo apresentam-se pouco eficazes, não alcançando os resultados pretendidos para o desenvolvimento dessa tecnologia no País, seja por empresas nacionais, seja por empresas estrangeiras, como apontaram a pesquisa de Silva (2015) e a de Esposito e Fuchs (2013).

Tabela 11: Os principais depositantes de patentes em energia solar no Brasil - 2000 a 2017

Depositantes	Tipo de depositante	País	Quantidade	% total
Aquecedor Solar Transsen	Empresa	Brasil	7	2,9
Endless Solar Corp	Empresa	Austrália	3	1,3
Celesc Distribuição SA	Empresa	Brasil	2	0,8
Zhongying Changjiang Int New Energy Invest.	Empresa	China	2	0,8
Magaldi Industrie S.R.L	Empresa	Itália	2	0,8
Basf SE	Empresa	Alemanha	2	0,8
José Galdino de Medeiros	Pessoa Física	Brasil	2	0,8
Stefeson de Carvalho Pena	Pessoa Física	Brasil	2	0,8
José Benedito Jorge	Pessoa Física	Brasil	2	0,8
Roberto Saturnino Duarte	Pessoa Física	Brasil	2	0,8
Subtotal			26	10,9
Total			238	100,0

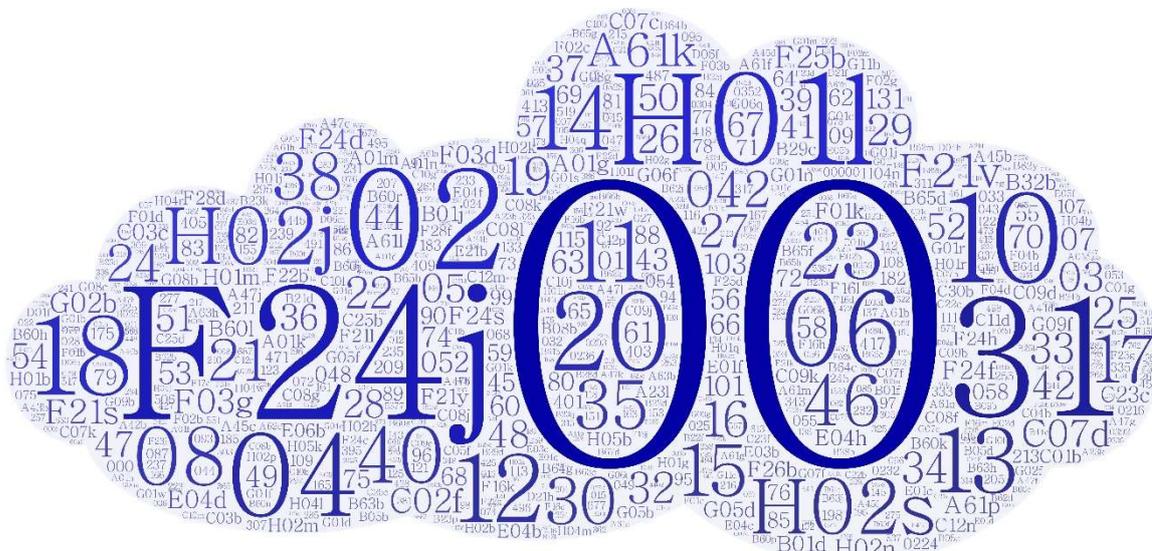
Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados do INPI (2018)

4.1.8 Análise da área tecnológica em energia solar

Ao analisar a área tecnológica das patentes depositadas no mundo correspondentes à energia solar, o IPC que aparece com maior frequência é o F24J, com um total de 6.931 registros, conforme figura 4, seguido pelo IPC H01L, com um total de 4.585 registros, os quais somam 11.516 registros de um total de 47.433, correspondentes às patentes encontradas no banco de dados da *WIPO-PATENTSCOPE*. No IPC F24J, a seção F corresponde a engenharia mecânica, iluminação ou aquecimento; na classe 24 – aquecimento, fogões ou ventilação; e na subclasse J – produção ou utilização de calor, não incluída em outro local. Os IPCs mais registrados foram o F24J 2/00, com 794 registros de coletores de calor solar; o F24J 2/04, com 715 de coletores de calor solar com o fluido de trabalho conduzido através do coletor; o F24J 2/46, com 700 registros de detalhes ou acessórios de coletores de calor solar; e o F24J 2/05, com 505 dispositivos envoltos por um fechamento transparente, por ex.: coletores solares a vácuo. O segundo grupamento de IPC que aparece com mais registros é o H01L. Nesse caso, a seção H está classificada na área de eletricidade; a classe 01 corresponde a elementos elétricos básicos; e a subclasse L, a dispositivos elétricos em estado sólido não incluídos em

outro local. O IPC mais registrado é o H01L 31/04, com 1.738 equipamentos adaptados como dispositivos de conversão; o H01L 31/05, com 910 caracterizados por meios de interconexão especiais; o H01L 31/18, com 406 registros de processos ou aparelhos próprios para a fabricação ou o tratamento desses dispositivos 21/00; e o H01L 31/02, com 395 dispositivos sensíveis a ou emitindo radiações. Na área tecnológica em energia solar, foram encontrados vários IPCs, em várias seções e classes, apresentando grande pulverização. Os resultados demonstram que a área tecnológica em energia solar mais utilizada é a da engenharia mecânica e elétrica. A grande diversidade de IPCs se deve possivelmente às duas formas de geração de tecnologia: em escala comercial e em configurações menores, para minirredes ou uso pessoal (IRENA, 2019).

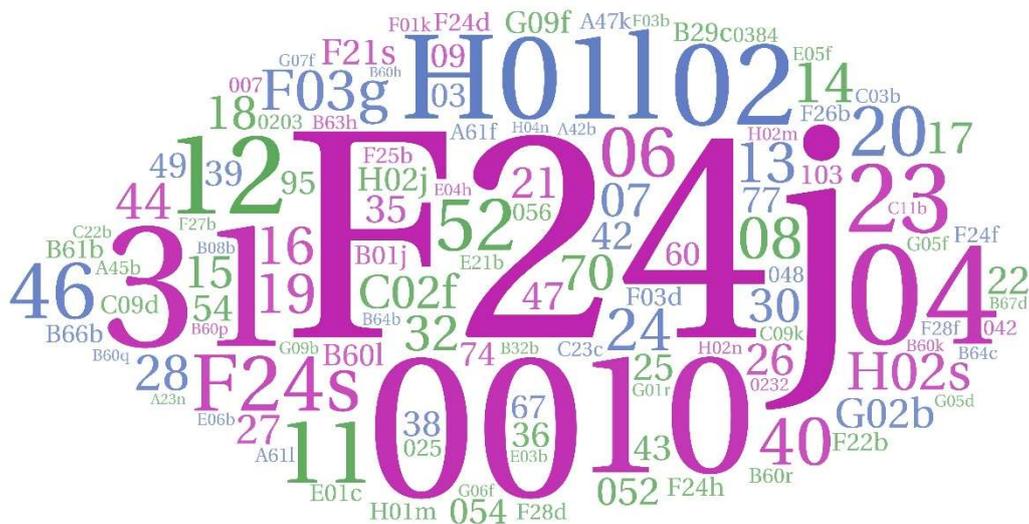
Figura 4 : Nuvem de IPC das patentes em energia solar no Mundo – 2000 a 2017



Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados *Patentscope* (2019)

Ao analisar os IPCs das patentes depositadas no banco de dados do INPI, identificamos 71 IPCs na seção F – engenharia mecânica, iluminação e aquecimento; na classe 24 – aquecimento, fogões e ventilação; na subclasse J – produção ou utilização de calor, não incluída em outro local. O IPC mais registrado foi o F24J 2/04, conforme figura 5, com 14 registros de coletores de calor solar com o fluido de trabalho conduzido através do coletor; F24J 2/46, com 10 partes componentes, detalhes ou acessórios de coletores de calor solar; F24J 2/00, com 9 coletores de calor solar; F24J 2/52, com 7 dispositivos de montagem e suporte; e o F24J 2/24, com 7 - fluidos de trabalho sendo conduzido através de condutos tubulares absorvedores de calor.

Figura 5 : Nuvem de IPC das patentes em energia solar no Brasil – 2000 a 2017



Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados INPI (2018)

4.2 As publicações científicas em inovação e energia eólica e em inovação e energia solar no mundo e no Brasil

4.2.1 Análise dos artigos publicados por ano em inovação e energia eólica no mundo

Na pesquisa na *Web of Science Core Collection*, foram encontrados 143.033 artigos com a palavra “*innovation*” e 46.892 com as palavras-chave “*wind energy*” OR “*wind power*” OR “*wind farm*” OR “*wind turbine*”, que foram procuradas em títulos, resumo e palavras-chave, resultando em 449 artigos com as palavras “*innovation*” e “*wind energy*”, “*wind power*”, “*wind farm*” e “*wind turbine*”, simultaneamente, no período de 2000 a 2017. Ao analisar a distribuição dos artigos publicados (tabela 12), observa-se crescimento nas publicações científicas em energia eólica. A partir de 2007, o crescimento se torna mais acentuado, tendo atingido 300% em relação a 2006. Entre 2008 e 2017, o crescimento médio anual das publicações científicas foi de 19,6%, tendo 2016 registrado o maior número de publicações científicas. O aumento no volume de publicações demonstra o interesse dos pesquisadores em inovação e energia eólica. O estudo constata a “popularização da inovação” o que vai ao encontro da pesquisa realizada por Rosseto; Bernardes; Borini (2016).

