

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

CENTRO DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO

FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

JOÃO VICTOR BEVILACQUA

**POLÍTICAS DE INCENTIVO À ENERGIA EÓLICA NO
BRASIL NO SÉCULO XXI**

CAMPINAS

2022

JOÃO VICTOR BEVILACQUA

**POLÍTICAS DE INCENTIVO À ENERGIA EÓLICA NO
BRASIL NO SÉCULO XXI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas ao Centro de Economia e Administração da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Daniela Scarpa Beneli

PUC – CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica elaborada por Adriane Elane Borges de Carvalho CRB 8/9313
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

339.5 B571p	Bevilacqua, João Victor Políticas de incentivo á energia eólica no Brasil no século XXI / João Victor Bevilacqua. - Campinas: PUC-Campinas, 2022. 87 f.: il. Orientador: Daniela Scarpa Beneli . TCC (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências Econômicas, Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022. Inclui bibliografia. 1. Desenvolvimento sustentável. 2. Energia eólica. 3. Energia - Fontes alternativas. I. Beneli , Daniela Scarpa. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Economia e Administração. Faculdade de Ciências Econômicas. III. Título.
----------------	--

CDD - 22. ed. 339.5

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Centro de Economia e Administração

Faculdade de Ciências Econômicas

Autor: João Victor Bevilacqua

O Desenvolvimento Sustentável e a Ascensão da Energia Eólica

Trabalho de Conclusão de Curso

BANCA EXAMINADORA

Presidente e Orientadora: _____

Examinador: _____

Campinas, 12 de dezembro de 2022.

A Deus

que criou o vento;

pelo teu infinito amor e graça imerecida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus porque Ele é a minha salvação, a minha esperança viva e Aquele me amou até o fim. Foi o Senhor quem me susteve até aqui. Palavras nunca serão suficientes para agradecer. Obrigado.

Agradeço a meu pai Vanderlei Bevilacqua e a minha mãe Ricardina Rosa da Silva Bevilacqua por terem sido pais tão maravilhosos, que nunca deixaram de me apoiar e que me incentivaram sempre a voar mais alto. Sou eternamente grato.

Agradeço a minha irmã Beatriz Bevilacqua que sempre foi um modelo de inspiração para mim. Sua perseverança e força de vontade me fazem ser cada dia melhor.

Agradeço aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, em tantas situações, no dia bom e no dia mal e que nunca deixaram de sonhar junto comigo.

Agradeço aos meus colegas de curso por todos os momentos juntos. Sem vocês, nada disso teria sido possível.

Agradeço à minha orientadora Daniela, por ter aceitado trabalhar neste tema comigo e que foi uma peça central para a entrega deste trabalho. Sem você, a realização desse trabalho não seria possível. Obrigado por tanto apoio, por ser tão compreensível e tão boa no que faz!

Agradeço a todos que, de alguma forma, cooperaram e me auxiliaram na elaboração da minha monografia e na conclusão do meu curso, para finalmente me tornar um Economista. Agradeço do fundo do meu coração. Obrigado.

RESUMO

BEVILACQUA, João Victor. O Desenvolvimento Sustentável e a Ascensão da Energia Eólica. 2022. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Ciências Econômicas, Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.

Este trabalho tem como finalidade analisar a evolução de políticas de incentivo à inserção da energia eólica na matriz energética mundial e, principalmente brasileira, assim como seus resultados, baseado no avanço da discussão dos efeitos do aquecimento global e a importância da sustentabilidade, iniciada no século XX. A pesquisa foi feita com base na leitura e na interpretação de dissertações, artigos e teses em paralelo com a coleta de dados da Agência Internacional de Energia, da Associação Brasileira de Energia Eólica e da Empresa de Pesquisa Energética. Percebe-se com esse trabalho, a necessidade de instituir políticas coordenadas e que estimulem a implementação de fonte renováveis de energia, principalmente a energia eólica, para que haja a geração de energia sustentável no mundo e, especialmente, no Brasil.

Palavras-Chave: Sustentabilidade. Eólico. Fontes de Energia Renováveis. Políticas de Incentivo.

ABSTRACT

BEVILACQUA, João Victor. The Sustainable Development and the Ascension of Wind Energy. 87f. Final Project. Faculdade de Ciências Econômicas, Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

The purpose of this work is to analyze the evolution of incentive policies for the insertion of wind energy in the world energy matrix and especially in Brazil, as well as its results, based on the advancement of the discussion of the effects of global warming and the importance of sustainability, which began in the twentieth century. The research was based on the reading and interpretation of dissertations, articles and theses in parallel with the collection of data from the International Energy Agency, the Brazilian Wind Energy Association and the Energy Research Company. With this work, one realizes the need to institute coordinated policies that stimulate the implementation of renewable energy sources, especially wind energy, so that there is the generation of sustainable energy in the world and especially in Brazil.

Keywords: Sustainability. Wind energy. Renewable Energy Sources. Incentive Policies.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz Energética Mundial em 2019	31
Gráfico 2 - Matriz Energética Brasileira em 2019	53
Gráfico 3 - Matriz energética brasileira em 2021	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Componentes de um aerogerador horizontal padrão	38
Quadro 2 - Instrumentos de incentivo à energia eólica	51
Quadro 3 - Sistema de Leilões de Energia no Brasil	60
Quadro 4 - Síntese das principais linhas de financiamento do BNDES.....	69
Quadro 5 - Capacidades anuais das principais empresas eólicas instaladas no Brasil	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Crescimento do PIB real por hora trabalhada; conjunto de médias anuais entre 1870 -1984.....	19
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da Economia Donut	24
Figura 2 - Diagrama do Fluxo Circular.....	26
Figura 3 - Curva de Kuznets.....	27
Figura 4 - Ilustração descrita por Heron de Alexandria do primeiro século d.C.....	34
Figura 5 - Aerogerador de eixo vertical (a) e aerogerador de eixo horizontal (b)	37
Figura 6 - Principais componentes de uma turbina eólica	39
Figura 7 - A evolução do tamanho dos aerogeradores.....	40

LISTA DE SIGLAS

ACL – Ambiente de Comercialização Livre
ACR – Ambiente de Comercialização Regulado
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
AWEA - *American Wind Energy Association*
BNB – Banco do Nordeste do Brasil
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social
BRICS – Grupo formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CER – Contratos de Energia Reserva
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH₄ – Metano
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONER - Conta de Energia de Reserva
ECO-92 – Conferência do Meio Ambiente e o Desenvolvimento
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EUA – Estados Unidos da América
EWEA – *European Wind Energy Association*
Finame - Agência Especial de Financiamento Industrial
Finem – Financiamento a empreendimentos
FIT – *Feed-In-Tariffs*, ou tarifa-prêmio
GEE – Gases do Efeito Estufa
GW - Gigawatts
GWEC – *Global Wind Energy Council*
ICG - Instalações de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração de Conexão Compartilhada
IDP – Investimento Direto no País
IEA – Agência Internacional de Energia
IGPM – Índice Geral de Preços
IN – Índice de Nacionalização
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, em português, Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
kW – Quilowatts
kWh – Quilowatt-hora
LEE – Leilões de Energia Existente
LEN – Leilões de Energia Nova
LER – Leilões de Energia de Reserva
LFA – Leilões de Fontes Alternativas
LFE - Lei *Feed-In* de Eletricidade
MW – megawatts
MWh – Megawatts-hora
N₂O – Óxido Nitroso
NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, em português, Agência Nacional Oceânica e Atmosférica
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEM – *Original Equipment Manufacturers*
ONG – Organização Não Governamental
ONU – Organização das Nações Unidas
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIA – Produtor Independente Autônomo
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROEÓLICA – Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RCL - Requisito de Conteúdo Local
SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SIN – Sistema Interligado Nacional
UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation
URSS – União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1 - A EVOLUÇÃO DA DISCUSSÃO SOBRE O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	18
1.1 Aspectos históricos da consolidação da matriz energética	18
1.2 A conformação do desenvolvimento sustentável	21
1.3 Economia Donut	23
CAPÍTULO 2 - A CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO CONTEXTO MUNDIAL	30
2.1 A composição da matriz energética mundial	30
2.2 O contexto histórico da energia eólica	34
2.3 Caracterização técnica e econômica da energia eólica e as atividades da indústria eólica	36
2.4 As políticas de incentivo à indústria eólica	45
CAPÍTULO 3 - AS POLÍTICAS DE INSERÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL	52
3.1 A matriz energética brasileira	52
3.2 As políticas de criação de mercado brasileiras	54
3.2.1 PROEÓLICA	54
3.2.2 PROINFA	55
3.2.3 Sistema de Leilões	58
3.3 Políticas Industriais	65
3.3.1 Índice de Nacionalização e Requisito de Conteúdo Local	65
3.3.2 Disponibilidade de Crédito.....	68
3.4 Os resultados das políticas de estímulo a energia eólica no Brasil	73

CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

INTRODUÇÃO

O Aquecimento Global e as mudanças climáticas estão cada vez mais presentes no cotidiano da população mundial. Ao ligar a televisão, ler as notícias por meio das redes sociais ou até mesmo por meio da vivência pessoal, uma nova realidade torna-se cada vez mais fundamentada: o clima do planeta está mudando rapidamente e os impactos socioeconômicos e políticos já são sentidos ao redor do mundo. Ano após ano, ondas de calor escaldam o hemisfério norte durante o verão, eventos climáticos extremos como enchentes e secas históricas assolam partes da Ásia e da América do Sul, incluindo o Brasil, e o derretimento das calotas polares aumentam o nível dos oceanos, colocando cidades litorâneas em risco.

NOAA (2020) evidenciou que somente na última década, entre 2011 e 2020, a variação decenal da temperatura foram positivos $0,44^{\circ}\text{C}$, superando a variação decenal de $0,15^{\circ}\text{C}$ nas décadas anteriores. Um ritmo nunca visto nos últimos 12 mil anos. As consequências desse aumento acelerado das temperaturas podem ser catastróficas, principalmente, para os países subdesenvolvidos que, segundo o Eckstein et al. (2021), são mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas do que os países desenvolvidos e industrializados.

Para ONU e IPCC (2021) é “inequívoco e inquestionável” o papel da influência humana no aquecimento do planeta. Isso, afinal, é a consequência de tempos de geração de energia para maior produção industrial e consumo doméstico baseada em combustíveis fósseis, que intensificam o efeito estufa e causam o aquecimento global.

Contudo, apesar de décadas de produção e consumo desajuizado, a sociedade tem aprofundado cada vez mais a discussão sobre sustentabilidade, principalmente, em relação às novas formas de geração de energia, que não agridam ao meio ambiente, como as fontes renováveis, em especial, a energia eólica. Camillo (2013) define a energia eólica como a energia cinética contida nas massas de ar em movimento canalizada pelos ventos, transformada em energia mecânica pelo rotor do aerogerador e, depois, em energia elétrica, no gerador. A energia eólica pode ser considerada como uma variante da energia solar, já que é gerada a partir da variação do aquecimento das camadas de ar, resultando em diferentes níveis de gradientes de pressão e de densidade, o que promove a movimentação do ar (OLIVEIRA; FUGANHOLI; CUNHA; BARELLI; BUNEL; NOVAZZI, 2018). É considerada uma fonte de energia renovável e intermitente, já que depende da incidência solar e de outros

fenômenos meteorológicos. Por isso, a produção desse tipo de energia depende muito de fatores geográficos relevantes como a longitude, latitude e a proximidade com o mar, já que a localização da instalação de aerogeradores deve ser feita em ambientes com ventos estáveis, com intensidade certa e sem mudanças bruscas de velocidade e direção.

A inserção da energia eólica na matriz energética pode tornar a geração de energia em uma produção mais sustentável e na contramão dos combustíveis que causam o aquecimento global. Porém, quais são os instrumentos de incentivo que os governos têm implantado para tornar a geração de energia eólica uma realidade internacionalmente e no Brasil? Ademais, quais desses instrumentos conseguiram cumprir seu objetivo?

O objetivo geral deste trabalho é analisar a evolução de instrumentos e medidas para a inserção da energia eólica na matriz energética brasileira, assim como seus resultados, baseado no avanço da discussão dos efeitos do aquecimento global e a importância da sustentabilidade, iniciada no século XX.

Os objetivos específicos são: a) Analisar o impacto do uso de combustíveis fósseis como principal fonte de energia e a evolução da discussão sobre os efeitos do aquecimento global e o foco na sustentabilidade, no âmbito mundial; b) Apresentar as características principais do setor eólico e focar nos principais instrumentos de incentivo à produção deste tipo de energia c) Identificar como se sucedeu a implantação de medidas no Brasil e analisar os resultados obtidos.

A escolha desse tema se deu pela necessidade de identificar, analisar e estudar as medidas de incentivo à expansão de energia eólica já que, com o aquecimento global e a ameaça de mudanças climáticas, mundialmente, políticos, cientistas e economistas, precisam avançar com a inserção de fontes de energias renováveis, para garantir a sustentabilidade na produção e no consumo mundiais, e portanto, podem usar da análise de medidas antecedentes, para formar políticas atuais.

A metodologia utilizada neste trabalho, levando em conta, seus propósitos e finalidades, foi a revisão bibliográfica e fundamentação teórica, realizada por meio da pesquisa. Dessa forma, foram usados materiais bibliográficos, como teses, dissertações, artigos acadêmicos e relatórios técnicos de diversas instituições, como a Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade de São Paulo. Estes materiais foram coletados em fontes diversas,

como: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES Periódico). Depois de coletados, os textos foram lidos e analisados, resumidos e organizados, de forma que as principais informações fossem devidamente expostas.

Além disso, para um maior enriquecimento do trabalho, fez-se a coleta de dados e informações sobre as matrizes energéticas mundiais e no Brasil, a capacidade instalada e os preços praticados pelos agentes econômicos, nas bases de dados da Organização das Nações Unidas (ONU), da Agência Internacional de Energia (IEA, em inglês), da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Todos os dados foram coletados, estudados e colocados em formato de quadros, tabelas e gráficos com a finalidade de complementar a abordagem teórica.

Este trabalho foi dividido em três capítulos, além dessa introdução e das considerações finais. O primeiro capítulo aborda a relação da demanda energética global sendo atendida por combustíveis fósseis com o aquecimento global e parte para o início e evolução da discussão mundial sobre sustentabilidade, discutindo mais a fundo, o modelo econômico da Economia Donut. A partir disso, o segundo capítulo foca em uma fonte de energia renovável, a energia eólica, analisando seu histórico e os instrumentos de incentivo para sua expansão. Por último, o terceiro capítulo analisa as principais medidas inseridas e seus resultados no contexto brasileiro, revelando as particularidades nacionais na inserção da energia eólica em sua matriz energética.

CAPÍTULO 1 - A EVOLUÇÃO DA DISCUSSÃO SOBRE O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A humanidade depende da natureza para viver. Desde seu aparecimento sobre a Terra, o homem, como qualquer outro ser vivo, exerce sua influência sobre a natureza, e dela retira recursos para assegurar sua sobrevivência e rejeita aquilo que não lhe é mais útil (SILVEIRA; SPAREMBERGER, 2007).

Um dos exemplos mais importantes de recursos que o homem extrai da natureza, são fontes de energia para realização de atividades. Na sociedade contemporânea, a energia tornou-se fundamental para a organização socioeconômica dos países e as formas de produção e consumo de energia têm uma série de impactos sobre o desenvolvimento econômico e social e o meio ambiente (PINTO JUNIOR et al., 2007).

Esse capítulo está dividido em três seções: a primeira expõe uma análise histórica partindo da Revolução Industrial sobre o uso de fontes de energias fósseis na cadeia produtiva e como isso agravou o aquecimento global, a segunda apresenta a evolução das reuniões mundiais que nasceram no início da década de 1970 e a introdução do conceito de desenvolvimento sustentável. Por fim, a terceira seção analisa o conceito sustentável de Economia Donut.

1.1 Aspectos históricos da consolidação da matriz energética

A Revolução Industrial foi um fenômeno histórico e socioeconômico que transformou o Ocidente, a natureza da sua sociedade e o seu relacionamento com os povos do mundo e do meio ambiente (PINTO JUNIOR et al., 2007). A primeira Revolução Industrial ocorreu na Inglaterra, entre o final do século XVIII e o início do século XIX, e depois se estendeu para outros países como França, Bélgica, Holanda, Rússia, Alemanha e Estados Unidos (BOETTCHER, 2015). As transformações tecnológicas deste período impactaram significativamente a organização econômica da sociedade. A primeira a ser mencionada é a substituição do trabalho vivo pelo trabalho morto (ANTUNES, 2000), ou seja, a substituição da capacidade humana pelo trabalho das máquinas, estas que eram mais velozes, eficientes e infatigáveis. A segunda foi o avanço da extração e a transformação de matérias-primas minerais que vieram a substituir matérias primas de origem vegetal e animal. A terceira foi a

substituição de fontes animadas de energia, como o homem e os animais, por fontes inanimadas (PINTO JUNIOR et al., 2007), principal catalisador para o aparecimento das máquinas.