Tabela 12: Artigos publicados por ano em inovação e energia eólica - 2000 a 2017

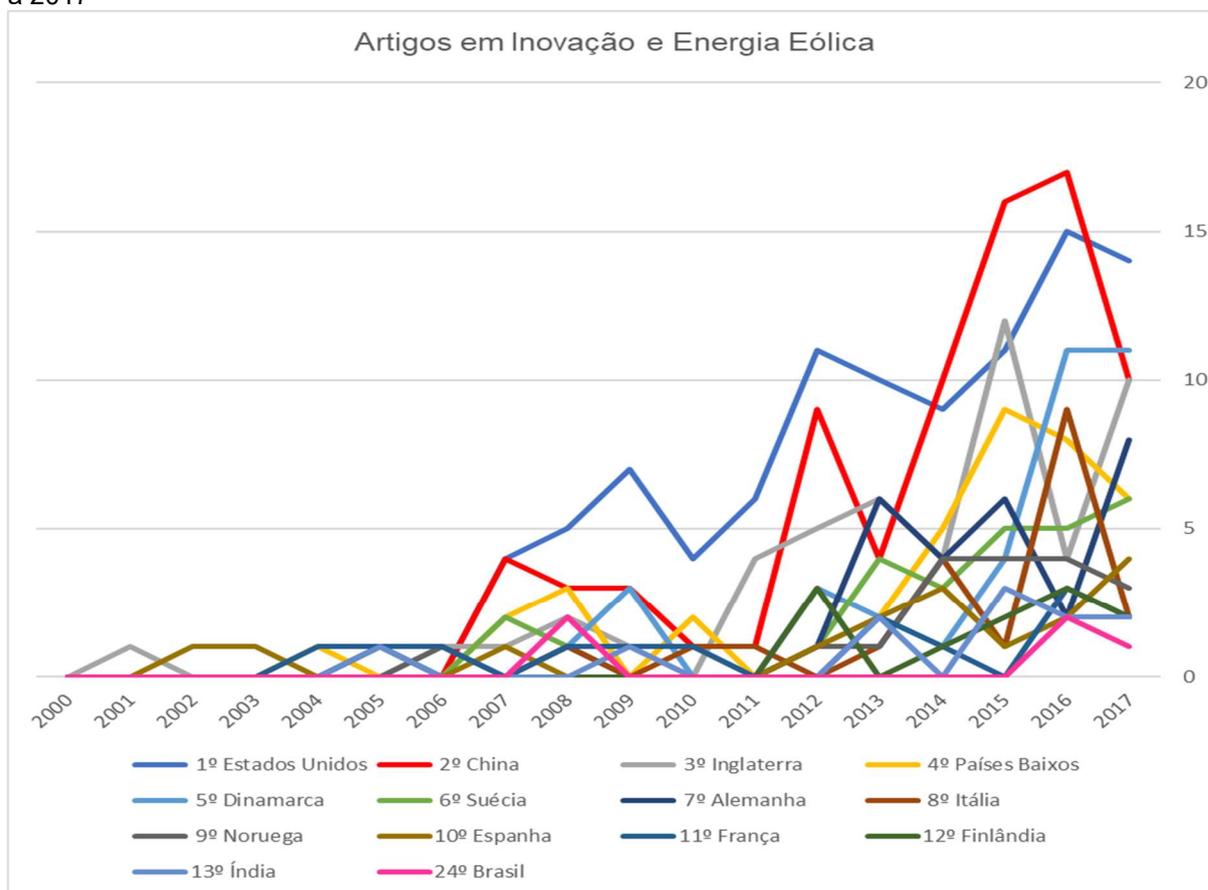
Ano	Registros	% de 449
2017	72	16,0
2016	83	18,5
2015	60	13,4
2014	54	12,0
2013	43	9,6
2012	35	7,8
2011	17	3,8
2010	15	3,3
2009	20	4,5
2008	20	4,5
2007	16	3,6
2006	4	0,9
2005	4	0,9
2004	2	0,4
2003	1	0,2
2002	1	0,2
2001	1	0,2
2000	1	0,2

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

4.2.2 Análise dos países com mais publicações em inovação e energia eólica

A análise dos países com mais publicações em inovação e energia eólica (gráfico 16), mostra que os primeiros seis colocados - Estados Unidos, China, Inglaterra, Países Baixos, Dinamarca e Suécia - respondem juntos por 73,6% do total das publicações. Destaca-se a liderança dos Estados Unidos, seguidos pela China, a qual, em 2014, já havia superado todos os países – salvo os Estados Unidos - em número de publicações (35). Não obstante, predominam os países europeus, com 58,8% do total de publicações, países esses que consomem energia para aquecimento e refrigeração e utilizam as energias renováveis. Na Suécia e na Finlândia mais da metade da energia utilizada provém de fontes renováveis, o que demonstra a preocupação com o meio ambiente (EUROSTAT, 2017). Esta dissertação indica a liderança dos Estados Unidos e o crescimento da China a partir de 2014, resultado observado por Hu et al. (2017), que apontaram que a China, em 2015, havia ultrapassado Alemanha e Dinamarca.

Gráfico 16 : Evolução dos artigos publicados por países em inovação e energia eólica no mundo - 2000 a 2017



Fonte: Elaborado pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

4.2.3 Análise dos periódicos com publicações em inovação e energia eólica

Os principais periódicos que publicaram artigos sobre inovação e energia eólica (tabela 13) têm por foco as disciplinas política energética, energia sustentável, tecnologia, inovação, ciências sociais e sustentabilidade. O periódico mais citado é o *Energy Policy* (64), representando 14,3% do total das publicações, *Renewable Sustainable Energy Reviews* (34), com 7,6%, *Technological Forecasting and Social Change* (24), com 5,3% e *Renewable Energy* (13), com 2,9%. Os primeiros quatro periódicos representam 30,1% de todas as publicações. Esses periódicos são os que mais contribuem para a construção de conhecimento na área de inovação e energia eólica, na avaliação de Rosseto; Bernardes; Borini, (2016), foram encontrados os periódicos *Research Policy* e o *Technological Forecasting and social Change* na área de inovação.

Tabela 13: Os 10 periódicos mais citados em inovação e energia eólica no mundo - 2000 a 2017

Periódicos mais citados	Registros	% de 449
ENERGY POLICY	64	14,3
RENEWABLE SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	34	7,6
TECHNOLOGICAL FORECASTING AND SOCIAL CHANGE	24	5,3
RENEWABLE ENERGY	13	2,9
ENERGY RESEARCH SOCIAL SCIENCE	8	1,8
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	8	1,8
RESEARCH POLICY	8	1,8
TECHNOLOGY ANALYSIS STRATEGIC MANAGEMENT	8	1,8
APPLIED ENERGY	6	1,3
EUROPEAN PLANNING STUDIES	6	1,3
Subtotal	179	39,9
Total	449	100,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

O levantamento dos periódicos na *Web of Science Core Collection* não encontrou periódicos brasileiros.

4.2.4 Análise dos principais autores com mais artigos em inovação e energia eólica

Pela análise dos autores com mais artigos publicados (tabela 14), destacam-se Soderholm, P., com 8 artigos publicados sobre inovação e energia eólica; Lema R., com 6; Stephens, J.C., com 6; Wilson, E.J., com 6; e Zhou, Y., com 6. Os dez autores publicaram 55 artigos, equivalentes a 12,2% do total de artigos. Os autores com o maior número de artigos vinculam-se às universidades da Suécia, Dinamarca, Estados Unidos e China. Os Estados Unidos, a Dinamarca e a China apresentam-se como países inovadores em energia eólica e líderes em publicações científicas (HU et al., 2017).

Tabela 14 : Os 10 principais autores com maior número de publicações em inovação e energia eólica - 2000 a 2017

Autores	Registros	% de 449	Universidade
SODERHOLM P	8	1,8	Universidade de Tecnologia Lulea - Suécia
LEMA R	6	1,3	Universidade de Aalborg - Dinamarca
STEPHENS JC	6	1,3	Universidade Vermont- Estados Unidos
WILSON EJ	6	1,3	Universidade de Minnesota - Estados Unidos
ZHOU Y	6	1,3	Universidade de Tsingua - Pequim China
SCHMIDT TS	5	1,1	Instituto Federal Suíço de Tec. Zurique - Suíça
SEKHAR JA	5	1,1	Universidade de Cincinnati - Ohio - Estados Unidos
SOVACOO BK	5	1,1	Universidade de Aarhus -Dinamarca
ANADON LD	4	0,9	Universidade Cambridge - Estados Unidos
BENTO N	4	0,9	Instituto Universitário de Lisboa
Total de Artigos	55	12,2	

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

A mesma análise foi realizada para os autores brasileiros com maior número de publicações em inovação e energia eólica, conforme tabela 15. Os cinco autores registram 1 artigo cada um, representando 0,2% do universo de 449. Costa, Octaviano, Nogueira e Muylaert são vinculados à Universidade Federal do Rio de Janeiro e Morioka está vinculado à Universidade de São Paulo. O resultado demonstra que as Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Universidade de São Paulo, nas áreas de engenharia e planejamento energético, são as que mais publicam a respeito de inovação e energia eólica.

Tabela 15 : Os autores brasileiros com maior número de publicações em inovação e energia eólica - 2000 a 2017

Autores	Registros	% Total	Universidades
Costa, Claudia do Valle	1	0,2	Universidade Federal do Rio de Janeiro - Pós-Graduação de Engenharia - COPPE - Brasil
Octaviano. Cláudia	1	0,2	Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Planejamento Energético - Brasil
Nogueira de Oliveira, Larissa Pupo	1	0,2	Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Planejamento Energético - Brasil
Muylaert de Araujo, Maria Sílvia; Vasconcelos de Freitas, Marcos Auro	1	0,2	Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Planejamento Energético - Brasil
Morioka, S. N.	1	0,2	Universidade de São Paulo - Politécnica - Programa de Engenharia - Brasil
Total de Artigos	5	1,1	

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

4.2.5 Análise dos artigos mais citados em inovação e energia eólica

Ao analisar os artigos mais citados em inovação e energia eólica (tabela 16), o maior destaque cabe a um de 2007, que recebeu 887 citações, com média de citação ao ano de 63,29, escrito por Wuestenhagen, Rolf; Wolsink, Maarten; Buerer, Mary Jean. O segundo artigo mais citado é de 2009, com 257 citações, e média de citação anual de 21,42, de Nemet, Gregory F; o próximo em citações (232) é de 2012, com média anual de 25,78, assinado por Wolsink, Maarten. Esses 3 artigos representam 54,3% do total das citações. O artigo de Menet, J.L., de 2004, recebeu 139 citações e média de 8,18; os artigos do ano de 2005, de Beise, M., receberam mais citações (211) e média de 13,19 do que o artigo de Klaassen, G., com 174 citações e média de 10,88. Os dois artigos mais citados de 2008 foram o de Butler, Lucy (201 citações e

média de 15,46), referido mais vezes do que o de Bergek, Ana, com 143 citações e média de 11. O artigo de Hansen Teis recebeu 163 citações e média 27,17. Sauter, Raphael escreveu o artigo com menos citações (129) e média de 9,21. O artigo de Wuestenhagen, Rolf et al. foi o mais referenciado pelos pesquisadores na área de inovação de energias renováveis. Pelos títulos dos artigos os assuntos abordados são inovação de energias renováveis, distribuição e geração nas redes inteligentes, impacto de P&D, sustentabilidade e mecanismos de incentivo e tarifas feed-in em energia eólica. A partir de 2004, o tema inovação e energia eólica despertou o interesse dos pesquisadores, talvez porque a capacidade instalada desta fonte de energia tenha aumentando significativamente no mundo, decorrência da preocupação em tornar o planeta mais sustentável (IEA, 2019).

Tabela 16: Os 10 artigos mais citados em inovação e energia eólica no mundo - 2000 a 2017

Ano	Título	Autores	Citações	Média Ano
2007	Social acceptance of renewable energy innovation: an introduction to the concept	Wuestenhagen, Rolf; Wolsink, Maarten; Buerer, Mary Jean	887	63,29
2009	Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change	Nemet, Gregory F.	257	21,42
2012	The research agenda on social acceptance of distributed generation in smart grids: renewable as common pool resources	Wolsink, Maarten	232	25,78
2005	Lead markets and regulation: a framework for analyzing the international diffusion of environmental innovations	Beise, M; Rennings, K.	211	13,19
2008	Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development	Butler, Lucy; Neuhoff, Karsten	201	15,46
2005	The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and the United Kingdom	Klaassen, G; Miketa, A; Larsen, K; Sundqvist, T.	174	10,88
2015	The geography of sustainability transitions: Review, synthesis and reflections on an emergent research field	Hansen, Teis; Coenen, Lars	163	27,17
2008	'Legitimation' and 'development of positive externalities': two key processes in the formation phase of technological innovation systems	Bergek, Anna; Jacobsson, Staffan; Sanden, Bjorn A.	143	11
2004	A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study	Menet, J.L.	139	8,18
2007	Strategies for the deployment of micro-generation: Implications for social acceptance	Sauter, Raphael; Watson, Jim	129	9,21

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados da *Web of Science Core Collection* (2019)

Procedeu-se à mesma análise com os artigos brasileiros mais citados. A tabela 17 mostra que o artigo de Costa, Claudia do Valle é o mais citado (37), com média anual de 2,85. O segundo artigo a receber mais citações é o de Van der Zwaan, com 18 citações e média de 3,6. Em seguida, o artigo de Nogueira de Oliveira, Larissa Pupo, com 17 citações e média de 3,4; o artigo de Myulaert de Araújo, Maria Silvia, com 13 citações e média anual de 1, e o artigo de Khripko, D., com 4 citações e média de 1. Os dois artigos mais citados representam 61,8% do total das citações e são os mais referenciados pelos pesquisadores na área de inovação e energia eólica. Os títulos dos artigos versam sobre a inovação tecnológica em energias renováveis, mudança climática e inovação e energia eólica no Brasil.

Tabela 17 : Os artigos brasileiros mais citados em inovação e energia eólica no mundo - 2000 a 2017

Ano	Título	Autores	Citações	Média ano
2008	Technological innovation policies to promote renewable energies: lessons from the European experience for the Brazilian case	Costa, Claudia do Valle; La Rovere, Emilio; Assmann, Dirk	37	2,85
2016	Energy technology roll-out for climate change mitigation: a multi-model study for Latin America	Van der Zwaan, Bob; Kober, Tom; Calderon, Silva; et al.	18	3,6
2016	Critical technologies for sustainable energy development in Brazil: technological foresight based on scenario modelling	Nogueira de Oliveira, Larissa Pupo; Rodriguez Rochedo, Pedro Rua; Portugal-Pereira, Joana; et al.	17	3,4
2008	Acceptance of renewable energy innovation in Brazil- case study of wind energy	Muylaert de Araujo, Maria Silvia; Vasconcelos de Freitas, Marcos Auro	13	1
2017	Demand side management within industry: a case study for sustainable business models	Khripko, D.; Morioka, S. N.; Evans, S.; et al.	4	1

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

4.2.6 Análise dos artigos publicados por ano em inovação e energia solar no mundo

A Web of Science Core Collection enumera 143.033 artigos com a palavra *innovation* e 53.756 com as palavras-chave *solar energy*, *solar power*, *solar thermal* e *photovoltaics*, procuradas em títulos, resumo e palavras-chave, de que resultaram 414 artigos com as palavras “*innovation* e “*solar energy*”, “*solar power*”, “*solar thermal*” e “*photovoltaics*”, simultaneamente, entre 2000 e 2017. Ao analisar a distribuição de artigos publicados (tabela 18), observou-se crescimento nas publicações científicas em energia solar. Os números de 2008 são 150% maiores que os de 2007. O período de 2009 a 2017 foi o que apresentou maior crescimento de publicações, com aumento

médio anual de 30,5%. O ano de 2017 assinala o maior número de publicações científicas. Os estudos de Dong (2012) já apontavam o crescimento das publicações científicas em energia solar, fenômeno que a presente dissertação valida e que se acentuou ainda mais depois de 2010. Rosseto; Bernardes; Borini (2016), em seu trabalho, observam que o crescimento das publicações indica a “popularização da inovação”.

Tabela 18: Distribuição de artigos publicados em energia solar por ano no mundo - 2000 a 2017

Anos de publicação	registros	% total de artigos
2017	74	17,9
2016	59	14,3
2015	48	11,6
2014	47	11,4
2013	43	10,4
2012	45	10,9
2011	23	5,6
2010	16	3,9
2009	20	4,8
2008	10	2,4
2007	4	1,0
2006	6	1,4
2005	1	0,2
2004	4	1,0
2003	2	0,5
2002	3	0,7
2001	1	0,2
2000	8	1,9
Total	414	100,0