Contudo, Leandres (1994) citado por Pinto Junior et al. (2007) observa que o desenvolvimento da indústria mecanizada, concentrada em grandes unidades produtoras, teria sido impossível sem a existência de uma fonte de energia mais vigorosa que as animadas. A resposta foi a máquina a vapor, com a exploração do carvão mineral, que foi considerado vantajoso porque essa fonte de energia aparentava ser ilimitada e acessível à indústria na época (PINTO JUNIOR et al., 2007). A partir de então, a aquisição de energia significava progresso e desenvolvimento e a falta dela representava atraso e pobreza.

As inovações tecnológicas não cessaram e no final do século XIX, com a ascensão de novas indústrias que nasceram do crescimento da compreensão em química, eletricidade e do motor de combustão interna, deu início a segunda Revolução Industrial que novamente trouxe mudanças profundas nas técnicas de produção, na eficiência do trabalho e nas fontes de energia para garantir a maior eficiência e utilidade da produção. O crescimento na produtividade é um importante fruto das transformações tecnológicas e das mudanças nas fontes de energia e que não se reteve apenas para essa época e apenas para o continente europeu. Segundo Britannica (2022) o Produto Interno Bruto (PIB) por hora trabalhada em países do ocidente europeu e no Japão cresceram, em média, 1,6% de 1870 até 1950. Já nos Estados Unidos da América (EUA), o crescimento foi de 2% de 1870 até 1913 e cerca de 2,5% de 1913 até 1950 (Tabela 1).

Tabela 1 - Crescimento do PIB real por hora trabalhada; conjunto de médias anuais entre 1870 -1984

	1870 - 1913	1913 - 1950	1950 - 1973	1973 - 1984
Estados Unidos (EUA)	2,0	2,4	2,5	1,0
França	1,7	2,0	5,1	3,4
Alemanha	1,9	1,0	6,0	3,0
Japão	1,8	1,7	7,7	3,2
Holanda	1,2	1,7	4,4	1,9
Reino Unido	1,2	1,6	3,2	2,4
Média dos países, exceto os EUA	1,6	1,6	5,3	2,8

Elaboração própria. Fonte: Journal of Economic Literature (1987) *apud* Britannica (2022)

O autor de Britannica (2022) ainda traz a ideia de que 2% ao ano pode parecer um número pequeno, mas quando somado no século, revela um aumento de sete vezes.

Contudo, visando apenas a produtividade, o progresso e o crescimento econômico, deixou-se de lado o meio ambiente e as consequências que a sua destruição causariam em todo Planeta. As principais fontes energéticas utilizadas até a década de 2020, mundialmente, são todas baseadas em combustíveis fósseis, que ao entrar em combustão, emitem emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Esses gases são fundamentais para a vida no planeta Terra já que são estes que absorvem a maior parte da radiação emitida pela superfície do planeta e a deixam aquecida.

A intensificação das atividades humanas fez aumentar a concentração na atmosfera de gases de origem antrópica. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB (2022) desde 1750, o aumento de concentração de CO₂ na atmosfera foi de 31%, sendo a principal fonte o uso de combustíveis fósseis e a concentração de CH₄ teve um aumento de 151%, causada pela produção e consumo de energia (incluindo biomassa), atividades agrícolas e aterros sanitários. O aumento de concentração desses gases acentua o fenômeno do efeito estufa.

Portanto, apesar da maior eficiência dos novos combustíveis, a emissão de gases GEE na combustão de carvão mineral e posteriormente do petróleo e do gás natural, combustíveis fósseis e não renováveis, causaram transformações profundas no meio ambiente. Hogan (2007), citado por Pott e Estrela (2017, p. 272), apresenta alguns eventos causados pela emissão de GEE:

[...] como o que ocorreu no Vale do Meuse, na Bélgica, em 1930, provocando a morte de 60 pessoas; em 1952, o smog em Londres, conhecido como “A Névoa Matadora”, que ocasionou mais de quatro mil mortes, sendo o primeiro a promover a movimentação das autoridades de saúde e a atenção quanto à qualidade do ar. Esse mesmo autor ainda comenta sobre alguns casos de contaminação de água, como o da Baía de Minamata no Japão, em 1956, que até dezembro de 1974 registrou 107 mortes oficiais e quase três mil casos em verificações.

Essas são apenas algumas consequências diretas da poluição causadas pela forma de produção e de consumo da sociedade. Pott e Estrela (2017, p. 271) são incisivos em afirmar que:

O momento atual, no que se refere ao meio ambiente, é reflexo de uma série de erros e decisões tomadas no passado. Encontramo-nos num ponto em que devemos basicamente reduzir os impactos desses erros, que nos foram deixados como legado, por uma geração, e trabalhar sob o enfoque da prevenção e da precaução para que as mesmas falhas não sejam repetidas.

1.2 A conformação do desenvolvimento sustentável

A produção de bens e o consumo de energia continuaram a crescer de forma exponencial e, segundo Pott e Estrela (2017), foi somente no final da década de 1960 e início da de 1970, que a questão ambiental começou a ser levantada. Em 1968, a UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), realizou em sua sede em Paris, uma conferência internacional para discutir a utilização e a conservação dos recursos da biosfera, criando o programa “Man and Biosphere” (O Homem e a Biosfera), reunindo mais de 60 países.

É no ano de 1972 que as discussões sobre o meio ambiente começam a se expandir. A publicação do livro “Os Limites do Crescimento” por Dennis Meadows, Donella Meadows, Jorgen Randers e William W. Behrens III, a pedido do Clube de Roma, foi um instrumento importante para a conscientização ambiental. O livro adverte que a humanidade corre para o desastre: se ela continuar com a mesma trajetória de crescimento, nada mais lhe restará a não ser morrer de fome ou por excesso de poluição, em algumas décadas (SACHS, 2007). Além disso, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano que aconteceu no mesmo ano, em Estocolmo, na Suécia, foi um marco para o debate. A conferência foi palco para uma discussão entre dois campos opostos: um estritamente econômico e outro incondicionalmente ecológico. Sachs (2007, p. 204) os descreve da seguinte forma:

Os adeptos do ‘crescimento em primeiro lugar’ apresentavam o crescimento rápido como solução para todos os problemas: ou ele asseguraria por si mesmo o ajuste automático de todas as outras dimensões do desenvolvimento, graças ao efeito da percolação das novas riquezas (trickle down), ou forneceria os meios para se atuar as melhores condições, uma vez que o país interessado tivesse atingido um PNB *per capita* mais alto. [...] O outro campo era o dos partidários do ‘crescimento zero’. Alguns aplicavam esse conceito apenas ao entendimento da questão demográfica. Outros estimavam que o verdadeiro desenvolvimento deveria ser mais qualitativo do que quantitativo.

Para Sachs (2007) foi necessário encontrar um equilíbrio entre os dois pontos de vista, reafirmando a necessidade de um crescimento equitativo que levasse explicitamente o meio ambiente.

Além desse encontro, outros ocorreram nos anos seguintes como a Conferência de Belgrado, Iugoslávia em 1975; a Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental em Tbilisi, antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) em 1977; a Assembleia Mundial dos Estados, em Nairóbi no Quênia em 1982, 10 anos após a realização da Conferência de Estocolmo e a Convenção de Viena para a proteção da Camada de Ozônio e a Comissão sobre o Meio Ambiente, na Áustria em 1985. (POTT; ESTRELLA, 2017).

Em 1984, a Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento se reuniu pela primeira vez e publicou em abril de 1987, o relatório “Nosso Futuro Comum”, ou relatório Brundtland, em homenagem à presidente da Comissão, a primeira-ministra norueguesa Gro Harlem Brundtland. Este relatório evidencia a maior correlação entre ecologia e a economia, em âmbito local, regional, nacional e mundial - numa rede inteiriça de causas e efeitos. (NOSSO FUTURO COMUM, 1987). É nele que o termo “Desenvolvimento Sustentável” aparece pela primeira vez, como uma estratégia que “visa a promover harmonia entre os seres humanos e a humanidade e a natureza”. (NOSSO FUTURO COMUM, 1987). O relatório propõe que o desenvolvimento sustentável deve atender às necessidades e as aspirações do presente sem comprometer a possibilidade de atendê-las no futuro, sem o fim do crescimento ou desenvolvimento econômico, dessa forma defende a justiça entre diacrônica, ou entre gerações, como meta privilegiada para o desenvolvimento (CORAZZA, 1996). Para alcançá-la, é necessário, segundo o relatório, por exemplo, um sistema político que assegure a efetiva participação dos cidadãos no processo decisório; um sistema econômico capaz de gerar excedentes e *know-how* técnico em bases confiáveis e constantes e um sistema social que possa resolver as tensões causadas por um desenvolvimento não-equilibrado.

Em junho de 1992, foi a vez do Brasil sediar a Conferência do Meio Ambiente e o Desenvolvimento, que ficou mais conhecida como Eco-92. Foi realizada 20 anos após a Conferência das Nações Unidas em Estocolmo e do nascimento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) com poucos avanços registrados (SACHS, 2007). Reuniram-se 114 chefes de Estado e 3.200 Organizações Não Governamentais (ONGs). Segundo Porto (2021), foi a primeira vez que a questão da

sustentabilidade ambiental estava relacionada às questões sociais de classe, raça, gênero e etnia, um marco para o conceito de justiça ambiental. Apesar de ser vista com otimismo e com a esperança de que haveria um esforço global para a redução das emissões de carbono e uma luta maior por equidade social, a ECO-92 que completou 30 anos em junho de 2022, deu lugar ao desânimo e poucas propostas efetivadas.

Todavia, não se esgotaram os esforços de garantir a continuidade da discussão sobre a sustentabilidade ambiental. Em 2015, os 193 Estados-membros da ONU, se engajaram na Agenda Pós-2015 que contava com o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Estas são baseadas no ideal de que um desenvolvimento sustentável não é possível sem a equidade social. Além disso, o surgimento de novas personalidades, como Greta Thunberg, reacenderam as discussões sobre a preservação do meio ambiente entre os jovens. A ativista sueca é uma das fundadoras do movimento popular “Fridays For Future” (Sextas-Feiras pelo Futuro, em português) que começou com uma greve escolar de três semanas, em 2018, compartilhada nas redes sociais e que depois ocorreu semanalmente. Greta começou a contar com o apoio de outros estudantes de seu país e de todo o mundo, e suas postagens desencadearam grandes demonstrações de apoio em países como Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha e o Brasil. Greta também foi conhecida pelo embate ideológico com o presidente americano, Donald Trump, que possuía uma agenda de política ambiental negacionista, formada por uma teoria que negam a existência do aquecimento global ou demonstram ceticismo em relação à intervenção do homem nas mudanças climáticas. Absurda para alguns, sensata para outros, o negacionismo do aquecimento global é um grande desafio para as nações na primeira e segunda década do século XXI porque dificultam ainda mais a implementação de políticas públicas que possam garantir uma economia mais sustentável.

1.3 Economia Donut

Para agregar na discussão sobre o desenvolvimento sustentável, cabe destacar um modelo econômico criado na década de 2010 e que é conhecido como Economia Donut, elaborado pela economista inglesa Kate Raworth. A apresentação de novos modelos econômicos construídos com base na sustentabilidade e equidade, que contestam o pensamento de que apenas o crescimento econômico é o

necessário para a sociedade e que possibilitam uma outra visão sobre a economia é vital para o século XXI, afinal, assim como afirma Raworth (2019, p. 14) “A economia é a língua-mãe da política pública, a linguagem da vida pública e a mentalidade que molda a sociedade.”

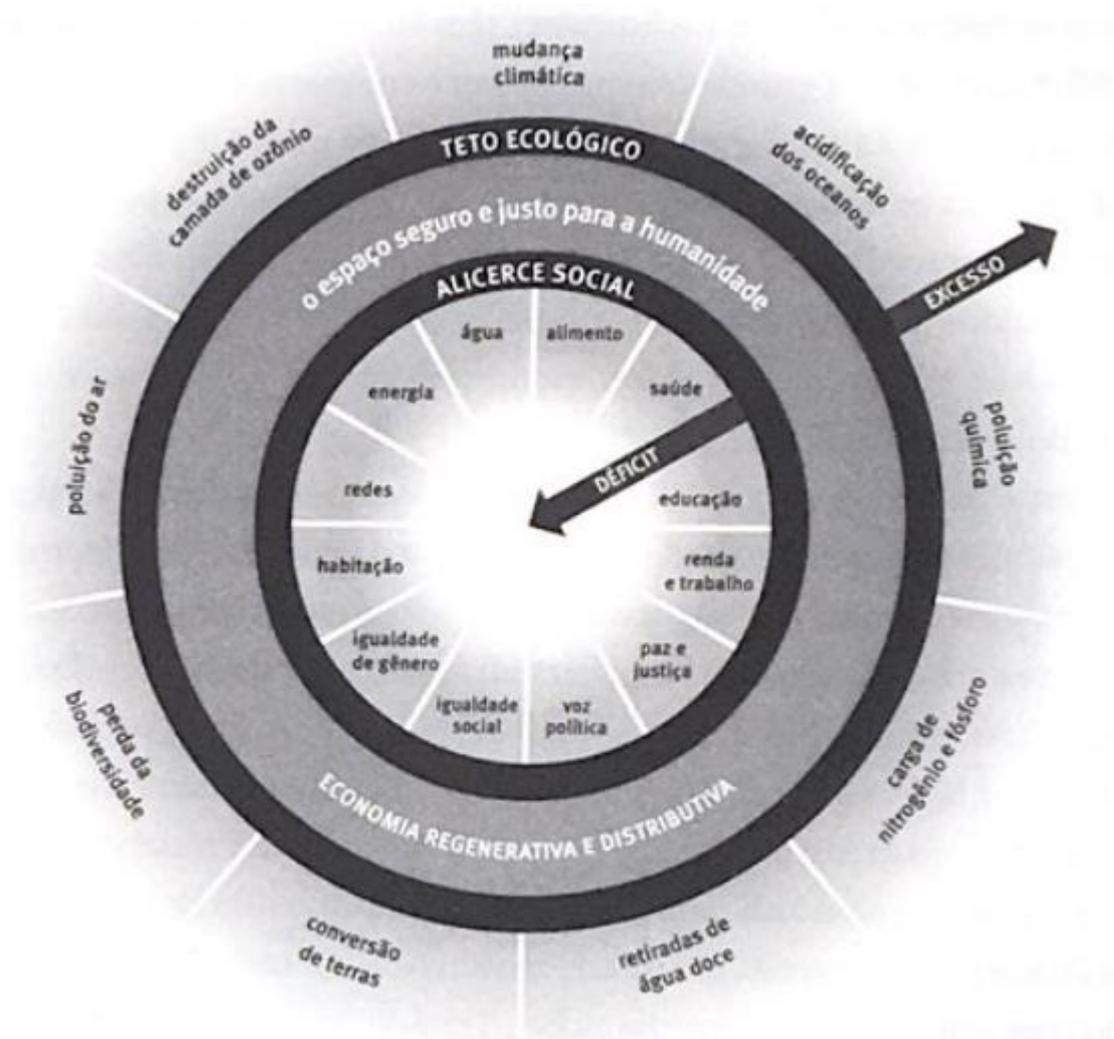
Em geral, a economia Donut pode ser representada por uma rosquinha.

Em essência trata-se de um par de anéis concêntricos. Dentro do anel interno - o alicerce social - estão as privações humanas críticas, como fome e analfabetismo. Fora do anel externo - o teto ecológico - está a degradação planetária crítica, como as mudanças climáticas e a perda de diversidade. Entre esses dois anéis está a rosquinha, o Donut em si, o espaço na qual podemos atender às necessidades de todos contando com os meios do planeta. (RAWORTH, 2019, p. 18)

Raworth (2019) ainda complementa:

O que é exatamente o Donut? Em poucas palavras, é uma bússola radicalmente nova para guiar a humanidade neste século. E aponta na direção de um futuro capaz de prover as necessidades de cada pessoa e ao mesmo tempo salvaguardar o mundo vivo do qual todos nós dependemos. Abaixo do alicerce social do Donut encontram-se déficits no bem-estar humano enfrentados por aqueles que carecem de bens essenciais para a vida, como alimento, educação e moradia. Para além do teto ecológico encontra-se um excesso de pressão nos sistemas geradores de vida da Terra, como mudanças climáticas, acidificação dos oceanos e poluição química. Mas entre esses dois conjuntos de limites existe um ponto ideal - com a forma inequívoca de um donut - que é um espaço ao mesmo tempo ecologicamente seguro e socialmente justo para a humanidade. A tarefa do século XXI é sem precedentes: trazer toda a humanidade para esse lugar seguro e justo.