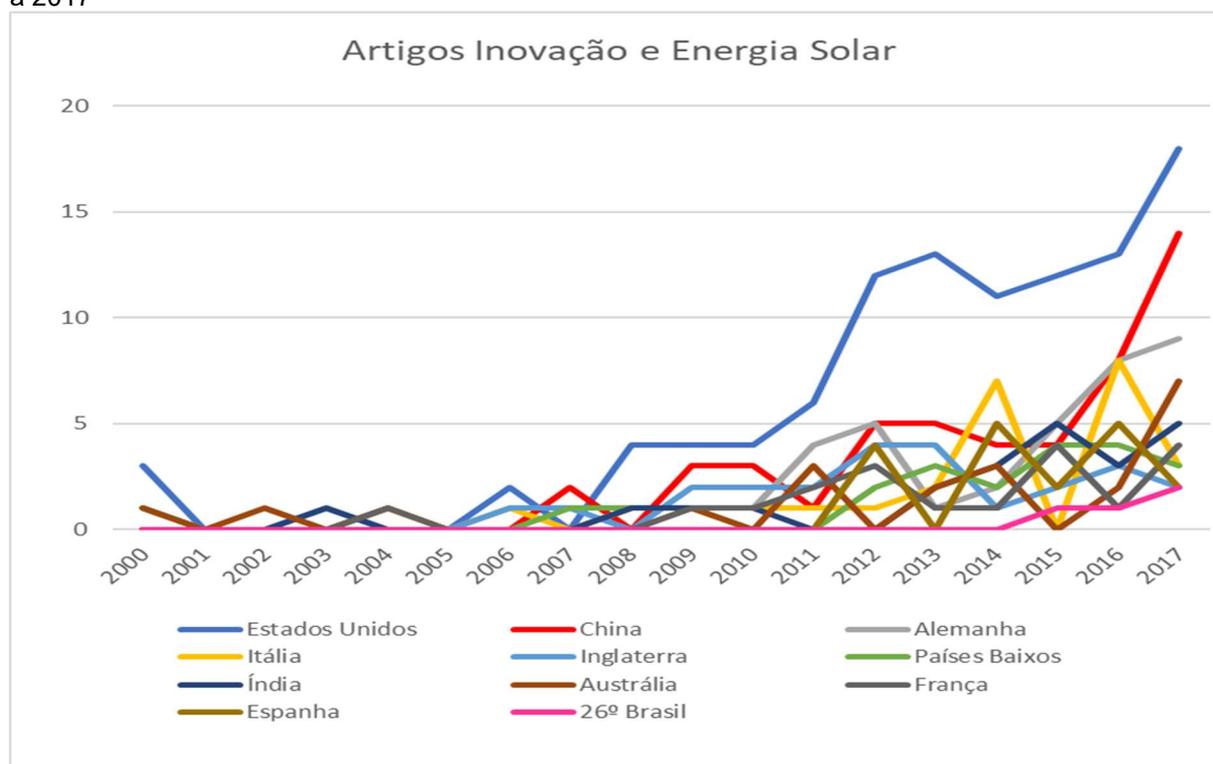
Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

4.2.7 Análise dos países com mais publicações em inovação e energia solar

Ao analisar os países com mais publicações em energia solar (gráfico 17), os Estados Unidos aparecem na liderança, com 103 artigos, seguidos pela China, com 50. Os dois países representam 37,0% do total das publicações, cabendo aos Estados Unidos 67% de participação nesse par. Os 10 países com maior quantidade de publicações representam 84,1% do total de 414 artigos e os 6 países europeus representam 36,7% do total. As primeiras publicações provindas dos Estados Unidos datam de 2000, com forte incremento a partir de 2008. 2013, 2016 e 2017 foram os anos que houve mais publicações. Quanto à China suas primeiras publicações de 2007, tendo-se tornado ininterrupta partir de 2009, com recordes de publicações em 2016 e 2017. Nota-se que a Alemanha, com um total de 39 artigos, tem publicações desde 2000, tornadas ininterruptas a partir de 2008 e com picos de publicações em

2016 e 2017. A Itália, com 27 artigos, publicou desde 2004. Exceto por 2015, tem publicado continuamente a partir de 2008, tendo sido 2014 e 2016 os anos com mais artigos publicados. Em 2017 observa-se declínio na quantidade de artigos. Inglaterra, com 26 artigos, e Países Baixos, com 23, registram artigos publicados desde o ano 2000, tornados ininterruptos a partir de 2012. Também em 2017 registram queda na quantidade de artigos. Índia (22) e Austrália (21) registram aumento no número de publicações em 2017. França, com 19 artigos, publica-os sem interrupção a partir de 2009, com maior número de publicações em 2015 e 2017. A Espanha, com 18, somente em 2012 registra artigos publicados. 2014 e 2016 são os anos mais propícios, mas houve queda na quantidade de artigos em 2017. O Brasil, com 4 artigos, começa a publicar apenas em 2015 e alcança em 2017 o maior número de artigos publicados. Os Estados Unidos constituem o país mais produtivo em publicações científicas em energia solar, talvez porque disponha do mercado mais consolidado nessa fonte de energia. A presente dissertação confirma os resultados de Dong (2012), que apontam os Estados Unidos como líderes em publicações. A China aumentou suas publicações nos últimos anos, reflexo provável dos investimentos feitos em P&D pelo país.

Gráfico 17 : Evolução dos artigos publicados por países em inovação e energia solar no mundo - 2000 a 2017



Fonte: Elaborado pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

4.2.8 Análise dos periódicos com publicações em inovação e energia solar

Os principais periódicos que publicaram artigos sobre inovação e energia solar (tabela 19) tiveram como foco as áreas de política energética, energia sustentável, energia renovável, física, ciências do ambiente, energia aplicada, tecnologia e inovação e ciências sociais. O periódico mais citado é o *Energy Policy*, que representa 7,5% do total das publicações, seguido pelo *Renewable Sustainable Energy Reviews* (5,6%), *Renewable Energy* (4,1%) e *AIP Conference Proceedings* (3,1%). Os quatro periódicos representam 20,3% do total das publicações e são incontestavelmente os maiores colaboradores na expansão do conhecimento em inovação e energia solar (ROSSETO; BERNARDES; BORINI, 2016). O periódico *Renewable Energy* é o periódico que já aparecia como o mais citado nos estudos de Dong (2012). Como constatado por Rosseto; Bernardes; Borini (2016), conserva-se entre os periódicos que mais publicam ao longo do tempo demanda grande esforço e foco na área do conhecimento.

Tabela 19: Os 10 periódicos mais citados em energia solar no mundo - 2000 a 2017

Periódicos	registros	% do total de artigos
ENERGY POLICY	31	7,5
RENEWABLE SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	23	5,6
RENEWABLE ENERGY	17	4,1
AIP CONFERENCE PROCEEDINGS	13	3,1
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	8	1,9
APPLIED ENERGY	7	1,7
ENERGY PROCEEDIA	7	1,7
RESEARCH POLICY	7	1,7
TECHNOLOGICAL FORECASTING AND SOCIAL CHANGE	7	1,7
ENERGY ECONOMICS	6	1,4
Subtotal dos artigos	126	30,4
Total dos artigos	414	100,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

Nesta pesquisa os periódicos nacionais não apareceram no ranking da *Web of Science Core Collection*.

4.2.9 Análise dos principais autores com mais artigos em inovação e energia solar

O levantamento sobre os autores com mais artigos publicados em energia solar (tabela 20) aponta Elazari, A., com 5 artigos sobre inovação e energia solar; Kammen, D.M., com 5; Buonassisi, T., com 4; Hendry, C., com 4; Popp, D., com 4; Dinter, F; Guo, Y.; Harborne, P., Powell; D.M.; e Quitzw, R., cada um com 3 artigos. Observa-

se que 4 autores estão vinculados a universidades dos Estados Unidos, somando juntos 16 artigos. Hendry, C. e Harborne, P. estão vinculados à City University de Londres e somam 7 artigos. Elazari, A. está vinculado a uma empresa israelense que fabrica painéis fotovoltaicos. Dinter, F. tem vínculos com a Universidade Stellenbosch (África do Sul); Guo, Y., com o Beijing Institute of Technology (China); e Quitzow, R., com a Free University of Berlin (Alemanha). Elazari, A. e Dinter, F. mantêm vínculos com instituições situadas em países que não apareceram no ranking dos países com publicações científicas em inovação e energia solar. A tabela revela que há pulverização de autoria, os dez autores com mais publicações representam muito pouco das publicações em geral (apenas 8,9%).

Tabela 20: Os 10 autores com mais artigos publicados em inovação e energia solar - 2000 a 2017

Autores	Registros	% total de artigos	Universidades
ELAZARI A	5	1,2	Millenium Elect TOU Ltd - Raanana - Israel
KAMMEN DM	5	1,2	Universidade da Califórnia - Berkeley - Estados Unidos
BUONASSISI T	4	1,0	Massachussetts Institute of Technology - Estados Unidos
HENDRY C	4	1,0	City University - Londres - Inglaterra
POPP D	4	1,0	Syracuse University - Estados Unidos
DINTER F	3	0,7	Stellenbosch University - África do Sul
GUO Y	3	0,7	Beijing Institute of Technology - Beijing - China
HARBORNE P	3	0,7	City University - Londres - Inglaterra
POWELL DM	3	0,7	Massachussetts Institute of Technology - Estados Unidos
QUITZOW R	3	0,7	Free University of Berlin - Berlin - Alemanha
Subtotal	37	8,9	
Total dos artigos	414	100,0	

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

Contam-se entre os autores com artigos publicados (tabela 21) em inovação e energia solar Sampaio, P. G. V.; Gonzales, M. O. A., com 1 artigo, vinculados às Universidades de Mossoró e Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Paulo, A. F.; Porto, G. S., com 1 artigo, vinculados à Universidade de São Paulo; Octaviano, C., com 1 artigo, vinculada à Universidade Federal do Rio de Janeiro e Keyama, K. H., com 1 artigo, vinculada à Universidade Sociesc, de Joinville. Os artigos de cada autor representam 0,2% do total de 414 artigos. Das universidades a que os autores estão vinculados, 3 são federais (2 no Estado do Rio Grande do Norte e 1 no Rio de Janeiro), uma é estadual (em São Paulo) e uma é privada (em Santa Catarina). Os autores brasileiros não têm grande representatividade, o que permite supor que o investimento em P&D no Brasil não é suficiente para gerar conhecimento na área de inovação em energia solar.

Tabela 21 : Autores com artigos publicados em inovação e energia solar no Brasil - 2000 a 2017

Autores	Registros	% Total	Universidades
Sampaio, P. G. V.; Gonzalez, M. O. A.	1	0,2	Universidade Federal de Mossoró/ Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Brasil
Paulo, A. F.; Porto, G. S.	1	0,2	Universidade de São Paulo - Business Adm & Accounting - Brasil
Octaviano, C.	1	0,2	Universidade Federal Rio de Janeiro - Brasil
Keyama, K. H.	1	0,2	Universidade Sociesc - Joinville - SC - Brasil
Subtotal de artigos	4	1,0	
Total de artigos	414	100,0	

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

4.2.10 Análise dos principais artigos mais citados em inovação e energia solar

Merecem destaque, entre os artigos mais citados em energia solar, conforme tabela 22, o de Johnstone et al. (2010), com 541 citações e média anual de 49,2, o que o torna o artigo mais referenciado para o tema de inovação e energia solar. Seguem-se o artigo de Barlev et al., com 296 citações e média anual 29,6; Powell et al., com 197 e média anual de 21,9; Popp et al., com 183 e média anual de 18,3; Boyjoo et al., com 162 e média anual de 40,5; Faiers e Neame, com 151 e média 10,1; Sanden e Azar, com 141 e média anual 8,8; Verma e Tiwari, com 139 e média 23,2; Peters et al., com 135 e média 15; e Schleicher-Tappeser, com 134 e média anual de 14,9. Os dois autores mais citados representam 40,3% do total de todas as citações dos 10 principais autores. O artigo de Johnstone et al. (2010) explora a inovação tecnológica e políticas em energias renováveis com base em patentes, mantendo a melhor média em comparação com os outros artigos mais recentes.

Tabela 22 : Os 10 principais artigos mais citados em inovação e energia solar - 2000 a 2017

Ano	Título	Autores	Citações	Média Ano
2010	Renewable Energy Policies and Technological Innovation: evidence Based on Patent Counts	Johnstone, Nick; Hascic, Ivan; Popp, David	541	49,2
2011	Innovation in concentrated solar power	Barlev, David; Vidu, Ruxandra; Stroeve, Pieter	296	29,6
2012	Crystalline silicon photovoltaics: a cost analysis framework for determining technology pathways to reach baseload electricity costs	Powell, D. M.; Winkler, M. T.; Choi, H. J.; Simmons, C. B.; Needleman, D. Berney; Buonassisi, T.	197	21,9
2011	Technology and the diffusion of renewable energy	Popp, David; Hascic, Ivan; Medhi, Neelakshi	183	18,3
2017	A review on photocatalysis for air treatment: from catalyst development to reactor design	Boyjoo, Yash; Sun, Hongqi; Liu, Jian; Pareek, Vishnu K.; Wang, Shaobin	162	40,5
2006	Consumer attitudes towards domestic solar power systems	Faiers, A.; Neame, C.	151	10,1
2005	Near-term technology policies for long-term climate targets economy wide versus technology specific approaches	Sanden, B.A.; Azar, C.	141	8,8
2015	Progress of nanofluid application in solar collectors: a review	Verma, Sujit Kumar; Tiwari, Arun Kumar	139	23,2
2012	The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change - Does the locus of policies matter?	Peters, Michael; Schneider, Malte; Griesshaber, Tobias; Hoffmann, Volker H.	135	15,0
2012	How renewables will change electricity markets in the next five years	Schleicher-Tappeser, Ruggero	134	14,9

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

O exame dos 4 artigos brasileiros em inovação e energia solar (tabela 23), apontou que o artigo *Photovoltaic solar energy: conceptual framework* (2017) recebeu o maior número de citações (120), com média anual de 31,2; seguido por *Solar energy technologies and open innovation: a study based on bibliometric and social network analysis* (2017), com 18 citações e média anual de 30,0. Em 2016, *Energy technology roll-out for climate mitigation: a multi-mode study for Latin America*, recebeu 18 citações, com média anual de 4,5. Em 2015, *Knowledge networks to improve the technological capability in a solar energy enterprise cluster* não recebeu nenhuma citação. Merino e Keyama (2015) pesquisaram sobre tecnologias de energia solar e como melhorar as capacidades tecnológicas; Zwan et al. (2016) examinam as tecnologias energéticas visando resolver problemas climáticos; e Sampaio e González (2017) e Paulo e Porto (2017) abordam a energia solar fotovoltaica para entender as tecnologias desta fonte. O interesse dos pesquisadores em estudar as tecnologias da energia solar deve prender-se ao fato de que esta foi a fonte energética de maior crescimento das últimas décadas e a que permite maior integração da demanda e da oferta, possibilitando captar recursos de geração variável com mais rapidez (IEA, 2020).

Tabela 23: Artigos brasileiros mais citados em inovação e energia solar - 2000 a 2017

Ano	Título	Autores	Citações	Média ano
2017	Photovoltaic solar energy: conceptual framework	Vasconcelos Sampaio, Priscila Gonçalves; Aguirre Gonzalez, Mario Orestes	120	31,2
2017	Solar energy technologies and open innovation: a study based on bibliometric and social network analysis	Paulo, Alex Fabianne; Porto, Geciane Silveira	18	30,0
2016	Energy technology roll-out for climate change mitigation: a multi-mode study for Latin America	Van der Zwaan, Bob; Kober, Tom; Calderon, Silvia. et al.	18	4,5
2015	Knowledge networks to improve the technological capability in a solar energy enterprise cluster	Alvarez Merino, Jose Carlos; Hata Keyama, Kazuo	0	0,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir da *Web of Science Core Collection* (2019)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apontam o crescimento dos depósitos de patentes em energia eólica e solar entre 2000 e 2017. A energia eólica passou a crescer a partir de 2007, enquanto a solar demorou um pouco mais (2009) para fazê-lo. Esse aumento no volume de depósitos das patentes advém de investimentos em P&D e demonstra o interesse e o comprometimento dos países e empresas no desenvolvimento das tecnologias. Acompanhando a tendência, o Brasil também viu aumentar o depósito de patentes dessas energias a partir de 2007.

A evolução das duas energias não se manifesta, porém, de modo semelhante quando se examina o número de depósitos de patentes. Entre 2009 e 2017, o crescimento médio anual da energia solar foi de 3,3%, enquanto a da energia eólica em 2,1%. O Brasil não repetiu o comportamento mundial, mas o inverteu notavelmente: crescimento médio anual da energia eólica de 42%, ao passo que a energia solar retrocedeu e mostrou valor negativo (-1,24%). Ou seja, na contramão dos demais países, a energia eólica avança entre nós e a solar continua incipiente.

Os países com maior número de depósitos em patentes em energia eólica são Estados Unidos, China e México, que se apresentam como países inovadores para essa tecnologia. Atenção especial merece a China, cujo número de patentes aumentou de modo significativo a partir de 2016, inversamente aos Estados Unidos, que vêm, reduzindo desde 2013 a quantidade de depósitos. O México é o terceiro país com maior número de depósitos de patentes, por iniciativa, entretanto, de não residentes, que veem o país como um mercado potencial para a energia eólica.

Em energia solar, os países líderes são China, México e Estados Unidos. A China, com quase metade de todos os depósitos, detém a maior participação, seguida pelo México e pelo Estados Unidos.

No Brasil, os países com mais depósitos de patentes em energia eólica são Alemanha, Brasil e Estados Unidos. Os depósitos de patentes da Alemanha representam mais da metade do total e indicam que o país quer proteger suas invenções no mercado brasileiro. As patentes brasileiras, em sua maioria, são de pessoas físicas e as empresas têm pouca representatividade.

Os países líderes das duas energias são os mesmos, mas com posições de liderança diferentes. Observa-se que a China, a partir de 2016, vem aumentando a quantidade de depósitos de patentes em energia eólica, ultrapassando os Estados

Unidos em volume anual, porém sem ainda assumir a liderança. Em energia solar, contudo, é líder disparada, por consequência dos investimentos em P&D nas tecnologias eólica e solar e de políticas agressivas de incentivos que estimulam a inovação tecnológica. O México é um mercado potencial para o setor de energia. O país promoveu transformações no setor energético, tendo abandonado o monopólio do petróleo e gás, feito concessões de capacidade instalada por meios de leilões, atraído investidores e expandido o mercado das renováveis, mas com volume expressivo nos depósitos de patentes somente de 2000 a 2003. Os Estados Unidos se apresentam de forma mais madura no desenvolvimento dessas tecnologias e mantêm-se na liderança como país mais inovador, tendo, entretanto, perdido força para a China, que cresceu rapidamente nos últimos anos.

Em comparação com os países líderes das duas energias, o Brasil enfrenta desafios de porte, a exemplo do elevado grau de dependência de tecnologias estrangeiras, políticas de incentivos governamentais que não se mostram eficazes e reduzidos investimentos no desenvolvimento dessas fontes de energias, o que o leva a apresentar resultado pouco expressivo nos depósitos de patentes em energia eólica e solar.

Os principais depositantes de patentes em energia eólica, no mundo, são a empresa dinamarquesa Vestas, a americana General Electric e a japonesa Mitsubishi, que se apresentam como as mais inovadoras no setor eólico. Dentre as demais depositantes, destacam-se as empresas Siemens, Nordex e Wobben Properties, que detêm a maior participação no mercado de turbinas eólicas. Em energia solar, as principais depositantes são as americanas Procter & Gamble e Kimberly-Clark e a chinesa ChangZhou Trina Solar Energy. No entanto, o grupo de depositantes mostra-se bastante pulverizado, constituído por muitas empresas com pequenas participações em relação ao total de patentes. Também merecem menção as universidades chinesas no rol das principais depositantes.