Figura 1 - Representação da Economia Donut



Fonte: RAWORTH (2019)

Para isso, Raworth (2019) defende uma transformação do pensamento dos economistas do século XXI e que pode ser dividido em sete partes: (i) mudança de objetivo; (ii) analisar o quadro geral (iii) estimular a natureza humana; (iv) compreender o funcionamento de sistemas; (v) projetar para distribuir; (vi) criar para regenerar e (vii) ser agnóstico em relação ao crescimento. Raworth (2019, p. 38) é clara em dizer que essas sete formas diferentes de se pensar “não apresentam receitas específicas de políticas nem dilemas institucionais. Não prometem respostas imediatas para o que fazer em seguida e não são a resposta completa.”

O primeiro tópico de mudança de pensamento é uma mudança de objetivo e se refere ao fato da economia ter se fixado no Produto Interno Bruto (PIB), ou produção nacional, como medida básica de progresso (RAWORTH, 2019) e esse indicador ser usado para justificar desigualdades

socioeconômicas. Raworth (2019, p. 34) acredita que para o século XXI, a meta deve ser atender aos direitos humanos de cada pessoa dentro dos meios do nosso planeta gerador de vida. Assim, a economia não deve estar apenas baseada no PIB em crescimento, mas em prosperar com equilíbrio.

A segunda mudança é na forma de analisar o quadro geral econômico. A corrente econômica dominante, no século XX e início de XXI, pode ser representado pelo diagrama de Fluxo Circular, porém, esse modelo, considerado por 70 anos como definidor da macroeconomia é considerado por Raworth (2019) limitante e reforça a narrativa liberal acerca da eficiência do mercado, a incompetência do Estado, a domesticidade do agregado familiar e a tragédia dos bens comuns. Faz-se necessário uma nova representação da economia, a Economia Integrada, que em suma, incorpora a atividade econômica no centro da sociedade e da natureza, permitindo novas formas de poder de mercado, parceria do Estado, o papel central do agregado familiar e a criatividade dos bens comuns.

Figura 2 - Diagrama do Fluxo Circular



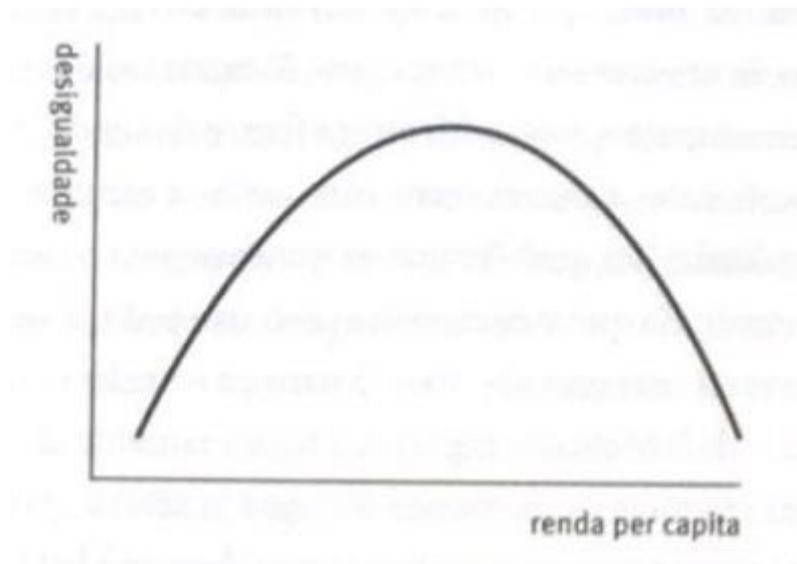
Fonte: RAWORTH (2019)

A terceira mudança seria em como estimular a natureza humana. O século XX construiu o homem econômico racional, como um ser individualista, autocentrado e dominador. Raworth (2019, p. 35) afirma que a natureza humana consegue ser mais rica que esse pensamento e coloca os seres humanos como “sociais, interdependentes, próximos, fluidos em matéria de valores e dependentes do mundo vivo”.

A quarta mudança foca na necessidade de compreender o funcionamento de sistemas. No ensino de economia, nas faculdades, manuais e livros “ainda apresenta a essência do mundo econômico como linear, mecânica e previsível, resumida pelo mecanismo de equilíbrio do mercado” (RAWORTH, 2019). Compreender que a economia não pode ser explicada por metáforas abstratas, mas sim como um sistema complexo sempre em evolução que ela é.

A quinta mudança é o “projetar para distribuir” e está relacionada às desigualdades. Para Raworth (2019, p. 178) “longe de ser uma fase necessária no progresso das nações, o aumento da desigualdade é uma escolha política, e altamente nociva, com múltiplas repercussões que empurram ainda mais a humanidade para fora do Donut”. Além disso, Raworth (2019) critica a Curva de Kuznets, criada no século XX, que “insinuava uma mensagem poderosa sobre a desigualdade: as coisas precisam piorar antes de melhorar, e o crescimento (eventualmente) a equilibrará” (RAWORTH, 2019, p. 35). Encontra-se a necessidade de planejar a economia de forma mais distributiva, indo além da distribuição de renda para explorar modos de redistribuir a riqueza, como do controle de terras, conhecimentos e no poder de criar dinheiro (RAWORTH, 2019).

Figura 3 - Curva de Kuznets



Fonte: RAWORTH (2019)

A sexta mudança seria a ideia de criar para regenerar. Raworth (2019) traz o estudo de Gene Grossman e Alan Krueger da correlação entre o PIB e dados de poluição atmosférica e da água em cerca de 40 países, que concluíram que a poluição tende a aumentar e, em seguida, cai com o crescimento do PIB, formando, a Curva Ecológica de Kuznets. Contudo, estes economistas não levaram em conta a emissão global de efeito estufa, assim como a perda de biodiversidade, degradação do solo e desmatamento, além de que os resultados dependiam de políticas e tecnologias da época, o que não permite afirmar que o crescimento econômico em si causava a limpeza. Raworth (2019, p. 38) critica esse pensamento e propõe:

Mas essa lei não existe: a degradação ecológica é simplesmente resultado de uma concepção industrial degenerativa. Este século precisa de um pensamento econômico que desencadeie uma concepção regenerativa para criar uma economia circular - não linear - e restaurar os seres humanos como participantes plenos no processo cíclico da vida na Terra.

Por último, a sétima mudança, é ser agnóstico em relação ao crescimento. Raworth (2019) coloca o perigo do pensamento econômico baseado no PIB a longo prazo, como uma obrigação, sendo que nada na natureza cresce para sempre. Raworth também questiona se o crescimento do PIB não pode ser representado por uma curva em S, em que o crescimento econômico atinge um limite.

Em suma, a Economia Donut é um modelo econômico diferente de seus antecessores. O modelo tem como base a preocupação com o desenvolvimento sustentável e propõe um ponto de vista otimista do futuro em que será possível uma economia global que gera um equilíbrio com prosperidade devido à sua concepção distributiva e regenerativa. Assim sendo, torna-se necessário o conhecimento, investimento e a utilização de fontes de energia renováveis, como a eólica, para garantir o futuro sustentável, próspero e equilibrado defendido pelo modelo econômico de Raworth.

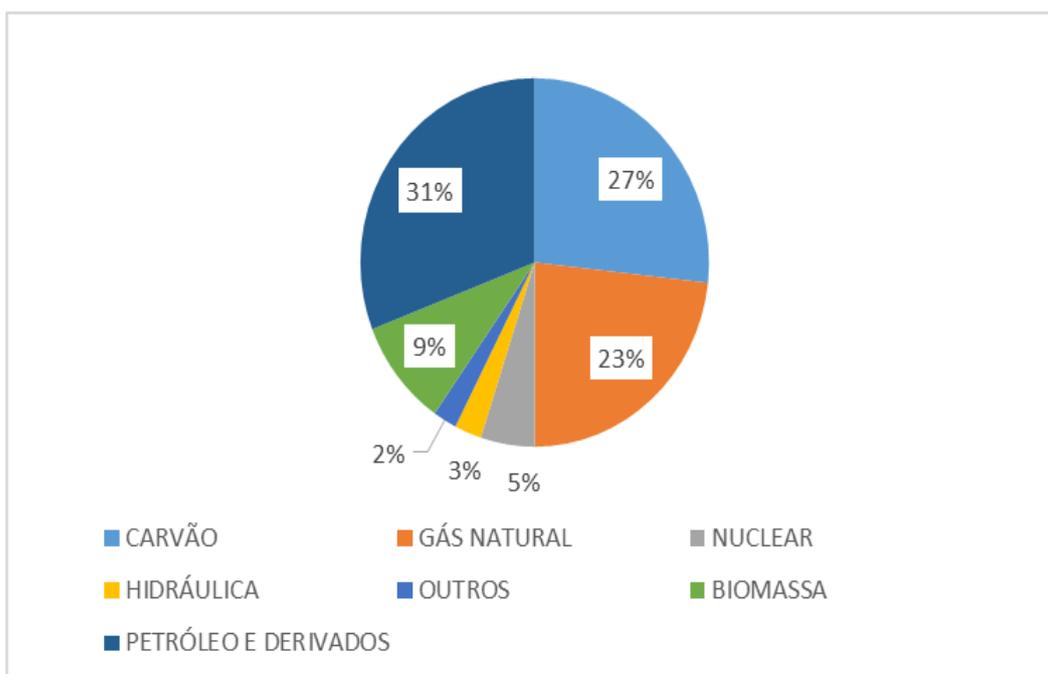
CAPÍTULO 2 - A CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO CONTEXTO MUNDIAL

Compreender a relação da geração de energia elétrica, com o aumento do efeito estufa, e conseqüentemente para o fenômeno do aquecimento global e para as mudanças climáticas, é um importante passo para a discussão sobre desenvolvimento sustentável. Dessa forma, amplia-se cada vez mais a discussão sobre as maneiras de substituir as fontes de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, como a energia eólica.

Este capítulo, dividido em três seções, analisa aspectos básicos e mais complexos da energia eólica, que é o foco deste trabalho de pesquisa. A primeira seção analisa a matriz energética mundial no fim da década de 2010, apontando as principais fontes de energia e suas características. A segunda seção apresenta características detalhadas da geração de energia eólica, como os tipos de aerogeradores e os principais agentes da cadeia produtiva. Por último, a terceira seção apresenta os principais instrumentos governamentais de estímulo ao avanço da energia eólica, analisando a implementação e a evolução dessas políticas na Alemanha, como caso empírico.

2.1 A composição da matriz energética mundial

Grande parte das atividades econômicas necessita de energia e esta é adquirida, principalmente após a primeira Revolução Industrial, por meio da queima de combustíveis fósseis. A matriz energética mundial em 2019, comprova isso:

Gráfico 1 - Matriz Energética Mundial em 2019

Fonte: IEA (2019)

Como mostra o Gráfico 1, o petróleo é responsável por quase um terço da energia produzida no mundo, seguido pelo carvão e pelo gás natural, extremamente poluentes e nocivos para o meio ambiente, já que a sua queima aumenta em ritmo acelerado a emissão de GEE na atmosfera, que causam o Aquecimento Global. Só em 2019, segundo a Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa (2020) feita pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), as emissões por energia ficaram em torno de 19% do total, com mais de 413,7 milhões de tCO₂, emitidos somente naquele ano, um aumento de 10,9% desde 2010, quando iniciou-se a política de clima. Essas emissões ocorrem pela queima de combustíveis fósseis que são considerados fontes de energia não renováveis, o que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) definiu como aquelas fontes de energia consideradas finitas ou esgotáveis, já que a sua reposição na natureza é muito lenta.

Segundo Lucchesi (1998), mesmo conhecido há milhares de anos, as maiores pesquisas e inovações para o uso do petróleo de forma comercial e industrial começaram apenas nos meados do século XIX. Este óleo natural constituído exclusivamente de hidrocarbonetos ainda é muito consumido e extremamente poluente. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, em inglês), os maiores

produtores de petróleo em 2021 foram os Estados Unidos, seguido pela Rússia e pela Arábia Saudita, com o Brasil na nona posição.

O carvão, que aparece em segundo lugar, foi um grande impulsionador para o progresso industrial. Fortemente usado durante a Revolução Industrial, ainda é uma importante fonte de energia. Em 2021, os maiores produtores de carvão são a China, com cerca de 49% de toda a produção mundial, Índia e Indonésia.

O gás natural também é um combustível fóssil, não renovável e se encontra na terceira posição. Na forma gasosa e pode ser encontrado em jazidas ou depósitos subterrâneos e em alguns países como a Holanda, o gás natural chega a representar 50% do suprimento energético. No Brasil, ele começou a ser usado em 1942, com a descoberta de jazidas na Bahia e começou a ser mais explorado, principalmente, depois da crise do petróleo na década de 70. Os maiores produtores de gás natural não são muito diferentes dos do petróleo: os Estados Unidos e a Rússia seguem na liderança como maiores produtores deste combustível fóssil e o terceiro lugar é dado para o Irã.

Entretanto, a matriz energética não é somente constituída pelas fontes não renováveis: as fontes renováveis também estão presentes. Segundo a Epe (2022), as fontes de energia renováveis são aquelas capazes de se manterem disponíveis por um grande período de tempo, devido à longa duração e alta disponibilidade dos recursos que as compõem, já que estes se regeneram ou são inesgotáveis.

Em 2019, a biomassa teve 9% de participação matriz energética mundial em 2019 e ela pode ser definida como toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal usada com a finalidade de produzir energia, que pode ser feita de 4 formas principais: a pirólise, que é a exposição à altas temperaturas sem a presença de oxigênio, gaseificação, que possui um processo parecido com pirólise mas com menores temperaturas, combustão, que é a queima com produção de vapor a alta pressão e a co-combustão, que é a substituição do carvão por biomassa. Dessa forma, substituiu-se a queima de combustíveis fósseis e poluentes, por uma forma mais sustentável.

Outra forma importante de energia renovável, é a energia hidráulica que é dada pela transformação da energia potencial da água dos rios para a energia mecânica com a movimentação das turbinas nas usinas, que por fim, gera energia elétrica. O Brasil foi o segundo maior produtor desse tipo de energia, com uma participação de 9,2% de toda energia hidráulica mundial produzida em 2021, ficando atrás apenas da China (IEA, 2021). Possui alguns problemas, como a grande devastação da área

escolhida para a construção das barragens prejudicando a fauna, flora e populações ribeirinhas.

A energia solar é aquela que é produzida por meio de painéis coletores térmicos ou painéis fotovoltaicos para o aproveitamento da luz ou o calor do sol. Infelizmente, o custo dos painéis ainda é elevado, o que o torna uma forma de energia cara. No contexto mundial, a China também foi o líder em produção desse tipo de energia, em 2021 (IEA, 2021).

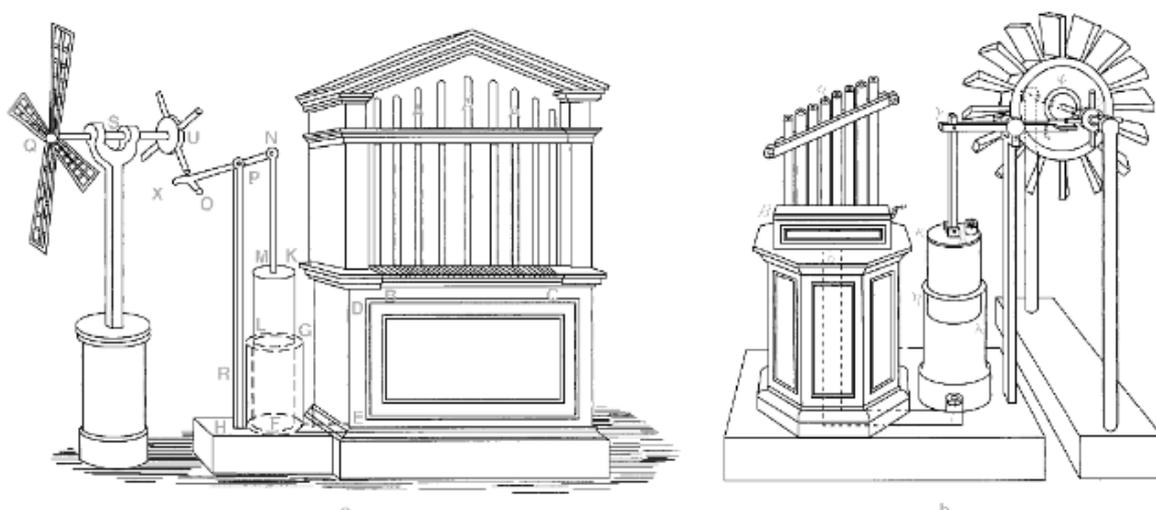
Por último, a energia eólica, que pode ser definida, segundo Camillo (2013), como a energia cinética contida nas massas de ar em movimento canalizada pelos ventos, transformada em energia mecânica pelo rotor do aerogerador e, depois, em energia elétrica, no gerador. A energia eólica pode ser considerada como uma variante da energia solar, já que é gerada a partir da variação do aquecimento das camadas de ar, resultando em diferentes níveis de gradientes de pressão e de densidade, o que promove a movimentação do ar (OLIVEIRA; FUGANHOLI; CUNHA; BARELLI; BUNEL; NOVAZZI, 2018). É considerada uma fonte de energia renovável e intermitente, já que depende da incidência solar e de outros fenômenos meteorológicos. Além disso, a produção desse tipo de energia depende muito de fatores geográficos relevantes como a longitude, latitude e a proximidade com o mar, já que a localização da instalação de aerogeradores deve ser feita em ambientes com ventos estáveis, com intensidade certa e sem mudanças bruscas de velocidade e direção. Mais adiante, nas seções seguintes, a energia eólica, assim como seu histórico mundial, suas formas de captação, geração e distribuição de energia, suas peças, as principais empresas produtoras e o que for ainda mais relevante será detalhadamente explorado, afinal a energia eólica é o objeto de pesquisa dessa monografia.