No Brasil, os principais depositantes de patentes de energia eólica são a Wobben Properties e seu CEO, Aloys Wobben, cujo interesse manifesto é proteger os produtos da empresa alemã no mercado brasileiro. Em energia solar, destacam-se a brasileira Aquecedor Solar Transsen, a australiana Endless Solar Corp. e a brasileira Celesc Distribuição S.A. como principais depositantes.

As principais depositantes de patentes nas energias eólica e solar, quando comparadas, revelam importantes diferenças entre si. As empresas depositantes de

patentes em energia eólica são, em sua maioria, fabricantes com significativa participação no setor eólico, confirmando a liderança da dinamarquesa Vestas. Já entre os depositantes em energia solar, as primeiras duas maiores são empresas americanas que não fabricam equipamentos solares, atividade desenvolvida pela chinesa Changzhou Trina Solar Energy, a terceira maior do ramo. Na energia eólica, as universidades não aparecem com participação nos depósitos de patentes, outra diferença em relação à energia solar, que enumera várias universidades chinesas entre as principais depositantes.

No Brasil, o número de depósitos de patentes em energias solar e eólica não é relevante quando comparado ao de outros países. Na eólica, a maior participação é da empresa alemã com interesse no mercado brasileiro e, na energia solar, a participação das empresas é inexpressiva.

Na área tecnológica em energia eólica, o IPC mais registrado é o F03D, na área de engenharia mecânica, que indica o esforço tecnológico para aprimorar o motor e o rotor das turbinas eólicas. Em energia solar, os IPCs mais registrados são o F24J e o H01L, nas áreas de engenharia mecânica e eletricidade. No Brasil, tanto para a energia eólica quanto para a energia solar, o predomínio é dos mesmos IPCs.

A área tecnológica em energia eólica confirma a tendência do mercado eólico em aumentar a potência dos motores para produzir eletricidade. As patentes registradas em energia solar abrangem invenções para coletores de calor solar e dispositivos elétricos adaptados como dispositivos de conversão. Os IPCs para essa energia são bastante pulverizados, talvez por haver duas tecnologias de geração: uma em escala comercial e outra, em configurações menores, para minirredes ou uso pessoal.

Para a energia eólica, os artigos publicados por ano, entre 2000 a 2017, revelam crescimento das publicações a partir de 2007, enquanto para energia solar tal crescimento se observa a partir de 2009. Comparando as publicações entre as duas energias, no período de 2008 a 2017, a energia eólica registra crescimento médio anual de 19,6% e a solar, de 42,5%. O crescimento no volume das publicações nas últimas décadas indica a popularização da inovação em energias renováveis e sugere que a inovação em energia solar desperta maior interesse dos pesquisadores.

Nos artigos publicados por países em inovação e energia eólica, no mundo, entre 2000 e 2017, os Estados Unidos, China e Inglaterra se apresentam como líderes em publicações. A China, em 2014, já havia ultrapassado todos os países, com

exceção dos Estados Unidos, em quantidade de publicações. Na energia solar, os países líderes são Estados Unidos, China e Alemanha. Nota-se que a China vem aumentando a quantidade de artigos publicados nos últimos anos. Os Estados Unidos, no entanto, continuam líderes de publicações nas energias eólica e solar e a China ocupa a segunda posição, a despeito de seu desempenho notável nos últimos anos. O Brasil, em energia eólica, registra a primeira publicação em 2015, e ocupa a 24ª posição, com 5 artigos publicados. Em energia solar, ocupa a 26ª posição, com 4 artigos publicados. O desempenho do Brasil em publicações que envolvem inovação em energias eólica e solar é baixo muito possivelmente porque o País pouco investe em P&D na área de energias renováveis.

Os periódicos mais citados em energia eólica no mundo, entre 2000 e 2017, foram o *Energy Policy*, *Renewable Sustainable Energy Reviews* e *Technological Forecasting and Social Change*, e são os que mais contribuem para o conhecimento na área de inovação em energia eólica. Em energia solar, os periódicos mais citados foram *Energy Policy*, *Renewables Sustainable Energy Reviews* e *Renewable Energy*. Os dois periódicos mais citados que publicaram sobre inovação em energia eólica e solar foram o *Energy Policy* e o *Renewable Sustainable Energy Reviews*. Não foi citado nenhum periódico nacional.

Os autores que publicaram em inovação e energia eólica têm maior representatividade no total dos artigos e estão vinculados a universidades dos países líderes em energia eólica, que investem muito em P&D. Em inovação e energia solar, dentre os que mais publicaram, destaca-se o autor vinculado à empresa israelense, participação relevante tanto mais porque nem a empresa, nem o país se destacam nesse segmento de energia.

Os autores brasileiros com maior número de publicações em inovação e energia eólica e também em inovação e energia solar, representam apenas 0,2% do total das publicações, coincidentemente o mesmo percentual nos dois casos., participação que é absolutamente inexpressiva.

Constata-se, após análise do patenteamento e das publicações científicas no mundo e no Brasil, que o principal expoente é a China, que apresenta em todos os quesitos analisados forte e crescente desempenho nos últimos anos. Claramente, isso é reflexo de fortes políticas públicas e investimentos para que o país atinja participação expressiva no cenário mundial. Sua alta performance tem permitido

superar *players* tradicionais, como Estados Unidos, Alemanha e Japão, que são expoentes no desenvolvimento de novas tecnologias.

O desempenho do Brasil em relação a inovações na área de energias renováveis é muito incipiente, com reflexo no registro de patentes e publicações científicas, efeito provável dos baixos investimentos realizados na capacitação tecnológica nacional. A política de resultados para curto prazo e incentivos públicos desarticulados e sem adequada avaliação, associados a fontes de financiamento instáveis, entre outros fatores, ajudam a explicar o quadro adverso.

É possível atribuir a elevada performance chinesa ao resultado de um planejamento de décadas, que permitiu acumular o conhecimento necessário ao desenvolvimento de seu parque tecnológico, a despeito da forma como foi planejada a abertura de sua economia e de sua nova inserção no mundo.

Para o Brasil, não é de crer que haverá produção intelectual correspondente à dos países líderes no mundo enquanto não houver os investimentos necessários em condições fundamentais de educação e políticas que gerem condições igualitárias de desenvolvimento pessoal. Somente por essa via, que demanda forte participação do Estado em políticas eficazes e de longo prazo para a maturação do desenvolvimento tecnológico, em especial, nas energias renováveis aqui tratadas, se é possível superar os desafios que as mudanças climáticas impõem à sociedade contemporânea.

Como todo processo de planejamento estratégico é fundamental que o Brasil adote um *benchmark* para orientar o seu processo de desenvolvimento. A China parece ser o país mais adequado, pelos expressivos resultados que vem colhendo nos últimos anos, a essa função. Tal ponto de partida poderá orientar as ações necessárias e que surtiram efeito positivo naquele país, balizando as ações que os tomadores de decisão vierem a implementar entre nós.

Espera-se que o Brasil ocupe, no futuro, posição relevante no cenário mundial de inovação em energias renováveis. Tanto mais base terá essa esperança se vier acompanhada dos investimentos necessários em P&D para energias solar e eólica, juntamente com a implementação de políticas públicas de incentivo à oferta e demanda de energia.

O presente trabalho contribui de duas formas, teórica e empírica. A contribuição teórica se dá pela análise das publicações científicas e depósitos de patentes, a qual confirma os Estados Unidos como líderes em inovação em energia eólica e solar e

revela a China como país inovador dessas duas tecnologias. A contribuição empírica se dá quando permite direcionar os tomadores de decisões em políticas públicas com o objetivo de colocar o Brasil entre os países inovadores de energia eólica e solar. A exemplo da China, o País deve fazer políticas de incentivos para o desenvolvimento das duas energias, apoiar e investir nas universidades para capacitação tecnológica e aumentar os investimentos em P&D das energias renováveis.

Certas limitações, como em toda pesquisa, foram identificadas no desenvolvimento deste trabalho. Destaca-se que algumas patentes não possuíam classificação de IPC, outras, o nome do titular, também, a falta de padronização dos nomes dos titulares. Os casos para os quais não foram possíveis as correções foram excluídos da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**. 2014.

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Elétrica. **Annual Wind Power Generation Report**. 2016.

ABRAHAN, B.P.; MOITRA, S.D. Innovation assessment through patent analysis. **Technovation**, 2000.

ÁLVAREZ, N.G.; ANTOLÍN, M.N. Appropriability of innovation results in an empirical study in Spanish manufacturing firm. **Technovation**, v.27, 280-295, 2007.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz energética**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em 14 set. 2018.

ARUNDEL, A.; KEMPT, R. **Measuring eco-innovation**. Maastricht: UNU-MERIT, 2009.

AZEVEDO, R.S.; NEGREIROS, A. B.; OLIVEIRA, A.M.J. Análise da produção tecnológica no setor de energia solar através das patentes. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v.14, n.33, p. 107-130, jul/set. 2018.

BEN. **Balanco energético nacional**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional?_20_folderId=1143903&_20_displayStyle=descriptive&_20_vie>. Acesso em 28 set. 2019.