Em resumo, a matriz energética mundial é majoritariamente composta pelos combustíveis fósseis e, infelizmente, a energia proveniente das biomassas, das usinas nucleares, hidrelétricas e da solar e a eólica, que são as principais fontes renováveis de energia juntas somam apenas 19% da participação energética de todo mundo em 2019, menos de um quarto da matriz energética mundial, comparado com os 81% da participação dos combustíveis mais poluentes.

2.2 O contexto histórico da energia eólica

A energia eólica é uma das formas mais antigas do mundo de se gerar energia, mas a sua origem é de certa forma incerta. Há muitas menções da utilização de energia provindo do vento espalhadas pelo mundo, como a roda de vento do engenheiro grego Heron de Alexandria no século I d.c (contestada por diversas autoridades de diferentes graus), de rodas de oração tracionados pelo vento e pela água nos países budistas da Ásia Central em 400 d.c e de referências encontradas na Índia, Tibete e no Afeganistão (PINTO, 2012; PODCAMENI, 2014).

Figura 4 - Ilustração descrita por Heron de Alexandria do primeiro século d.C



Fonte: (WOODCROFT, 1851 *apud* PINTO, 2012, p. 7)

Entretanto, o primeiro registro histórico da utilização da energia eólica é de 200 anos a.C, na Pérsia, através do uso de cata-ventos para bombeamento de água e moagem de grãos (DUTRA, 2007). Para Pinto (2012), os moinhos de vento podem ter sido importados pela China pelo conquistador mongol Gêngis Khan (1162-1227), que confere com a data do primeiro registro de um moinho de vento chinês em 1219. Já para os europeus, o primeiro contato com a tecnologia do moinho de vento pode ter acontecido nas viagens das Cruzadas para a Palestina, sendo o primeiro moinho de vento francês registrado do ano de 1105 e no caso da Inglaterra, ano de 1180 (PINTO, 2012). Durante o período da Idade Média até o século XVII, as inovações dos moinhos de vento aconteceram de forma sistemática e com evolução empírica, mesmo com a imposição de leis feudais que proibiam a construção de moinhos de vento por

camponeses, para obrigá-los a usar os moinhos dos senhores feudais para a moagem de grãos (DUTRA, 2007; PINTO 2012). Sem dúvida, os moinhos de vento na Europa, por vários séculos, modelaram a economia agrícola europeia (DUTRA, 2007) e possibilitaram a inovação tecnológica das pás, peças, sistema de controle para a otimização de atividades do cotidiano da sociedade que necessitam da força motriz do vento para serem executadas.

Em destaque, a Holanda é um país que teve em parte de sua história o uso intensivo de energia eólica. Durante os séculos XVII a XIX, o uso de moinhos de vento estava atrelado à drenagem de terras cobertas por água, algo extremamente relevante, afinal a maior parte do território holandês está abaixo do nível do mar e continua afundando (KIMMELMAN, 2017). Além de drenagem de terras cobertas por água, os moinhos também eram utilizados para produções industriais de óleos vegetais e até para a fabricação de papel, com a operação de 30 mil moinhos na Europa no final do século XIX (DUTRA, 2007; PINTO 2012). Isso revela a importância histórico-econômica da energia eólica para todo continente europeu e para outras regiões por onde moinhos e cata-ventos foram utilizados, como na América Latina, Rússia e os Estados Unidos da América (EUA). Nos EUA, os moinhos de vento se proliferaram, são patenteados e produzidos. Na segunda metade do século XIX, 6 milhões de cata-ventos já haviam sido fabricados e instalados no país, para o bombeamento de água (CHESF-BRASCEP, 1987 *apud* DUTRA, 2007).

Em julho de 1887, o escocês James Blyth (1839-1906), engenheiro eletricista e professor, conseguiu, por meio de um moinho de vento, produzir energia elétrica para ser usada no carregamento de acumuladores e alimentar a iluminação de sua casa (DUTRA, 2007). Ainda no final do mesmo século, estes moinhos começaram a passar por inovações para a geração de energia elétrica. Em 1888, o professor Charles F. Brush, construiu nos EUA um cata-vento de 18 metros de altura, que fornecia 12 kW destinado à produção de energia para 350 lâmpadas incandescentes (DUTRA, 2007; THE GUARDIAN, 2008). Décadas mais tarde, nos EUA, a empresa americana Jacobs Wind Factory começou a fabricar aerogeradores elétricos e no estado americano de Vermont, o primeiro aerogerador de potência de 1MW foi construído e ligado à rede de transmissão (PODCAMENI, 2014).

Contudo, é somente na década de 1970, com a crise do petróleo como um catalisador, que o desenvolvimento científico e tecnológico de energia eólica começa a se alinhar com políticas públicas. Em 1975, o Departamento de Energia dos EUA

financiou e iniciou um projeto de desenvolvimento de turbinas eólicas, gerido pela NASA (em português, Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) (PODCAMENI, 2014) e em 1985, foi a vez do Conselho das Comunidades Europeias de adotar uma diretiva relativa à avaliação dos efeitos de determinados projetos públicos e privados no ambiente que promove o início de discussões sobre energia eólica (JORNAL OFICIAL DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 1985; PODCAMENI, 2014).

2.3 Caracterização técnica e econômica da energia eólica e as atividades da indústria eólica

Camillo (2013) descreve a energia eólica como advinda da energia solar, sendo que o: “aquecimento diferenciado da atmosfera, em virtude da orientação dos raios solares e dos movimentos da terra, ocasiona variação na massa específica e nos gradientes de pressão das camadas de ar, fazendo com que elas se movimentam”. (CAMILLO, 2013, p. 38)

É importante lembrar que a energia eólica pode ser definida como a transformação da energia cinética (energia do movimento das massas de ar canalizado pelos ventos), em energia mecânica pelo rotor do aerogerador e depois em energia elétrica, no gerador. Para saber a capacidade desta fonte de energia, Camillo (2013) traz o cálculo para medir a potência de energia eólica, sendo esta: “proporcional ao cubo da velocidade do vento e diretamente proporcional a área varrida pelas pás. Todavia, apenas uma parte dessa potência é capturada pelas turbinas.” (CAMILLO, 2013 p. 38).

Existem dois principais tipos de aerogeradores que terão a função de transformar a energia cinética do vento em energia elétrica, o aerogerador de eixo vertical e o de eixo horizontal, conforme demonstrados na Figura 5.

Figura 5 - Aerogerador de eixo vertical (a) e aerogerador de eixo horizontal (b)



(a)



(b)

Fonte: (DUTRA, 2007 *apud* SANDIA, 2006, p. 331-332)

O aerogerador de eixo vertical possui uma potência menor e seu uso não é indicado para parques eólicos. Todavia, ele possui um bom desempenho em condições de vento reduzido e que muda repentinamente de direção, sendo uma boa escolha para pequenos projetos e instalações urbanas. (PODCAMENI, 2014; DUTRA, 2007).

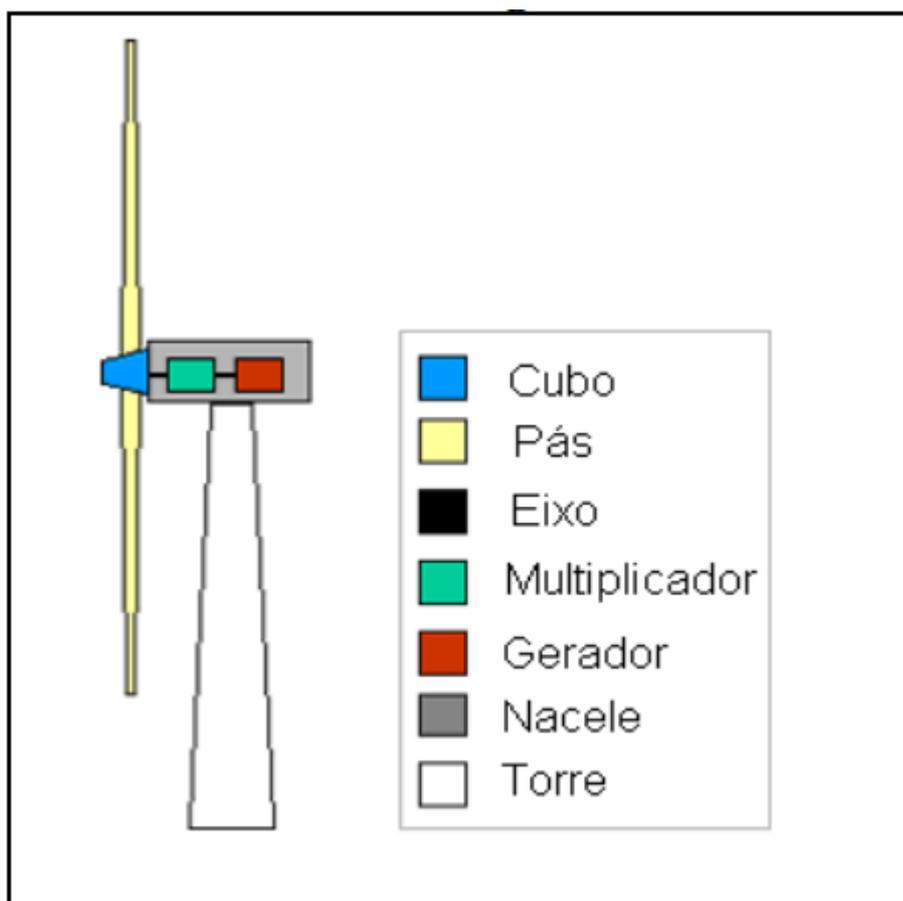
Já os aerogeradores de eixo horizontal são os mais conhecidos e o seu uso é o mais convencional na captação e geração de energia eólica. Este tipo de aerogerador é embasado nos moinhos de vento, onde uma torre sustenta as pás que utilizam a força dos ventos para rodar um eixo de transmissão (PODCAMENI, 2014). O aerogerador de eixo horizontal pode ser de pequeno (até 0,5 MW), médio (entre 0,5 MW e 1 MW) ou grande porte (mais que 1 MW) (PODCAMENI, 2014 *apud* ANEEL, 2006).

Podcameni (2014) divide o aerogerador horizontal em oito componentes: torre, pás, cubo, rotor, eixo, gerador, nacele e caixa multiplicadora ou multiplicador.

Quadro 1 - Componentes de um aerogerador horizontal padrão

COMPONENTES	FUNÇÃO
Torre	sustenta toda a estrutura e é construída na altura adequada para o funcionamento da turbina eólica
Pás	captam o vento e converte sua potência ao centro do rotor
Cubo	fixam as pás
Rotor	conjunto formado pelas pás e o pelo cubo, transforma a energia cinética dos ventos em energia mecânica
Eixo	transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes, por meio de uma caixa multiplicadora
Gerador	converte a energia mecânica do eixo em energia elétrica e alterna a relação de velocidade entre ambas
Nacele	abriga todo o mecanismo do gerador, incluindo caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico e sistema hidráulico
Multiplicador ou Caixa Multiplicadora	transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador

Elaboração própria. Fonte: PODCAMENI (2014)

Figura 6 - Principais componentes de uma turbina eólica

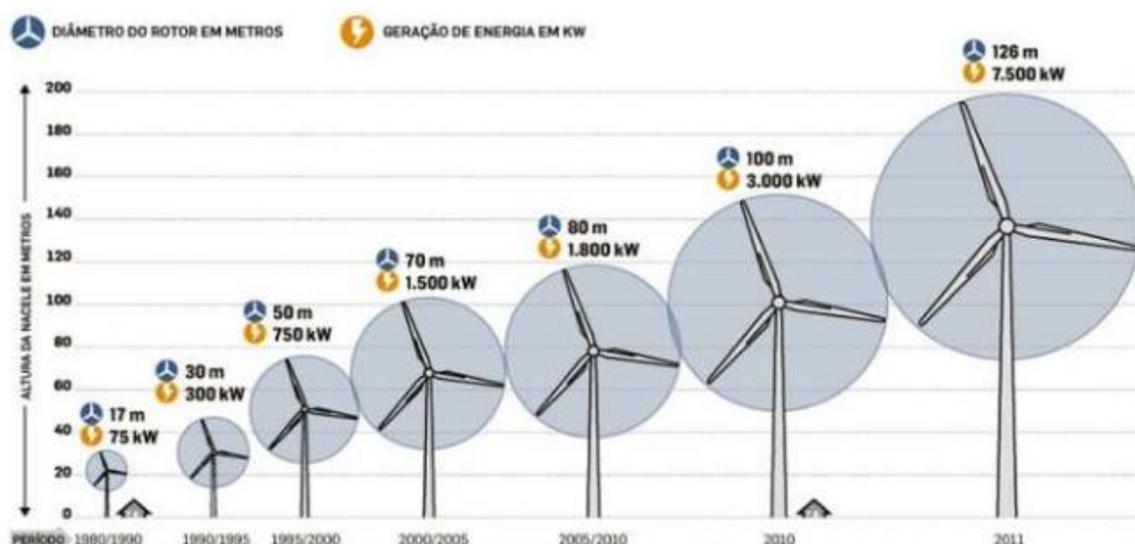
Fonte: PODCAMENI (2014)

O aerogerador horizontal recebeu inovações tecnológicas relacionadas principalmente aos tamanhos dos equipamentos assim também como em avanço dos materiais e dos processos logísticos, principalmente a partir da década de 1980, mas transformações na arquitetura e design mudaram pouco e estão focadas em maximizar o desempenho das turbinas (JONES, BOUAMANE, 2011; CAMILLO, 2013). Além disso, Camillo (2013, p. 40) expõe a diferença de capacidade média em relação ao tempo da seguinte forma:

Enquanto que em meados dos anos de 1980 a capacidade média dos equipamentos era de 150 kW, com rotor de 15 metros de diâmetro, em 2010, a maioria das turbinas instaladas em terra firme (onshore) tinham capacidade entre 2 e 3 MW, com rotor entre 80 e 100 metros de diâmetro. As turbinas instaladas em alto mar (offshore) eram ainda maiores, com capacidade entre 3,6 e 5 MW.

Isso significa que a principal mudança está no aumento da dimensão dos equipamentos, com rotores maiores e turbinas ainda mais altas. Segundo Podcameni (2014) uma turbina produzida em 2013 é cinco vezes maior que uma turbina produzida em 1990 e produz quinze vezes mais energia. Em média, na década de 80, os rotores tinham 17 metros de diâmetro, cerca de 20 metros de altura e produziam 75 KW. Já em 2011, os rotores possuíam 126 metros de diâmetro, quase 200 metros de altura e produziam 7.500 KW de energia (OLIVEIRA; FUGANHOLI; CUNHA; BARELLI; BUNEL; NOVAZZI, 2018), assim como mostra Figura 7.

Figura 7 - A evolução do tamanho dos aerogeradores



Fonte: OLIVEIRA; FUGANHOLI; CUNHA; BARELLI; BUNEL; NOVAZZI (2018)

Portanto, estas transformações tecnológicas produziram torres mais altas e aerogeradores maiores que aumentaram a eficiência na produção de energia. Dutra (2007) afirma que ventos mais altos tendem a ser mais intensos e estáveis, chegando numa relação cúbica da potência com a velocidade do vento. Portanto, tendo um aumento x da velocidade do vento, aumenta-se a potência em x^3 que revela o grande salto de eficiência na geração e captação de energia eólica com o passar do tempo.