BLIND, K. J.; EDLER, R. F.; SCHMOCH, U. Motives to patent: empirical evidence from Germany. **Research Policy**, v. 30, p. 655-672, 2006.

BLOOMBERG, Bloomberg New Energy Finance. **New Energy Outlook (NEO)**, 2018.

BOHRINGER, C.; LANDIS, F.; REANOS, M.A.T. Economic impacts of renewables energy production in Germany. **The Energy Journal**, v.38, S11, 2017.

BORUP, M.; KLITKOU, A.; ANDERSEN, M.M.; HAIN, D.S.; LINDGAARD, C.; RENNINGS, K. Indicators of energy innovation systems and their dynamics. **Radar Report**, 2013.

BRAGA, G.M. Informação, ciência, política científica: o pensamento de Derek de Solla Price. **Ciência da Informação**, Rio de Janeiro, v.3, n.2, p. 155-177, 1974.

BRASIL. Lei nº 9991, 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de Investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Presidência da República Casa Civil. Disponível em:<planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm#:~:text=LEI%20No%209.991%2C%20DE%2024%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Dispoe> Acesso em 02 fev. 2020.

BRASIL. Lei nº 10.438, 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa

de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). **Presidência da República Casa Civil**. Disponível em:

<planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm>. Acesso em 18 abr. 2020.

BRASIL. Lei nº 10.762, 11 de novembro de 2003. Dispõe sobre a criação do programa emergencial e excepcional de apoio às concessionárias de serviços públicos de distribuição elétrica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Disponível em:<[www.2camara.leg.br/legin/fed/lei/2003/lei-10762-11-novembro-2003-497315-norma-pl.html](http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2003/lei-10762-11-novembro-2003-497315-norma-pl.html)>. Acesso em 15 mai. 2019.

BRASIL. Lei nº 10.973/04, 02 de dezembro de 2004. Dispõe sobre os incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnologia no ambiente produtivo. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm>. Acesso em 12 set. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.943, 28 de maio de 2009. Dispõe sobre a utilização do excess de arrecadação e do superávit financeiro das fontes de recursos existentes no tesouro nacional. **Presidência da República Casa Civil**. Disponível em:

<[planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007/2009/LEI/L11943.htm#:](http://planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007/2009/LEI/L11943.htm#:~:text=LEI%20N%2011.943%2C%20DE%2028%20DE%20MAIO%20DE%20)
~:text=LEI%20N%2011.943%2C%20DE%2028%20DE%20MAIO%20DE%20

Acesso em 20 nov. 2019.

BRASIL. Projeto de Lei nº1563, de 2007. Disponível

em:<<http://www.camara.gov.br/proposicoesweb/promostraintegra?codteor=481976>>. Acesso em 15/10/2019.

BRAUN, T.; SCHUBERT, A. P.; KOSTOFF, R.N. Growth and trends of fullerene research as reflected in its journal literature. **American Chemical Society**, v.100, p. 23-37, 2000.

BREAKTHROUGH ENERGY. **Breakthrough energy coalition**. Disponível em:

<<http://www.b-t.energy/>>. Acesso em 15 out. 2019.

BROCKHOFF, K. Exploring strategic R&D success factors. **Technology Analysis and Strategic**, v.15, n. 3, p. 333-348, 2003.

BYMA, J.; LEIPONEN, A. L. Can't block, must run: small firms and appropriability. The Mario Einaudi Center for International Studies. **Working Paper Series**, p. 1-7, 2007.

COHEN, W.; GOTO, A.; NAGATA, A.; NELSON, R.; WALSH, J. R&D spillovers, patentes and the incentives to innovative in Japan and the United states. **Research Policy**, v. 31, p.1349-1367, 2002.

CRESWELL, J. W. Projeto de Pesquisa. **Métodos qualitativo, quantitativa e misto**. 2ª edição. Reimpressão Artmed Bookman. 2007.

DERNIS H.; GUELLEC, D. **Using patent counts for cross-country comparisons of technology output**, 2001.

DONG, B.; XU, G.; LUO, X.; CAI, Y.; GAO, W. A bibliometric analysis of solar power research from 1991 to 2010. **Scientometric**, n. 93, p. 1101-1117, 2012.

EC. European Commission. **Heating and cooling**. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling>>. Acesso em 28 dez. 2018.

ECK, N.J.V. **Methodological advances in bibliometric mapping of Science**. (Tese Doutorado) Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2011.

ESPOSITO, A.S.; FUCHS, P.G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES** 40, dez, 2013.

EUROSTAT. **Your key European Statistics**. Disponível em: <ec.europa.eu/eurostat/em/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190304-01>. Acesso em 24/09/2019.

FERREIRA, A.; KUNH, S.S.; FAGNAMI, K.C.; SOUZA, T.A.; TONEZER, C.; SANTOS, G.R.; ARAÚJO, C.H.C. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 81, p. 181-191, 2018.

FREEMAN, C.; SOETE, L. Developing Science, technology and innovation indicators: what we can learn from the past. **Research Policy**, n. 38, p. 583-589, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIDEHOUSE INSIGHTS. **World Wind Energy Market Update 2018**. Disponível em <guidehouseinsights.com/reports/world-wind-energy-market-update2018>. Acesso em 15/06/2020.

GRILICHES, Z. Patentic Statistics as economic indicators: a survey. **Journal of Economic**, p.1661-1707,1990.

HE, Z.X.; XU, S.C.; LI, Q.B.; ZHAO, B. **Factors that influence renewable energy technological innovation in China: a dynamic panel approach**, 2018.

HU, R.; SKEA, J.; HANNON, M. Measuring the energy innovation process: an indicators framework and a case study of wind energy in China. **Technological Forecasting & Social Change**, 2017.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Outlook 2016**, IEA, Paris, DOI: <<http://dx.doi.org/10.1787/weo-2016-en>, 2016c>. Acesso em 12 mai. 2018.

IEA. International Energy Agency. **Mexico Energy Outlook**, OECD/IEA/2016.

IEA. International Energy Agency. **Clean energy progress report**. Disponível em: <http://iea.org/papers/2011/cem_progress_report.pdf. 252,2001>. Acesso em 15 set. 2018.

IEA. International Energy Agency. **Renewables**. Disponível em: <iea.org/topics/renewables/>. Acesso em 08 out. 2019.

IEA. International Energy Agency. **Renewable statistics**. Disponível em: <iea.org/statistics/renewables/>. Acesso em 10 out. 2019.

IEA. International Energy Agency. Global EV Outlook 2019. **Scaling-up the transition to electric mobility**. Disponível em: <[global%20EV%20outlook%2019.pdf](#)>. Acesso em 15/06/2020.

IEA. International Energy Agency. **Overview of Renewables and Waste in The World**. Renewables Information Overview. Edição 2019. Disponível em <[renewables%20IEA%2019.pdf](#)>. Acesso em 20/05/2020.

IGAMI, M. P. Z. **Elaboração de indicadores de produção científica com base na análise cientométrica das dissertações e teses do IPEN** (Tese de Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

IKPAAHINDI, L. An overview of bibliometrics: its measurements, laws and their application. **National Veterinary Research Institute**, Libri, vol.35, n.2, p. 163-177, 1985.

INPI. Instituto Nacional de Propriedade Intelectual. Guia Básico - Patentes. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/portal/artigo/guia_basico_patentes>. Acesso em 20 abr. 2018.

INPI. Instituto Nacional de Propriedade Intelectual. O que é patente? Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/servicos/perguntas-frequentes-paginas-internas/perguntas-frequentes-patente#patente>>. 15/09/2018.

IOREC. **About**. Disponível em: <<https://iorec.irena.org/>>. Acesso em 20 set. 2019.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Aquecimento Global de 1,5°C**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf>. Acesso em 20 set. 2019.

IPEA. Instituto Pesquisa Estatística Aplicada. **Brasil investe pouco em energias alternativas Pesquisador do IPEA lança estudo inédito com panorama sobre os Investimentos em energias renováveis na última década**. 2015. Disponível em: <[Brasil%20investe%20pouco%20em%20energias%20alternativas%20Pesquisa](#)>. Acesso em 26/08/2019.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Untapped potential for climate action: renewable energy in nationally determined contributions**. Disponível em <<https://irena.org/IRENA-Untapped-potential-2017-summary.pdf>>. Acesso em 21/11/2018.

IRENA- International Renewable Energy Agency. Innovation Outlook: **Renewable mini-grids, international renewable agency**, 2016. Disponível em: <http://irena.org/Innovation%20Outlook_%20Renewable_%20Mini-grids.pdf%20Irena%202016.pdf>. Acesso em 18 set. 2019.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Global energy transformation**. Disponível em: <[https://irena.org/IRENA_global_Energy_Transformation_2019%20\(1\).pdf](https://irena.org/IRENA_global_Energy_Transformation_2019%20(1).pdf)>. Acesso em 30 ago. 2019.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Zhangjiakou Energy Transformation Strategy 2050**, 2019. Disponível em <irena_zhangjiakou_2050_roadmap_2050pdf>. Acesso em 24/06/2020.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Global Energy Transformation. A roadmap to 2050**. Disponível em:<global/Energy%20Transformation_%20A%20Roadmap%20TO%202020%202050%2>. Acesso em 15/05/2020.