Além disso, outra característica relevante sobre os aerogeradores é a localização em que são instalados. A grande maioria das turbinas são instaladas em terra e estas são chamadas de turbinas *onshore*. No entanto, avanços tecnológicos não apenas aumentaram a altura das torres, como também possibilitaram que as

mesmas fossem instaladas em áreas com ventos estáveis, mas consideradas remotas, como os mares. Por isso, parques eólicos começaram a ser instalados no mar e estas turbinas são chamadas de *offshore*. A localização de instalação, se terra ou no mar, é a principal distinção entre *onshore* e *offshore*. Ademais, segundo Malar (2022) “em terra, a capacidade máxima de geração das turbinas chega a 5,6 megawatts (MW). Em mar, há projetos apontando uma capacidade de quase o dobro, 12 MW, e alguns testes chegam a 15 MW”. Além disso, outra vantagem das turbinas *offshore* são que os ventos no mar encontram menos obstáculos que os ventos em terra firme, como as montanhas e, por isso, as condições são de maior intensidade e constância na atuação dos ventos (ESTEFEN, 2022 *apud* MALAR 2022). As turbinas *offshore* já funcionam na Europa e na Ásia, e para isso, as torres são instaladas com pilares que vão até o fundo do mar e depois, é necessário usar estruturas flutuantes, semelhantes às de plataformas de petróleo (MALAR, 2022). Por último, a transmissão ocorre por meio de cabos submarinos, permitindo a integração com sistemas de transporte de energia em terra.

Seja *onshore* ou *offshore*, os investimentos para a implementação de parques eólicos são altos. Os custos de produção de um sistema eólico divergem dos sistemas de combustíveis fósseis, que são mais focados em gastos com combustíveis e de operações e manutenções, enquanto a eólica é intensiva em capital. As turbinas são o principal custo de implantação de um parque eólico, podendo atingir de 65 a 84% (CAMILLO, 2013 *apud* IRENA, 2011) do custo total em projetos *onshore* em que as turbinas são instaladas em terras. Em 2020, o custo de instalação total em dólar/kW foi de 1.355.

Já os projetos *offshore*, aqueles em que as turbinas são instaladas em alto-mar, podem ser até 40% mais do que os projetos *onshore*, com custo de instalação total de 1.971 dólares/kW (IRENA, 2022), afinal possuem gastos maiores com infraestrutura, conexão e etc. Blanco (2009) detalha os gastos de projetos *offshore*, começando pela fundação que é consideravelmente mais cara já que depende da profundidade da água. Nos dois maiores parques eólicos *offshore* dinamarqueses, a fundação é 21% do total gasto, enquanto em um parque eólico *onshore*, esse custo é normalmente de 4 a 6% (BLANCO, 2009).

Ademais, os custos de operação e manutenção são maiores principalmente pelos gastos com transporte e ao acesso reduzido aos parques eólicos *offshore* devido às condições das ondas e do tempo. Outro fator que aumenta os custos dos

parques eólicos *offshore* são as conexões que transportam a energia elétrica produzida entre as turbinas e entre os parques eólicos até a terra firme. Blanco (2009) menciona um parque eólico *offshore* dinamarquês, em que somente o custo de conexões elétricas é 21% do gasto total, podendo ser maior em águas mais distantes ou profundas. Por último, adiciona-se os gastos com pesquisa e desenvolvimento para análise dos impactos ambientais e um risco mais alto para os investidores, o que torna o parque eólico *offshore* ainda mais custoso.

É importante mencionar também que, segundo Camillo (2013), é necessário que haja 80% do montante total a ser investido para o início da construção do parque eólico, que pode durar até dois anos. Portanto, seja *onshore* ou *offshore*, um parque eólico demanda um investimento inicial significativo o que impacta sua viabilidade financeira.

Além disso, na literatura diverge-se sobre a forma como os autores dividem a cadeia produtivas, mas Lema, Berger, Schmitz e Song (2011), por exemplo, para fins analíticos, dividem a indústria eólica em apenas duas vertentes: a cadeia de fornecimento e a cadeia de implementação. A cadeia de fornecimento está relacionada com a produção de componentes e elementos chaves para o funcionamento de um aerogerador. Esta cadeia pode ser dividida em três segmentos:

- a. Design e fabricação de componentes como pás, torres, rolamentos e sistema de controle e conversor de energia;
- b. Fabricação das turbinas;
- c. Pesquisa, design e engenharia das turbinas

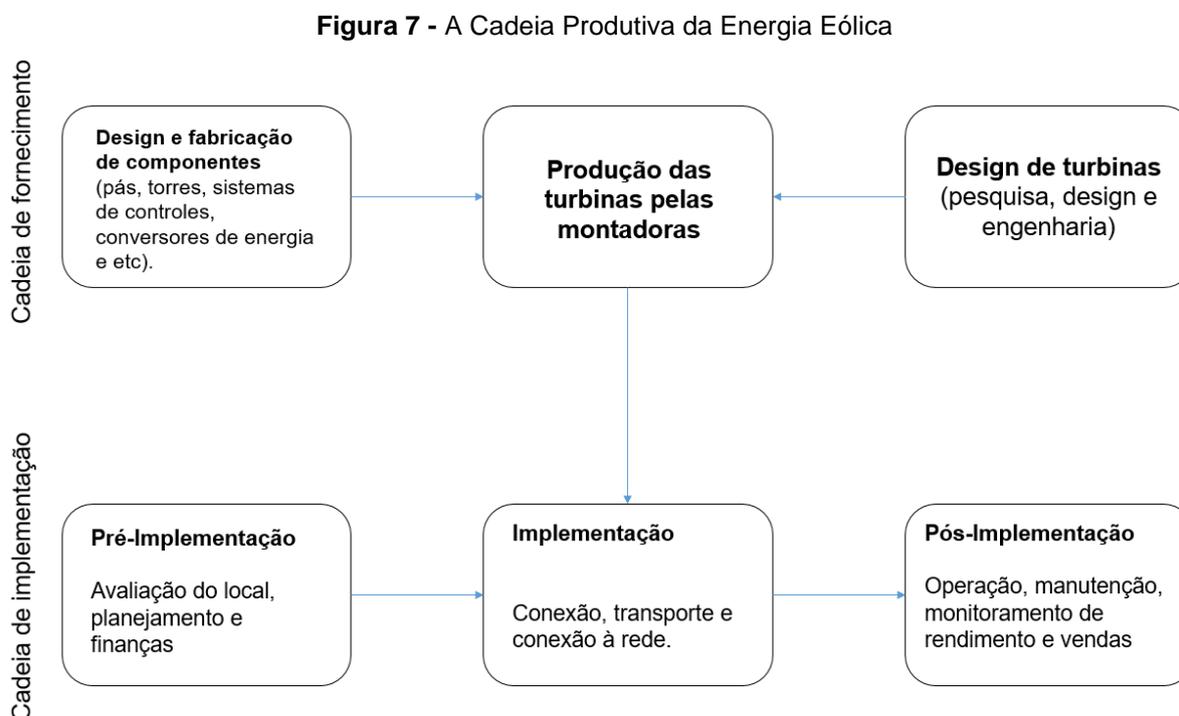
Já a cadeia de implementação está relacionada com os aspectos de instalação de parques eólicos, seu funcionamento e manutenção. Simultaneamente, a cadeia de implementação também é dividida em três segmentos:

- d. Atividades relacionadas a pré-implementação dos parques eólicos, como, por exemplo, o desenvolvimento do projeto e captação de investimentos;
- e. Implementação e construção de parques eólicos;
- f. Serviços de manutenção, supervisão dos parques eólicos e de consultorias.

Na cadeia de fornecimento, o processo inicia-se com as manufatureiras e fabricantes de componentes de aerogeradores, como as torres e pás até os sistemas

de controle e conversores de energia. Simultaneamente, os engenheiros responsáveis pelo projeto, alinham os recursos, métodos e o design que a turbina deve oferecer. Em seguida, os componentes e o design produzidos seguem para as montadoras de turbinas e aerogeradores, onde haverá a finalização da cadeia de fornecimento e as torres estarão prontas para serem instaladas. Assim, encerra-se a cadeia de fornecimento e inicia-se a cadeia de implementação. Precede a fase de implementação de aerogeradores, a fase de pré-implementação que consiste na avaliação do terreno e do sentido, direção e tipo de vento da área reservada para a implantação, assim como o planejamento financeiro. Posteriormente, inicia-se a fase de implantação de aerogeradores. Entretanto, a cadeia produtiva de implementação possui mais uma fase: a pós-implementação, que consiste na operação e manutenção do parque eólico, além do monitoramento de rendimento.

A Figura 7 demonstra as cadeias de funcionamento e de implementação e ajuda na visualização da cadeia produtiva da indústria eólica:



Fonte: Elaboração Própria. Lema, Berger, Schmitz e Song (2011)

Para Lema, Berger, Schmitz e Song (2011), porém, não há como ter uma divisão rigorosa entre as duas cadeias. Normalmente, os agentes da cadeia de fornecimento participam da cadeia de implementação de diversas formas,

principalmente, na operação e manutenção, dentro do período de garantia, que pode durar de dois a três anos. Além disso, organizadores de parques eólicos trabalham conjuntamente com os produtores de turbinas. Isso ocorre porque as turbinas detêm 70% do custo de construção do projeto e o bom funcionamento das turbinas é chave para o êxito do projeto eólico (LEMA; BERGER; SCHMITZ; SONG, 2011).

Historicamente, em países pioneiros como a Dinamarca e a Alemanha os recursos para a instalação de parques eólicos originaram de instituições financeiras locais, requisitado por investidores independentes (CAMILLO, 2013 *apud* BUEN, 2006), como os fabricantes de turbinas e aerogeradores, sendo estes participantes de praticamente toda cadeia produtiva, como planejamento e administração dos parques e a produção de energia elétrica, até meados da década de 2000, apesar dos altos custos. O modelo de investimento se reverte na segunda metade da década de 2000, quando as concessionárias de eletricidade e grandes produtores de energia se tornam os principais investidores (CAMILLO, 2013 *apud* MERRIL LYNCH, 2007). Com a indústria de energia eólica se consolidando na segunda metade da década de 2000, dois grupos que lideram a cadeia produtiva desta indústria: as fabricantes de turbinas eólicas com a manufatura de peças e componentes e as concessionárias de eletricidade e produtores independentes de energia, conduzindo o desenvolvimento de parques eólicos.

Para Berger (2010), os principais motivos que fizeram as concessionárias de eletricidade focarem na energia eólica na segunda metade da década de 2000 são:

1. O tempo de construção de um parque eólico é curto (de 3 a 5 anos), considerado rápido quando relacionado ao crescimento de demanda por eletricidade;
2. Redução a exposição dos riscos de abastecimento e variação dos preços do petróleo e gás natural;
3. A preocupação das empresas com a opinião pública, afinal, investimentos em energia eólica podem ser usados como *marketing* nas questões relacionadas ao meio ambiente.
4. Os incentivos e subsídios sobre o preço da energia eólica com a redução de custo ligada às inovações tecnológicas tornando essa fonte de energia mais atrativa.

Portanto, apesar da produção de aerogeradores e a implementação de parques eólicos possuir custos elevados, cada vez mais, as vantagens desta fonte de

energia renovável ganham mais espaço. O uso de políticas de estímulo à essa fonte, assunto da próxima seção, tem sido um dos protagonistas em tornar a produção da energia eólica mais acessível.

2.4 As políticas de incentivo à indústria eólica

Para Podcameni (2014), iniciou-se na década de 1980 e persistiu na década de 1990 e de 2000, a implementação de políticas e instrumentos de incentivos governamentais que possibilitaram o desenvolvimento tecnológico e industrial na produção de aerogeradores ao redor mundo:

A partir da década de 1980, os incentivos governamentais ao desenvolvimento da energia eólica e o consequente desenvolvimento tecnológico das turbinas eólicas permitiram a consolidação da atividade industrial de produção de aerogeradores. As três primeiras grandes empresas fabricantes de aerogeradores (Vestas, Enercon e Nordex) surgiram ao longo da década de 1980, na Alemanha e na Dinamarca. Na década seguinte surgem mais duas empresas: a Espanhola Gamesa e a Indiana Suzlon. Nos anos 2000 dois novos grupos industriais com tradição na produção de equipamentos elétricos iniciam a produção de aerogeradores (GE Wind Power e Siemens Wind Power) e novas empresas emergem, apoiadas por políticas públicas e pelo crescimento dos diferentes mercados domésticos, como, por exemplo, as empresas chinesas Sinovel, Goldwind e Dongfang e a argentina Impsa. (PODCAMENI, 2014, p. 62)

As publicações dos organismos internacionais como *Global Wind Energy Council* (GWEC), *European Wind Energy Association* (EWEA) e o *American Wind Energy Association* (AWEA) dividem as políticas de apoio à indústria eólica em três tipos: as políticas de criação e regulação de mercado, políticas industriais e políticas tecnológicas.

Segundo Camillo (2013), em 2012, ao menos 127 países possuíam alguma medida de incentivo à expansão das fontes de energia renováveis. Os principais instrumentos de desenvolvimento de mercado, são os Feed-In Tariffs (ou preço versus quantidade), o Sistema de Cotas/certificado-verde, o sistema de leilões, subsídios direto para investimento e medidas fiscais.

O Feed-In Tariffs (FIT, tarifas-prêmio ou preço *versus* quantidade) é um sistema baseado no preço e um instrumento que assegura o mercado de geração de energia limpa agindo como um tipo de subsídio, ao remunerar os produtores de

energia renovável a um preço acima do mercado, para que o custo elevado da produção seja compensado, tornando-a mais atrativa aos produtores. Além disso, possui uma garantia de longo prazo, já que os contratos podem durar, em média, 15 anos.

As tarifas são estabelecidas pela lei e calculadas com base nos custos evitados pela não utilização de fontes de energia não renováveis (PODCAMENI, 2014) ou “ajustadas a um certo nível no objetivo de encorajar a própria produção energética com FAEs (fontes alternativas de energia) de geração renovável sem que este nível tenha nenhuma relação com os custos ou preços das fontes de energia fóssil.” Dutra (2007, p. 20). Além disso, as tarifas nesse mecanismo podem ser fixadas em um período mais longo (proporcionando aos produtores garantias por médio e longo prazos) ou através de ajustes periódicos, para manter uma maior flexibilidade ao longo do período (DUTRA, 2007).

O custo do FIT pode ser repassado a todos os consumidores, como ocorre na Itália e na Espanha, ou apenas aos consumidores que são atendidos pela concessionária local, obrigada a comprar energia elétrica de fontes de energia renováveis, como acontece na Alemanha (PODCAMENI, 2014). O mecanismo mais utilizado mundialmente para o desenvolvimento de mercados de geração renovável de eletricidade, em especial a energia eólica, tem sido o Sistema Feed-In (DUTRA, 2007). Além disso, Dutra (2007, p.11) complementa a importância desse mecanismo de incentivo:

Apesar das críticas em sua implementação, principalmente sobre os valores pagos pela energia elétrica gerada, o sistema Feed-In promoveu não só o crescimento do número de projetos mas também o desenvolvimento da indústria eólica e, continuamente, o desenvolvimento tecnológico voltado para as turbinas mais confiáveis e de maiores potência. O progresso tecnológico, em grande parte financiado pelo próprio sistema de incentivo, apresentou um rápido ritmo de crescimento tanto na potência gerada (neste caso, na aplicação de diversas configurações de geração e no crescimento do tamanho das turbinas) quanto no sistema de controle e na qualidade de energia tanto para aplicações on-shore quanto para as aplicações off-shore.

O FIT pode possibilitar o desenvolvimento tecnológico da fonte de energia eólica. Esse mecanismo, ao garantir uma remuneração ao longo de um período mostra que seus agentes são os que melhor possibilitaria investimentos em pesquisas

de novas tecnologias mesmo a um custo mais elevado para a sociedade (DUTRA, 2007). Dutra (2007, p.22) ainda complementa:

Em uma perspectiva mais dinâmica, o próprio sistema Feed-In agregaria a seus resultados a disseminação da tecnologia com o crescimento da escala de utilização e também da aprendizagem ao longo da operação¹⁷. Adicionalmente, o progresso de uma política de Feed-In pode possibilitar um reinvestimento em pesquisas e desenvolvimento para extrair rendas adicionais no futuro relacionadas com a evolução tecnológica.

Contudo, o sistema FIT não está livre de críticas: esse mecanismo eleva o preço aos consumidores e por isso, o valor das tarifas e o período de duração são alvos de discussão. Uma das soluções propostas por Dutra (2007, p. 23) é a “adoção de tarifas decrescentes que, a princípio, envolve a antecipação do desenvolvimento tecnológico”.

A Alemanha, tornou-se um dos pioneiros na implantação de políticas de incentivo de energia eólica no mundo. A busca pelo desenvolvimento de fontes de energia alternativas, se deu após as crises do petróleo em 1973-1974 e 1979-1980 que revelou a dependência alemã por combustíveis fósseis; além da conscientização das questões ambientais da população e do acidente de Chernobyl, que levantou questões sobre os riscos da geração de energia nuclear. Em 1991, a Lei de Feed-In de Eletricidade - LFE (Stromeinspeisungsgesetz) foi promulgada e garantiu 90% do preço médio de venda da energia elétrica (DUTRA, 2007). Contudo, ressalta-se que todo o ônus financeiro imposto pela LFE foi arcado exclusivamente pelas empresas fornecedoras de energia elétrica e pelos seus consumidores (DUTRA, 2007). Porém, esses esforços trouxeram resultados

O crescimento do número de novos projetos em fontes renováveis mostra que esse mercado, sob forte influência da LFE, experimentou um “boom” favorável para a energia eólica. A LFE garantiu os subsídios necessários para o desenvolvimento da indústria de equipamentos eólicos alemã e, para que esta, em concorrência com outras empresas estrangeiras, pudesse fazer do mercado alemão o maior do mundo. Segundo DEWI (2000), 1676 turbinas com capacidade total de 1567,7 MW foram instaladas em 1999 aproximadamente o dobro da capacidade total instalada em 1998. A capacidade alemã até o final do ano de 1999 somava um total superior a 4400 MW, com uma média de crescimento anual de 58% ao ano desde 1993. Em 1999 as 7879 turbinas eólicas instaladas por todo o território alemão produziram o equivalente a 8,5 TWh, valor esse que representa 2% do consumo de energia elétrica naquela ano em toda a Alemanha (WAGNER, 2000). (WAGNER, 2000 *apud* DUTRA, 2007 p.70)

Conclui-se que pela experiência alemã no desenvolvimento de mercados eólicos que o FIT é favorável ao desenvolvimento de novas tecnologias com um custo mais alto para a sociedade (DUTRA, 2007). Além disso, outros autores como Meyer (2003) também concluíram em seus trabalhos de pesquisa que a promoção do uso de energias sustentáveis teve sucesso em países como Dinamarca, Espanha e Alemanha devido ao uso do FIT, e acreditam que para atingir objetivos ambiciosos na expansão das fontes de energia renovável, a implantação do modelo FIT seria a melhor opção.

O Sistema de Cotas é um sistema baseado na quantidade e uma política de mercado que consiste na determinação legal às concessionárias de eletricidade, um percentual de energia produzida e consumida que proceda de uma fonte de energia específica, no caso, uma fonte de energia renovável. O seu objetivo é ampliar a oferta de energia limpa por meio da imposição de metas ou percentuais de produção e distribuição de energia gerada por fonte de energia renovável. Para cumprir esse objetivo, as concessionárias podem obter energia de fontes de energia renováveis de produtores independentes com contratos de longo prazo ou construir as próprias plantas de geração de energia (CAMILLO, 2013). Esse sistema permite a criação de um mercado competitivo em que o valor da tarifa é determinado pelo mercado e não pelo Estado. Além disso, permite a formação de um mercado paralelo de comercialização de certificados verdes (DUTRA, 2007).

O sistema de cotas foi a opção mais utilizada por países industrializados como Reino Unido, Bélgica, Áustria, Japão e alguns estados americanos, no início da década de 2000 (IEA, 2003 *apud* CAMILLO, 2013). Entretanto, devido ao custo maior da produção de certas fontes de energia renováveis (normalmente com tecnologias em estágios iniciais), as concessionárias sempre optam por aquelas fontes mais próximas de se tornarem competitivas e mais baratas, colocando pequenos produtores em desvantagem. Consequentemente, o sistema de cotas ignora a assimetria do desenvolvimento de tecnologias dos diferentes tipos de energia sustentável e não beneficia a criação e o desenvolvimento de nichos de mercado de energia. Por isso, se um país estabelece uma cota de eletricidade sem distinguir o percentual de cada fonte de energia renovável, apenas algumas fontes vão ser incentivadas (MELO et al., 2010 *apud* PODCAMENI, 2014).

O uso de certificados verdes também é um instrumento usado para incentivar o desenvolvimento do mercado de energia “verde” e sustentável. Podendo ser usado juntamente com o sistema de cotas, mas também em acordos voluntários de controle da produção e da venda de eletricidade, este instrumento é também uma forma de cumprir as metas estabelecidas por lei sobre a produção e o consumo de energia limpa. Depois de uma certa quantidade de energia produzida por meio das fontes de energia renováveis, é emitido um certificado, que se transforma em crédito e pode ser comercializado entre as concessionárias, muito similar ao que acontece com os créditos de carbono. Os defensores dessa prática argumentam que dessa forma é possível atingir uma meta de produção de energia renovável a um custo menor.

Contudo, quando a meta não é atingida, as concessionárias de energia são obrigadas a pagar um tipo de taxa punitiva ou multa pelo não cumprimento das metas impostas para a maior produção de energia limpa ou a redução do consumo de energia convencional. Esse recurso é direcionado ao fundo de energia renovável, usado para ações específicas de desenvolvimento, como P&D. Portanto, após o amadurecimento da tecnologia a aplicação do sistema de Cotas/Certificados Verde proporciona um cenário mais competitivo reduzindo assim os custos de geração inicialmente aplicados durante o sistema Feed-In (DUTRA, 2007).

O Sistema de Leilão, assim como o Sistema de Cotas, é baseado na quantidade. Já foi utilizado pelo Reino Unido, Irlanda e França e consiste na definição de reservas de mercado pelo regulador e organiza o processo de competição entre os produtores para fornecimento do montante previamente reservado (DUTRA, 2007). Seguidamente, as concessionárias de energia devem pagar aos produtores de energia participantes do leilão, o valor da tarifa estabelecido. Dutra (2007, p. 24) ainda adiciona:

Um sistema competitivo enfatiza os valores da energia elétrica gerada durante o processo de leilão. As propostas são classificadas em ordem crescente de custo até que se alcance o montante a ser contratado. Para cada gerador de energia elétrica renovável selecionado durante o leilão é feito um contrato de longo prazo garantindo o pagamento da energia gerada com base no preço final do leilão.

Apesar de favorecer projetos mais eficientes e com custos mais reduzidos, devido a sua forma de funcionamento, os benefícios aos produtores nesse mecanismo não ocorre, como no sistema FIT, por exemplo. Isso significa que os

ganhos adicionais que os produtores possuem na diferença entre a tarifa ofertada e os custos do projeto, que ocorrem no sistema FIT, não ocorrem da mesma forma no sistema de leilões. Por isso, Dutra (2007, p. 53) afirma:

Ao observar os ganhos extras proporcionados pelo efeito dinâmico do progresso tecnológico, no caso do sistema Feed-In o grande beneficiário é o produtor, enquanto que no sistema de leilão, o benefício extra é distribuído aos consumidores, ao absorver tecnologias mais baratas.

Poucos países adotaram o Sistema de Leilão como política de incentivo ao desenvolvimento da energia eólica. O Reino Unido utilizou desse mecanismo na década de 1990, mas partiu para o Sistema de Cotas e de Certificados Verde na década de 2000. Isso se dá pela elevada incerteza em relação à rentabilidade do projeto e os elevados custos de preparação para participação no leilão, estão entre os principais fatores que justificam os fracos resultados desse mecanismo de incentivo (FOXON, PEARSON 2007; MENANTAU, 2000 *apud* PODCAMENI, 2014).

Além desses dos principais instrumentos mencionados acima, os subsídios diretos para investimento e as medidas fiscais também podem estimular o desenvolvimento do setor eólico. O primeiro tem como objetivo reduzir custos de produção e consumo de eletricidade limpa (CAMILLO, 2013) reduzindo o montante de capital inicial próprio para iniciar o projeto e garantir o aumento da capacidade em um curto prazo (DUTRA, 2007). Contudo, o fato do subsídio ser arcado por consumidores e não consumidores e a dificuldade na definição do tipo de subsídio a ser empregado e qual tecnologia será beneficiada atrapalha a competitividade do mercado em curto prazo e os avanços tecnológicos. Já o segundo tipo de política tem como vantagem a evitação de um custo, criando uma fonte de renda para os projetos eólicos, mas, em se tratando de um subsídio indireto, valem as mesmas desvantagens dos subsídios diretos para investimento (DUTRA, 2007)

Quadro 2 - Instrumentos de incentivo à energia eólica

Instrumentos	Objetivos	Características
Sistema Feed-In Tarrifs	Tornar a produção de eletricidade limpa atrativa aos produtores	Esquema financeiro que assegura um preço premium aos produtores
Sistema de Cotas	Ampliar a oferta de eletricidade limpa	Impõem metas anuais de produção e distribuição de eletricidade limpa às concessionárias de eletricidade
Certificado-Verdes	Ampliar o uso da eletricidade limpa impondo obrigação aos consumidores e produtores	Combina obrigação com certificação ligado ao Sistema de Cotas
Sistema de Leilões	Favorecer os projetos mais eficientes já que os projetos de custos mais reduzidos são escolhidos pelo processo de leilão.	Sistema competitivo, com contratos a longo prazo, em que as propostas são classificadas em ordem crescente de custo até que se alcance o montante a ser contratado.
Subsídios Diretos para Investimentos	Reduzir custos de produção e consumo de eletricidade limpa	Recursos estatais para o incentivo do setor eólico

Fonte: Elaboração Própria. CAMILLO (2013)

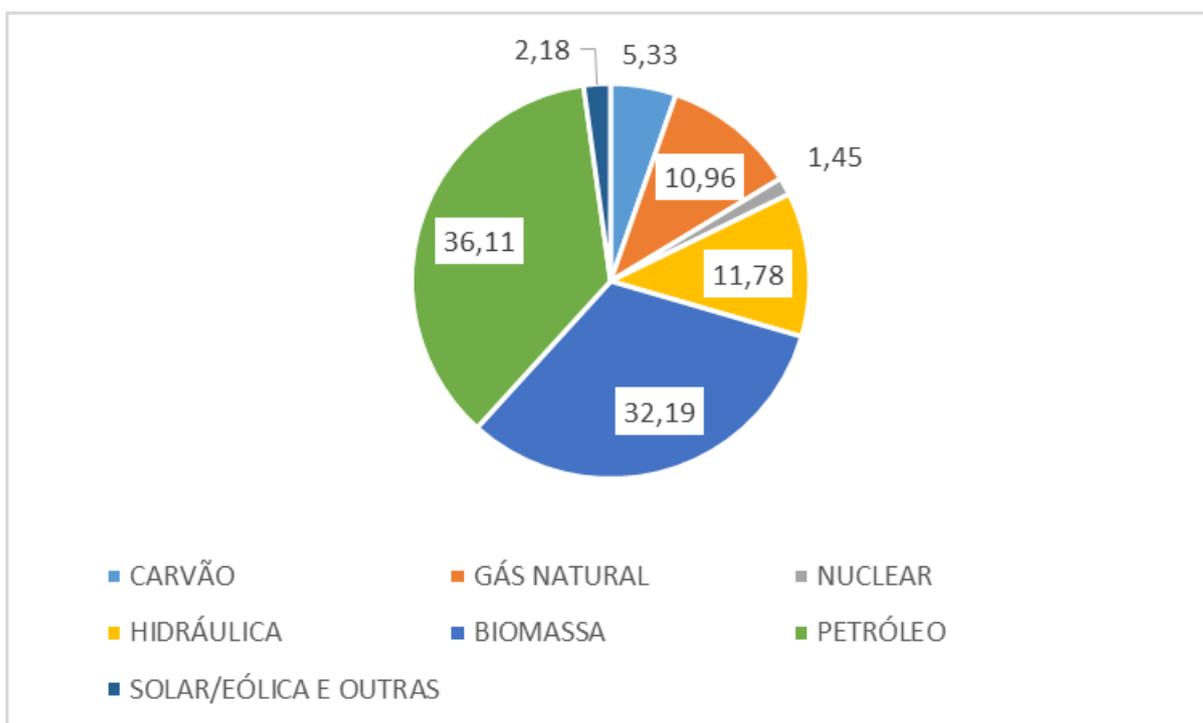
CAPÍTULO 3 - AS POLÍTICAS DE INSERÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

A matriz energética brasileira é considerada internacionalmente como sustentável, afinal, a geração de energia no Brasil é, em sua maior parte, realizada por fontes renováveis. Ainda assim, a energia eólica enfrentou desafios enormes.

Este capítulo, dividido em quatro seções, apresenta uma análise sobre a inserção da energia eólica na matriz energética brasileira. A primeira seção analisa a matriz energética brasileira e suas diferenças com a matriz energética mundial. A segunda seção apresenta as políticas de criação e regulação de mercado eólico, no caso brasileiro. A terceira seção apresenta as políticas industriais voltadas para o setor eólico nacional. Por último, a quarta seção identifica os efeitos e resultados das políticas implantadas.

3.1 A matriz energética brasileira

É interessante notar que, no Brasil, essa divisão da matriz energética se diverge. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, ou IPEA, (2019), 45% do suprimento energético é composto de fontes renováveis, como a energia hidráulica, eólica, solar e de biomassa. Bem diferente dos outros países que fazem parte dos BRICS, como Rússia, Índia, China e África do Sul que em sua maioria, utilizam combustíveis fósseis. Uma boa notícia, afinal, mostra que o Brasil está à frente da média mundial, quando falamos de uso de energias sustentáveis. Entretanto, a IEA, calculou que a participação do petróleo no Brasil na composição da matriz energética estava por volta de 36%, um percentual acima da média mundial. Em seguida, vem a biomassa com cerca de 32%, seguido pela energia hidráulica. Depois, o gás natural, com 10,96% de participação da matriz energética brasileira, seguido pelo carvão, solar e eólica e por último a nuclear, como mostra o gráfico a seguir.

Gráfico 2 - Matriz Energética Brasileira em 2019

Fonte: IEA (2021)

Agora que há um conceito mais bem estruturado sobre as fontes renováveis e não renováveis e sua participação no Brasil e no mundo, é possível seguir para a contextualização da oferta e demanda energética global. Para isso, a IEA publicou em janeiro de 2022, o Electricity Market Report (Relatório do Mercado de Eletricidade, tradução livre) de 2021. Segundo o relatório, naquele ano, houve o aumento de 6% na demanda mundial por energia elétrica, sendo a China o líder desse aumento. A rápida recuperação econômica depois do fim de lockdowns e de medidas mais restritivas devido a propagação da COVID-19 combinado a um inverno mais rigoroso foram os motivos desse aumento de demanda - que tiveram o setor industrial como maior demandante de energia. Além disso, a energia gerada por carvão foi a mais utilizada em 2021, crescendo 9% em um ano - um recorde batido devido à demanda excepcional e o preço mais competitivo que o gás natural. As fontes de energia renováveis também tiveram um crescimento expressivo de 6%, apesar das limitações causadas pelas condições de tempo desfavoráveis, que prejudicam principalmente a energia hidráulica.

Outra análise importante sobre a demanda e oferta mundial de energia, é a crise energética com raízes geopolíticas que se desenrola desde 2021. A Rússia é

um grande exportador de petróleo e gás natural, e seus maiores importadores são a China e a União Europeia (IEA, 2022). Segundo a IEA, 14% da produção total de petróleo mundial vem da Rússia e a mesma é o segundo maior produtor de gás natural. Desde Setembro de 2021, a IEA sinaliza que a Rússia estava impedindo uma significativa quantidade de gás de chegar à Europa. Com a invasão da Rússia na Ucrânia em fevereiro de 2022, e com o boicote dos países da União Europeia e os Estados Unidos aos combustíveis russos, a situação ficou ainda mais crítica: grande parte dos países europeus dependem dessas fontes de energia, principalmente o gás natural, para responder à sua demanda energética e a falta deles pode acarretar em preços altíssimos, racionamento e menor crescimento econômico. — Este acontecimento só reitera a importância de uma rápida transição de fontes de combustíveis fósseis para as fontes de energia renováveis, principalmente na Europa.

3.2 As políticas de criação de mercado brasileiras

Para a análise de instrumentos de incentivo à criação de mercado de energia eólica no Brasil podem ser divididas em três: a fase PROEÓLICA, a PROINFA e, em seguida, a de leilões de energia elétrica com objetivo de comercializar as fontes de energia eólica.

No entanto, por mais que pareça que o término de uma fase e o início de outra faça parte de uma evolução das políticas dirigido por avanços tecnológicos e melhorias na indústria, não é essa a realidade histórica das políticas brasileiras. Infelizmente, houve a implantação da PROEÓLICA, que ao fracassar dá espaço para o PROINFA, que também não consegue passar com êxito para segunda fase e depois inicia-se a política do modelo de leilões, que segue até o início da década de 2020. O Brasil não agiu como os países pioneiros que ajustaram as políticas de mercado tendo em vista, não apenas a criação de mercado ou apenas políticas industriais, mas também as inovações no desenvolvimento de tecnologia.

3.2.1 PROEÓLICA

Até 2001, não havia incentivos favoráveis para a inserção de novas fontes de energia no Brasil, já que estas não se achavam necessárias devido à alta dependência de energia hidráulica no fornecimento de eletricidade. Contudo, com a

crise energética no mesmo ano, que abalaram o governo de Fernando Henrique Cardoso, novas possibilidades de geração de energia precisavam ser encontradas (WACHSMANN; TOLMASQUIM, 2003).