JOHNSTONE, N.; HASCIC, I.; POPP, D. Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. **Environmental and Resource Economics**, v.45 n.1, p.133-155, 2009.

JUÁREZ, A.A.; ARAÚJO, A.M.; ROHATGI, J.S.; OLIVEIRA FILHO, O.D.Q. Development of the wind power in Brazil: political, social and technical issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.39, p. 828-834, 2014.

KANTOR, D. Energías renovables inaugural una fábrica de aerogeneradores eólicos. **Clarín.**, Argentina, 07/11/2018. Economía.

KLAASSEN, G.; MIKETA, A.; LARSEN, K.; SUNDQVIST, T. The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and United Kingdom. **Ecological Economic**, v.54, p. 227-240, 2005.

KLITKOU, A.; SCORDATO, L.; IVERSEN, E. Nordic energy technology scoreboard. Nordic **Energy Research**, Oslo, 2010.

KOBASHI, N. Y; SANTOS, R.N.M. Arqueologia do trabalho imaterial: uma aplicação bibliométrica à análise de dissertações e teses. **Ciência da Informação**, Florianópolis, n. esp., 1ª sem. 2008.

LEUSIN, M.E.; VAZ, C.R.; MALDONADO, M.U. Mapeamento tecnológico de patentes em energia eólica no Brasil. **Future Journal**, v.10, n.2, p. 303-331. mai/aug. 2018.

LEVIN, R. C.; KLEVORICK, A.K.; NELSON R. R.; WINTER, S. G. Appropriating the Returns from Industrial Research and Development. **Brookings Papers on Economic Activity**, n. 3, p. 783-831, 1987.

LEWIS, J.; WISER, R. Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industrial policy support mechanisms. **Journal of Energy Policy**, v.35, p. 1844-1857, 2005.

LEWIS, N. Research opportunities to advance solar energy utilization. **Science**. v.351, 2016.

LINDMAN, A.; SODERHOLM, P. Wind energy and green economy in Europe: measuring policy – induced innovation using patente data. **Applied Energy**, 2015.

MACIAS-CHAPULA, C.A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciências da Informação**, Brasília, v.27, n.2, p.134-140, maio/ago. 1998.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities. **Industrial and Corporate Change**, v.6, Issue 1, p. 83–118, 1997.

MANUAL DE OSLO. **Manual de Oslo**: The Measurement of Scientific Technological and Innovation Activities. 4^o edição, OECD/EUROSTAT, 2018.

MERINO, J.C.A.; KEYAMA, K.H. Knowledge networks to improve the technological capability in a solar energy enterprise cluster. **2015 Proceeding of PICMET “15**, 2015.

MERRILL, L.; BRIDLE, R.; KLIMSCHEFFSKIJ, M.; TOMMILA, P.; LONTOH, L.; SHARMA, S.; TOUCHETTE, Y.; GASS, P.; GAGNON-LEBRUN, F.; SANCHEZ, L.; GEROSIM CHUK, I. **Making the switch: from fossil fuel subsidies to sustainable energy**. Copenhagen. Nordic Council of Ministers, 2017.

MMA. **Clima**. Disponível em: <[mma.gov.br/ clima.html](http://mma.gov.br/clima.html)>. Acesso em 15 nov. 2018.

MME. **Eficiência no uso de energia**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional?_20_folderId=1143903&_20_displayStyle=descriptive&_20_vie>. Acesso em 28 set. 2019.

MORRIS, S.A.; MARTENS, B.V.V. Mapping research specialties. **Annual Review of Information Science and Technology**, Chapter 6, p. 213-295, 2008.

MRE. **O acordo TRIPS: um panorama**. Disponível em: <http://delbrasomc.itamaraty.gov.br/pt-br/acordo_trips.xml>. Acesso em 12 mar. 2019.

MUNDACA, L.; RICHTER, J. L. Assessing green energy economy stimulus packages: evidence from the U.S programs targeting renewable energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 42, p. 1174-1186, 2015.

NEGRI, F. **Novos caminhos para a inovação do Brasil**. Editora: Wilson Center, 2018.

NIOSI, J.; SAVIOTTI, P.; BELLON, B.; CROW, M. National systems of innovation: in search of a workable concept. **Technology in Society**, v. 15, p. 207-227, 1993.

NORDEN. **Nordic Energy Technology Scoreboard**. Disponível em: <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2012/01/nordic_energy_technology_scoreboard_concise_version1.pdf>. Acesso em 2 out. 2019.

OECD. **Patentic statistcs manual**. Disponível em: <<https://oecd.org/OECD%20Patent%20Statistics%20Manual.pdf%202009.pdf>>. Acesso em 10 out. 2019.

OKUBO, Y. **Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples**. Paris, OECD, 1997, p.69 (STI Working Papers, 1997/01).

PAMPLONA, J.B.; YANIKIAN, V.P.M. O sistema federal de financiamento à inovação no Brasil. **Revista Pesquisa & Debate**, v.26, nº47, 2015.

PAULO, A.F. **Cooperação e rotas tecnológicas para o desenvolvimento de tecnologias sobre energia solar fotovoltaica: uma análise baseada em patentes**. 2019. (Tese Doutorado em administração) Faculdade de economia, administração e contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo. Ribeirão Preto, 2019.

PAULO, A.F.; PORTO, G.S. Evolution of collaboration networks of solar energy applied technologies. **Journal Cleaner Production**. Manuscript, 2018.

QIANG, Z.; HONGHANG, S.; YANXI, L.; YUREU, X.; JUN, S. China's solar photovoltaic policy: an analysis based on policy instruments. **Applied Energy**, v.129, p. 308-319, 2014.

REN21. **Renewables global status report**. Disponível em: <ren21.net/gsr-2019/pages/foreword/>. Acesso em 20 abr. 2019.

REN21. **Renewables global status report**. Disponível em: <ren21.net/gsr-2019/chapter_01/chapter_01/>. Acesso em 20 abr. 2019.

REN21. **Renewables global status report**. Disponível em: <ren21.net/gsr-2019/chapter_02/chapter_02/>. Acesso em 20 abr. 2019.

REW. **Renewable Energy World**. Disponível em:<renewableenergyworld.com/2018/02/14/bigger-turbines-better-economics-more-digitization-on-deck-for-2018-wind-power-market/>. Acesso em 16/06/2019.

ROSSETO, D.E.; BERNARDES, R.C.; BORINI, F. M. Estrutura e evolução da inovação através da análise da literature dos últimos 60 anos. **SIMPOI**. p. 1-16, 2016.

ROSSETO, D.E.; BERNARDES, R.C.; BORINI, F.M.; GATTAZ, C.C. Structure and evolution of innovation research in the last 60 years: review and future trends in the field of business through the citations and co-citations. **Scientometrics**, 2018.

SAMPAIO, P.G.V.; GONZÁLEZ, M.O.A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.74, p. 590-601, 2017.

SATTLER, H. Appropriability of product innovations: an empirical analysis for Germany. **Research papers on marketing and retailing**, University of Hamburg, n. 3, 2003.

SHIPMAN, J.R. International patente planning. **Harvard Business Review** (67212), p. 116-132, 1967.

SILVA, R.M. **Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília, Núcleo de Estudos e Pesquisas/ CONLEG/ Senado, fev., 2015.

SILVA, R.C.; NETO, I.M.; SEIFERT, S.S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.59, p. 328-341, 2016.

SMITH, K. **Climate change and radical energy innovation: the policy issues**. Victoria: Department of premier and cabinet government of Victoria, Australia, 2008.

TAGUE-SUTCLIFFE, J. An introduction to informetrics. **Information Processing & Management**, vol. 23, n.1, p. 1-3, 1992.

TIMILSINA, G.R.; KINDGELASHVILI, L.; NARBEL, P.A. Solar energy: markets, economics and policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 449-465, 2011.

VAN RAAN, A.F.J. The use of bibliometric analysis in research performance assessment and monitoring of interdisciplinary scientific developments. **Pre-print**, 2003.

VANTI, N.A.P. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da Informação**, Brasília, v.31, n.2, p. 152-162, maio/ago. 2002.

WATANABE, C.; TSUFI, Y. S.; BROWN, C. G. Patent statistics: deciphering a “real” versus a “pseudo” proxy of innovation. **Technovation**, v. 21, p.783-790, 2001.

WIPO. **What is wipo?** Disponível em: <wipo.int/about-wipo/em/>. Acesso em 15 dez. 2018.

WIPO. **Patentscope**. Disponível em: <wipo.int/patentscope/em/>. Acesso em 02 fev. 2019.

WIPO, World Intellectual Property Organization. **World Intellectual Property Indicators**. Disponível em: <wipo.int/edocs/pubdocs/em/wipo_pub_941_2018.pdf>. Acesso em 01/06/2020.

ZHANG, Y.; JOINER, J.; ALEMOHAMMAD, S.H.; ZHOU, S.; GENTINE, P. A global spatially contiguous solar-induced fluorescence (CSIF) dataset Using neural network. **Biogeosciences**, v.15, p. 5779-5800, 2018.

ZHAO, X.; ZENG, Y.; ZHAO, D. Distributed solar photovoltaics in China: policies and economic performance. **Energy**, p. 360-5442, 2015.

ZWAAN, B.V. et al. Energy technology roll-out for climate change mitigation: A multi-mode study for Latim America. **Energy Economics**, v.56, p.526-542, 2016.