O Programa Emergencial de Energia Eólica, o PROEÓLICA, foi criado através da Resolução nº 24, do dia de 5 de julho de 2001, e tinha como objetivo a implantação de 1.050 MW de potência, até dezembro de 2003, integrada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) dessa forma, promovendo o aproveitamento da energia eólica como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental e promover a complementaridade sazonal com os fluxos hidrológicos nos reservatórios do SIN. (DUTRA, 2007; PODCAMENI, 2014).

O Programa, infelizmente, fracassou. O baixo valor adotado no programa de R\$ 72,95/MWh, para Wachsmann e Tolmasquim (2003), foi o principal motivo do Programa falhar. Segundo os autores, este valor não era capaz de cobrir os custos de geração eólica na época, que ficavam entre R\$ 101,40/MWh e R\$ 218/MWh em 2001. Além disso, os prazos extremamente curtos e a regulamentação não adequada que definisse de forma transparente as metas e os benefícios também prejudicaram o êxito do Programa. Termina-se a primeira (e breve) fase de políticas de criação de mercado no Brasil.

3.2.2 PROINFA

O PROINFA foi fundado em 26 de abril de 2002, com a publicação da Lei 10.438/2002 e revisado pela Lei 10.762/2002 de 11 de novembro de 2003 com o objetivo principal de ampliar a produção de energia elétrica gerada a partir da biomassa, dos ventos e das pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e diversificar a matriz energética brasileira. O PROINFA se torna uma novidade já que traz a concepção de um marco institucional específico para fontes alternativas, inexistente no Brasil até então, e a proposta de inserir estas fontes no SIN (CAMILLO, 2013). Sua meta na primeira fase era adicionar 3.300 MW de capacidade de geração, compostos por 36% de PCHs, 43% de energia eólica e 21% de biomassa térmica (RENNKAMP et al., 2020).

Em sua proposta original, o PROINFA fez previsões promissoras.

“Para a segunda fase do programa previa-se que a participação das fontes contempladas pelo programa no consumo total de eletricidade deveria chegar a 10% dentro de um prazo de 20 anos. Neste período, as fontes participantes do programa deveriam atender a um mínimo de 15% do incremento anual da demanda de energia elétrica do país.” (CAMILLO, 2013, p.139)

Por meio do PROINFA, variadas formas de incentivo à expansão da indústria de energia eólica foram formadas. A Lei 10.762/2003, na resolução Normativa 77/2004, por exemplo, regulamenta e detalha os critérios, prazos e as responsabilidades dos agentes para a concessão de um benefício de redução de no mínimo 50% das tarifas de uso das redes de transmissão e distribuição dos empreendimentos geradores de eletricidade de fontes eólicas e fontes alternativas. Também definiu um índice de localização de 60% dos componentes locais necessários nas novas instalações eólicas, calculados sobre o valor total do parque, considerando serviços e equipamentos, com o principal objetivo de fortalecer a indústria brasileira de geração de energia elétrica, desenvolvendo o campo da cadeia de suprimentos (MME, 2012 *apud* RENNKAMP et al., 2020). Além disso, o PROINFA também foi responsável por criar e incluir um novo agente econômico ao mercado energético: o Produtor Independente Autônomo (PIA), este pode ser definido como “aquele cuja sociedade não é controlada ou coligada de concessionária de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou de outra sociedade controlada ou coligada com o controlador comum”. (DUTRA, 2007 p.184-185)

Entretanto, o que mais se destaca é a utilização do modelo de Feed-In-Tariffs, principal incentivo à expansão de energia eólica nos países líderes e que foi utilizado para os projetos do PROINFA. O Programa estabeleceu metas para a expansão da energia eólica, cotas de contratação, um sistema de garantia de preço, linha preferencial de investimento, com condições favoráveis de financiamento pelo BNDES (CAMILLO, 2013; PODCAMENI, 2014), liberando cerca de R\$ 5,5 bilhões ao PROINFA para transferências diretas e indiretas focadas em instalações eólicas (RENNKAMP et al., 2020) além de disponibilizado contratos de venda de energia de longo prazo celebrados com a Eletrobrás, inicialmente de 15 anos, depois estendidos para 20 anos, em que a concessionária central se comprometeu a comprar eletricidade de produtores de energia eólica a uma tarifa ofertada de R\$ 300 por

megawatt-hora (MWh) (RENNKAMP et al., 2020). Ademais, para garantir o preço da eletricidade, foram determinadas tarifas pré-fixadas com base no valor econômico correspondente à tecnologia específica de cada fonte, considerada um piso padrão mínimo. O valor restante a ser pago era rateado entre os consumidores finais atendidos pelo SIN, proporcionalmente ao consumo, com exceção de pessoas da subclasse residencial de baixa renda, que tem um consumo mensal menor que 80 kWh/mês (CAMILLO, 2013).

Entretanto, o PROINFA apresentou diversas falhas e foi marcado por falta de coerência. Apesar dos esforços, a análise do FIT nos países líderes expõe que esse instrumento funciona como o principal mecanismo de criação de mercado quando a curva de aprendizado tecnológico já avançou até certo ponto (CAMILLO, 2013) depois da evolução e desenvolvimento de outras políticas, como a tecnológica, industrial a até mesmo de mercado, não sendo o caso brasileiro. Podcameni (2014) expõe as diferenças que a experiência brasileira teve comparada com a experiência dos países líderes. Segundo a autora, o modelo de FIT foi implementado no Brasil já no primeiro pacote de apoio à energia eólica e não foi acompanhado de um conjunto de instrumentos de política industrial:

“Se compararmos com as experiências internacionais, a do Brasil se difere. Nos países líderes, os dois mecanismos foram instituídos apenas depois de aproximadamente uma década de fomento à P&D e à indústria, enquanto nos países latecomers, tais políticas também foram acompanhadas de inúmeros mecanismos de apoio à transferência de tecnologias.” (PODCAMENI, 2014, p. 145)

Outro fator importante é o contexto da indústria de energia eólica no mundo. No momento em que o PROINFA foi instituído, a indústria de energia eólica internacional era alimentada por investimentos localizados, financiados por instituições e investidores locais, com participação das próprias fabricantes de turbinas (CAMILLO, 2013) aspectos que tornaram mais difícil a atração de investimento estrangeiro e que eram opostos à experiência brasileira. Na realidade, a situação brasileira era de incapacidade financeira de grande parcela dos proprietários dos projetos contratados, que tinham interesse, mas não estavam preparados financeiramente para esse tipo de negócio, também prejudicou a execução do projeto, provocando rearranjos societários e alterações de titularidade. Com a criação do PIA,

as concessionárias de energia, que tinham mais capacidade para alavancar os projetos, tiveram maiores barreiras e, por isso, sua participação foi limitada e restrita.

O caso do PROINFA também possuía outro problema: não havia nenhum incentivo específico para a conexão da energia eólica ao sistema elétrico. A fonte eólica possuía o mesmo pacote regulatório básico adotado pela maioria dos países líderes. Todavia, não se previu a extensão e o reforço das precárias redes de transmissão dos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará para o escoamento da energia gerada, nem a construção de novas subestações coletoras para receber e conectar a energia ao SIN. Claramente, não houve o planejamento da expansão da transmissão com as demandas de conexão dos parques eólicos que seriam construídos.

Dutra (2007) traz outra contrariedade: a insuficiência do Parque Industrial instalado que não expandiu. O fato de que sem a expansão, atender a demanda de equipamentos gerada pelo PROINFA, no prazo estipulado, provocou aumento de custos e grande incerteza, o que afastou investimentos. A única fabricante brasileira com capacidade tecnológica para produzir equipamentos locais para todo o território nacional era a Wobben, subsidiária da alemã Enercon e que estava em operação no Brasil desde 1996. A demanda maior por turbinas eólicas gerada pelo PROINFA não conseguiu ser atendida, gerando altos custos e atrasos, apenas cinco projetos foram entregues dentro do prazo, o restante foi adiado até 31 de dezembro de 2011, quando o programa chegou ao fim.

Depois, um novo marco regulatório do setor elétrico em 2003, tinha como principais objetivos: a segurança do suprimento, a modicidade tarifária, a regulação estável e a universalização da energia elétrica (CAMILLO, 2013). Com a modicidade tarifária, os leilões públicos de energia elétrica foram escolhidos. Contudo, estes não combinavam com a proposta principal do PROINFA e, assim, a segunda fase do PROINFA acabou não sendo regulamentada e as metas de expansão de longo prazo invalidadas (CAMILLO, 2013). Apesar disso, o PROINFA trouxe bons frutos: a contribuição para a instalação de 1,4 GW de capacidade eólica no Brasil de 2008 a 2013 (ELETROBRAS, 2006 *apud* RENNKAMP et al., 2020). Contudo, o Programa chega ao fim dessa forma, houve a interrupção da segunda proposta de política de promoção à energia eólica brasileira.

3.2.3 Sistema de Leilões

Com o novo marco regulatório do setor elétrico, uma nova forma de comercialização de eletricidade foi instituída: o Sistema de Leilões. Para isso, o setor elétrico se organiza em dois ambientes de comercialização, o regulado e o livre. No ambiente de comercialização regulado (ACR), o preço é acordado por meio de um sistema de leilão promovido pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e sob a delegação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Nesse ambiente, os projetos que apresentam a menor tarifa (R\$/MWh) são escolhidos. Já no ambiente de comercialização livre (ACL), produtores, consumidores independentes e especiais geram um acordo de formato livre e estabelecem o preço.

A comercialização da fonte eólica ocorre predominantemente no ACR. Os leilões de compra e venda de energia se tornaram o principal meio de contratação de energia eólica no país e de incentivo à participação das fontes alternativas na geração de energia elétrica (CAMILLO, 2013; PODCAMENI, 2014). Portanto, com esse sistema, inicia-se um novo contexto de promoção à energia eólica no país.

Em 2022, os leilões são o principal meio de compra e venda de energia elétrica, sendo comercializada a energia de usinas existentes e de usinas novas, para atender a demanda atual e futura dada pelas distribuidoras de energia. Através dos leilões, há também a compra de energia complementar com os propósitos de aumentar a garantia de suprimento de todo o SIN (consumidores livres e cativos) e de formar lastro de reserva (CCEE, 2022).

No Brasil, os leilões de energia podem ser divididos em quatro: os Leilões de Energia Nova (LEN), os Leilões de Energia Existentes (LEE), os Leilões de Energia de Reserva (LER) e os Leilões de Fontes Alternativa (LFA) (PODCAMENI, 2014). A contratação de energia nos LEN, são chamados de leilões A-3 ou A-5, que compram energia de novos projetos que vão entrar em operação ao final de três ou cinco anos posteriores ao ano de realização do leilão (CAMILLO, 2013) e o seus contratos prolongam-se de 15 a 30 anos, dependendo do tipo de energia, e possuem uma missão de amplificar os parques eólicos por meio da concorrência entre empreendedores. Já na contratação de energia nos LEE, os leilões são classificados como A-1, que contratam energia de projetos de geração que estão operando há no máximo um ano e visam substituir os contratos (com duração de 5 a 15 anos) que estão vencendo (CAMILLO, 2013). Já os LER contratam, com prazo de suprimento

de 20 anos, energia de novos projetos para compor uma reserva de capacidade de geração e aumentar a segurança do suprimento elétrico e garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica (CCEE, 2022). Os vencedores dos LER firmam Contratos de Energia Reserva (CER) que preveem uma remuneração fixa pela disponibilidade da energia (PODCAMENI, 2014), que pode ser ajustado dependendo da diferença entre o montante contratado e o efetivamente gerado ou devido a punições devido à indisponibilidade da energia (NOGUEIRA, 2011).

É permitido que as fontes eólicas, de biomassa e de PCH participem de todos os tipos de leilões, incluindo os Leilões de Fontes Alternativas (LFAs). Estes leilões possuem o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira, contratando energia tão somente de empreendimentos de fontes alternativas. No modelo de LFAs os prazos estipulados para entrega variam de um a cinco anos e podem ser tanto de projetos de Energia Nova como de Energia Existente. O que difere as LFAs em relação aos demais tipos de leilão são que as fontes alternativas ficam livres da concorrência com as fontes convencionais e o preço inicial leva em consideração as características técnicas dos empreendimentos baseados em fontes alternativas (NOGUEIRA, 2011).

Quadro 3 - Sistema de Leilões de Energia no Brasil

LEILÕES	CARACTERÍSTICAS
Leilões de Energia Nova (LEN ou A-3 ou A-5)	Leilões de projetos de geração de energia que estarão em operação ao final de 3 ou de 5 anos após o leilão; contratos de 15 a 30 anos; missão de amplificar a concorrência entre empreendedores
Leilões de Energia Existentes (LEE ou A-1)	Leilões de projetos de geração de energia que já estão operando a no máximo 1 ano; contratos de 5 a 15 anos
Leilões de Energia Reserva (LER)	Leilões de projetos de operação de energia com prazos de até 20 anos, para reserva de capacidade energética e aumentar a segurança do abastecimento
Leilões de Fontes Anternativas (LFA)	Leilões de projetos de geração de energia com objetivo de diversificar a matriz energética brasileira; prazos para entrega é de 1 a 5 anos; dá espaço para as fontes alternativas em comparação com as fontes tradicionais

Fonte: Elaboração Própria. CAMILLO (2013); PODCAMENI (2014)

Portanto, analisando e comparando o modelo do PROINFA com o sistema de leilões, conclui-se que a utilização de FIT para a criação de uma reserva de mercado ficou restrita à primeira fase do PROINFA (CAMILLO, 2013) e que a divergência dos instrumentos do PROINFA e do Sistema de Leilões leva à interrupção da segunda fase do PROINFA. O FIT, principal instrumento de criação de mercado do PROINFA, tinha como principal objetivo assegurar que os empreendedores tivessem uma remuneração acima do custo de geração da energia eólica. Contudo, o sistema de leilões, independentemente de sua categoria, possui o propósito de incentivar a competição entre os ofertantes de geração da fonte eólica por meio do preço, a fim de encontrar um ponto de minimização do custo do sistema elétrico brasileiro. É dessa forma que a discrepância entre o programa e o novo modelo de leilões suspende a segunda fase do PROINFA em 2007.

Em maio de 2007, foi realizado o primeiro leilão de fontes alternativas, com o objetivo de contratar projetos de geração a partir de biomassa, PCHs e eólica. Cerca de 640 MW em projetos de PCHs e de biomassa foram contratados, mas nenhum empreendimento de energia eólica foi vencedor no certame (PODCAMENI, 2014). O preço da energia eólica foi um fator de desinteresse: na época, o megawatts-hora era de R\$ 200,00/MWh, tornando a competição com as outras fontes participantes impraticável.

O desinteresse pela fonte eólica no leilão sugere que optar pelo mecanismo de leilão para fomentar a fonte eólica não foi uma opção coerente com o contexto que a energia eólica se encontrava no Brasil (PODCAMENI, 2014). A energia eólica ainda em fase inicial, sem ter se estabelecido localmente, e dessa forma, sem perspectiva de uma redução de custos dado o efeito de escala ou pelo estabelecimento de uma rede de fornecedores locais (PODCAMENI, 2014), somados ao contexto de apenas uma fração dos projetos do PROINFA terem sido iniciados, foram os motivos que fizeram com que a energia eólica não fosse competitiva no contexto brasileiro. Outro fator importante, é o contexto internacional: o forte crescimento no mercado global de energia eólica, que aumentaram o preço das turbinas em 2006 (CAMILLO, 2013) fizeram grandes grupos de energia globais mirarem no FIT que ainda existiam em países *latecomers* ou seguidores, que se inseriram no mercado quando a tecnologia já apresentava um processo de amadurecimento, como a Espanha, Índia e China.

À vista disso, a divergência entre o crescimento do mercado mundial, o mercado nacional curto e os problemas com os instrumentos de incentivo à energia eólica no Brasil fizeram com que os grandes grupos de energia fossem atraídos aos países pioneiros.

Mais uma vez, a eficiência do modelo de leilões como instrumento de incentivo à ampliação da participação energia eólica na matriz energética brasileira é colocado em xeque. Claramente, a utilização do modelo de leilões foi incoerente com os contextos nacionais e internacionais. É possível afirmar, portanto, que o uso do leilão como instrumento de inserção da energia eólica na matriz energética em 2007 foi uma opção desconexa da realidade com o contexto desta fonte de energia no Brasil e no mundo.

Em 2008, o governo brasileiro ajusta as políticas de forma que estejam mais enquadradas ao contexto brasileiro e às particularidades da energia eólica. O primeiro ajuste é a expansão do acesso ao mercado de energia eólica. As concessionárias de eletricidade começaram a participar mais dos investimentos de novos parques eólicos, em detrimento do PIA, criado com o PROINFA e extinto nessa época. O segundo ajuste é a requisição de certificação de viabilidade financeira dos investidores e a incorporação de novos agentes financeiros, como bancos de fomento, cujas carteiras de projetos são monitoradas mensalmente (MME, 2009 *apud* CAMILLO, 2013). Por último, o terceiro ajuste foi uma mudança de correção monetária: no PROINFA, o preço de energia fixado em leilão era corrigido anualmente pelo IGPM e passou a ser corrigido pelo IPCA, que é menos sensível às variações do câmbio do que o IGPM, produzindo menor impacto na inflação (ANUATTI NETO & PEANO, 2008 *apud* CAMILLO, 2013).

Por isso, os ventos mudam de direção em 2009, com o primeiro leilão exclusivo e bem-sucedido de energia eólica. Foram contratados 71 empreendimentos, totalizando 1.805,7 MW de potência a ser instalada até julho de 2012 (EPE, 2009). Além disso, o Informe à Imprensa da época também relata um deságio de 21,5%, e o preço médio da energia alcançando o valor de R\$ 148,39/MWh, um valor bem próximo ao das usinas térmicas.

No ano seguinte, o governo realizou mais dois leilões, incluindo outras fontes de energia, como PCHs e termelétricas a biomassa. Os LFAs de 2010 resultaram na contratação de 70 centrais eólicas totalizavam 2.047,8 MW, com um preço médio de R\$ 130,86 / MWh, o maior volume de contratação e o menor preço (EPE, 2010),

tornando-se uma alternativa de menor custo na geração de eletricidade. Em 2011, mais uma vez a energia eólica concorreu com outras fontes de energia, sendo contratada pelo preço de R\$ 99,58 / MWh. Em 2012, a energia eólica apresentou no Leilão A-5 o menor preço médio final até então de R\$ 87,77 / MWh.

Pode-se perceber que nos anos de 2009 a 2012, houve uma redução significativa dos preços médios nos certames das fontes eólicas. O primeiro fator que possibilitou essa queda foi a organização de um leilão específico para a energia eólica, no final de 2009. O segundo fator foi uma nova opção de conexão com o setor elétrico (CAMILLO, 2013). A partir do Decreto 6.460/2008 e a Resolução Normativa 320/2008 da ANEEL, a eólica, a biomassa e a PCH tinham a disposição das Instalações de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração de Conexão Compartilhada – ICG. Estas instalações têm a finalidade de suprir a demanda de conexão de usinas localizadas em regiões que não dispõem de sistemas de distribuição e transmissão capazes de suportar grandes volumes de potência (CAMILLO, 2013).

O terceiro fator é o contexto mundial. Os efeitos da crise econômica mundial, as mudanças na conjuntura global pós 2008, simultaneamente com a evolução tecnológica e a consolidação da indústria impactaram os custos de investimento da indústria de energia eólica mundial. Logo, permitiu-se que a expansão da energia eólica tornasse competitiva nos modelos de leilões.

A crise econômica mundial de 2008 desacelerou o ritmo de produção e consumo, principalmente de países líderes, fazendo com que a demanda por energia fosse menor e, por isso, houve o acúmulo de estoques de equipamentos nos países centrais (PODCAMENI, 2014). Além disso, a formação do mercado mundial de turbinas eólicas e o ritmo de crescimento da capacidade instalada em países como Alemanha, Estados Unidos e Espanha foi duramente impactado.

Dessa forma, o mercado brasileiro começa a se tornar cada vez mais atraente para os investidores internacionais, favorecendo ainda mais a redução de preços das turbinas eólicas. Duas razões que tornam o país mais chamativo são a maior facilidade no acesso ao financiamento pelo BNDES, em contraposição com a escassez de acesso ao financiamento internacional, e a desvalorização do dólar em relação ao real. Além de atrair investimentos internacionais, esses dois exemplos também permitiram o barateamento de turbinas eólicas e aerogeradores. Só nos anos de 2008 e 2010, o preço dos aerogeradores encolheu 15% (GWEC/ABEEÓLICA,

2011; NOGUEIRA, 2011). Consequentemente, o período de 2009 a 2013 foi marcado por um crescimento acelerado no mercado eólico brasileiro, que passou a contratar volumes crescentes de energia eólica a preços baixos. Portanto, é possível afirmar que o sistema de leilões permitiu maior dinamismo do setor eólico (PODCAMENI, 2014; RENNKAMP et al., 2020).

Nos anos seguintes, de 2015 a 2017, segundo Rennkamp et al. (2020) houve uma lacuna de leilões. Essa brecha sucedeu devido a uma crise política combinada a uma recessão econômica que diminuiu as perspectivas por demanda de energia e interrompeu, prejudicando a expansão da energia eólica. Por isso, em março de 2017, foi publicado o Decreto 9.019 que permitiu a revogação de contratos de energia previamente definidos. Em agosto do mesmo ano, um leilão resultou no cancelamento de 183,2 MW médios, dos quais 16 parques e 9 usinas fotovoltaicas, e o reembolso de R\$ 105,9 milhões da Conta de Energia de Reserva (CONER) (Costa e Samora, 2017 *apud* RENNKAMP et al., 2020).

Porém, no ano seguinte, em agosto de 2018, um novo leilão foi executado, sendo contratado 1,25 GW de energia eólica, com tarifas médias de R\$ 92,22/MWh (EPOWERBAY, 2018), revelando que a energia eólica permaneceu consolidada. É importante destacar que apesar da redução do fluxo de investimentos causados pela crise, o setor eólico brasileiro permaneceu como um dos maiores do mundo.

Contudo, apesar de revelar-se como um setor industrial consolidado, é possível perceber que este grande crescimento da indústria eólica em território brasileiro foi possível através de uma janela de oportunidade e está mais associado a fatores conjunturais do que aos resultados da política implementada para seu desenvolvimento (PODCAMENI, 2014). As políticas adotadas, em destaque o modelo de leilões, eram impróprias ao contexto brasileiro. Isso significa que a política brasileira de criação de mercado da energia eólica, por meio do sistema de leilões, teve êxito apenas quando o período de desenvolvimento e as circunstâncias da indústria de energia eólica internacionais permitiram. Logo, não foi a política que se adaptou ao estágio de desenvolvimento da tecnologia ou da indústria local, mas foi a conjuntura que possibilitou que a política começasse a funcionar (CAMILLO, 2013). Diante da crise econômica mundial, com a desaceleração da produção do consumo, acúmulo de equipamentos, da emergência da competição chinesa e até da fraqueza de alguns mercados, o mercado brasileiro se tornou a melhor opção.

Para Camillo (2013), o Brasil não pode ser considerado como uma referência quando se trata de políticas de promoção de energia eólica, como ocorreu com países pioneiros, como Dinamarca e Alemanha. Percebe-se que tanto na primeira fase do PROINFA quanto nos leilões de energia eólica, ou seja, o período que corresponde aos meados da década de 2000 até os primeiros anos da década de 2010, às políticas de criação de mercado foram elaboradas e executadas de forma indiferente ao contexto de desenvolvimento da indústria e da tecnologia e totalmente influenciadas pelo contexto internacional. Contudo, apesar desses aspectos, o Sistema de Leilões teve êxitos. A realização de leilões de energia específicos para geração eólica auxiliou o início da implantação da energia eólica na matriz energética brasileira e os custos declinaram robustamente. Por isso, enquanto no início da vigência do PROINFA o custo de energia eólica atingiu valores da ordem de R\$ 298,00 /MWh, em 2015 a geração eólica apresentou segundo menor custo do MWh (R\$191,00 por Megawatt-hora) sendo superior apenas ao custo apresentado pela geração hidrelétrica (R\$182,00 / MWh) (BRASIL, 2016 *apud* PINTO; MARTINS; PEREIRA, 2017). Portanto, apesar das políticas de criação de mercado no setor eólico brasileiros não serem exemplares, a consolidação dos leilões e a diminuição dos custos são uma realidade.

3.3 Políticas Industriais

Quanto às políticas industriais, o Brasil, semelhantemente aos países que foram inseridos tardiamente no mercado eólico global, buscou a atração de Investimento Direto no País (IDP) como forma de dar partida à uma indústria nacional focada na fabricação de aerogeradores e seus componentes. Contudo, o Brasil se diferencia dos *latecomers*, afinal, não criou instrumentos que promovessem o desenvolvimento de uma indústria doméstica, nem o aprendizado local da tecnologia (CAMILLO, 2013). O governo brasileiro utilizou duas maneiras principais para atrair empresas transnacionais para que realizassem o IDP no Brasil: o índice de nacionalização e a disponibilidade de crédito.

3.3.1 Índice de Nacionalização e Requisito de Conteúdo Local

O índice de nacionalização (IN) ou também chamado de Requisito de Conteúdo Local (RCL) são políticas impostas por governos que exigem que empresas utilizem produtos de fabricação nacional ou serviços fornecidos internamente para poder participar de um determinado mercado (OCDE, 2015). Dessa forma, avalia-se o conteúdo de um produto produzido no país e a relação entre o valor (ou peso) dos componentes importados e o preço final de venda (ou peso total) do produto fabricado por uma empresa (BNDES, 2015). Rennkamp et al. (2020, p. 186) detalha sobre esse tipo de política:

Especificar o conteúdo local é um ato de equilíbrio, já que definir um percentual muito alto pode dissuadir investidores e elevar os preços da tecnologia, ao passo que definir os requisitos muito baixos pode anular os efeitos desejados em termos de desenvolvimento tecnológico e geração de emprego.

Além disso, Rennkamp et al. (2020, p. 186) tentam explicitar o sentido dessa política:

A lógica dos requisitos de conteúdo local reside na tentativa de se extrair todos os benefícios da transferência de tecnologia e criação de empregos, podendo contribuir para reduzir a lacuna de capacidade tecnológica e oportunidades de mercado existente entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Essa política possui vários benefícios, sendo eles o aperfeiçoamento tecnológico, particularmente à tecnologia fabricada localmente e ao domínio tecnológico das firmas (QIU; TAO, 2001); a criação de "campeões nacionais", que se refere às empresas que fabricam localmente e eventualmente produzem para exportação (RENNKAMP et al., 2020) e a criação de empregos (VELOSO, 2006).

No Brasil, inicialmente, o índice foi vinculado ao PROINFA que trouxe o RCL para os parques eólicos e em seguida, às linhas de financiamento do BNDES. Em geral, o índice promove que uma fração das peças e itens que fazem parte de um parque eólico deveria ser fornecida por empresas brasileiras. Na primeira fase do programa, o IN mínimo estipulado era de 60%. A segunda fase, que não foi devidamente regulada, previa um IN de 90% (DUTRA, 2007). Novamente, o objetivo do índice de nacionalização era alavancar a indústria de equipamentos e peças em território nacional.

Entretanto, as expectativas criadas foram frustradas, os novos fabricantes não chegaram na primeira fase do PROINFA.

Em 2007, frente aos entraves à execução do programa, a exigência do índice de nacionalização de equipamentos e serviços foi retirada e a alíquota de 14% incidente sobre a importação de turbinas foi reduzida a zero. A exigência de conteúdo local permaneceu apenas para os projetos que pleiteassem financiamento do BNDES (CAMILLO, 2013, p. 141).

Depois, quando a primeira fase do PROINFA se encerrou e o modelo de leilões começou a ser inserido no Brasil, o índice de nacionalização ainda não havia auxiliado a indústria brasileira como se esperava. Por isso:

combinado à conjuntura econômica que levou ao aumento da oferta e redução de preços de equipamentos no exterior (AWEA, 2011; EWEA, 2011; Liebreich, 2010), o primeiro leilão exclusivo para a fonte eólica, o 2º LER, não estabeleceu um IN para os empreendimentos participantes” (AWAE, 2011; EWEA, 2011; LIEBREICH, 2010 *apud* NOGUEIRA, 2011, p.47).

Juntamente com isso, na tentativa de ajudar a promover a produção eólica brasileira:

A única exigência em relação às importações foi relativa aos aerogeradores, que só poderiam ser importados se tivessem potência nominal igual ou superior a 1.500 kW, segundo a Portaria No 242, de 200976 (EPE, 2011). Os leilões seguintes mantiveram a mesma exigência, em concordância com o regulamentado pela Portaria No 55, de 2010 (ANEEL, 2010e) (EPE, 2011; ANEEL, 2010e *apud* NOGUEIRA, 2011, p.47).

É importante salientar que no período inicial do PROINFA, o Brasil possuía apenas um fabricante de turbinas eólicas: Wobben Windpower. Camillo (2013) menciona como diversos estudos são unânimes em colocar que as metas da primeira fase do programa para a fonte eólica não poderiam ser cumpridas dentro do prazo inicial de dois anos, pela única empresa que já estava com parte da sua capacidade de produção comprometida (de 250MW/ano) quando do lançamento do PROINFA, em razão de contratos de fornecimento no exterior (CAMILLO, 2013 *apud* FERREIRA, 2008). A reduzida oferta de equipamentos nacionais representou atrasos no cronograma do programa e o governo decidiu abandonar a exigência de conteúdo local (PODCAMENI, 2014), além de revelarem um problema de ausência de escala para a constituição de um mercado atrativo para as grandes fabricantes mundiais de equipamentos (CAMILLO, 2013).

Quando se compara com países como Espanha e China, que entraram no mercado do setor elétrico mais tardiamente, vê-se que neles não houve a exigência

de conteúdo como instrumento de atração de investimento, mas de proteção da indústria doméstica nascente (CAMILLO, 2013). Esse tipo de mecanismo de exigência de conteúdo local é apenas uma parte de um conjunto de medidas de desenvolvimento de uma indústria nacional e é usado, normalmente, unido a outras políticas industriais, políticas de criação de mercado e políticas tecnológicas

Ademais, o contexto internacional, na época do PROINFA, da indústria eólica mundial era caracterizado por forte concentração de indústria de turbinas nos países pioneiros, como Alemanha e Estados Unidos e um caráter de dependência de cadeias domésticas de fornecedores. Investir em unidades produtivas num país como o Brasil que não dispunha tradição em energia eólica, nem possuía um mercado com taxas elevadas de crescimento como a China, muito menos um mercado consolidado, não fazia sentido na época. Por isso, espera-se que a inserção de apenas um índice de nacionalização seja insuficiente para atrair o IDP ao Brasil.

3.3.2 Disponibilidade de Crédito

A disponibilidade de créditos para a expansão da energia eólica no Brasil está concentrada essencialmente em dois bancos públicos: o BNDES e o BNB (CAMILLO, 2013; NOGUEIRA, 2011).

O BNDES possui duas linhas de financiamento que visam estimular a produção de bens de capital: o Finem e o Finame (CAMILLO, 2013). O Finem tem como foco os investimentos para a implantação, ampliação, recuperação e modernização de ativos fixos nos setores da indústria, comércio, prestação de serviços e agropecuária no valor igual ou superior a R\$ 10 milhões (CAMILLO, 2013). Já o Finame financia a produção e a aquisição de equipamentos novos, de fabricação nacional, incluindo a venda de máquinas e equipamentos já negociados com as respectivas compradoras (CAMILLO, 2013). Por meio do FINAME, os projetos de energia renovável são 80% financiados pelo BNDES, com uma taxa de juros anual de aproximadamente 10% (ou 0,97% ao mês) - Taxa de juros de longo prazo (varia de 5 a 7,5%) + remuneração do banco (varia de 0,9 a 3,5%). Em 2020, a taxa era de 1,2% + taxa de risco (até 2,87%), por ano (RENNKAMP et al., 2020). Ambos podem ser obtidos por companhias eólicas, tanto para a fabricação de peças e/ou turbinas eólicas como para a construção de parques eólicos inteiros.

Quadro 4 - Síntese das principais linhas de financiamento do BNDES

	OBJETIVO	VALOR
FINEM	Investimento em implantação, ampliação, recuperação e modernização de ativos fixos nos setores da indústria, comércio, prestação de serviços e agropecuária	Valor igual ou maior que R\$ 10 milhões
FINAME	Investimento na produção e a aquisição de equipamentos novos, de fabricação nacional	80% dos projetos financiados pelo BNDES, taxa de juros anual de aproximadamente 10%; com taxas de longo prazo que variam de 5 a 7,5% a.a somados a remuneração do banco, entre 0,9% a 3,5% a.a

Fonte: Elaboração Própria. PODCAMENI (2014)

Podcameni (2014) aponta que no leilão de 2009 também foram adotadas linhas de financiamento com juros subsidiados e prazos longos de até 14 anos para amortização, estendendo-se para 16 anos, em 2010. Em 2016, os projetos com valor acima de R\$ 20 milhões são financiados, com uma taxa de retorno de 16 anos (RENNKAMP et al., 2020). Contudo, para serem qualificadas para esses financiamentos, os empreendimentos devem atender no mínimo três dos quatro critérios (BNDES, 2016 *apud* RENNKAMP et al., 2020): (1) a produção de torres no Brasil deve ter, no mínimo, 70% das chapas de aço fabricadas nacionalmente; (2) a produção de pás no Brasil deve ser feita em unidade própria ou de terceiros; (3) a montagem da nacelle feita nacionalmente, em unidade própria; e (4) a montagem do cubo (peça do rotor onde as pás são fixadas) no Brasil, com material fundido de origem nacional (RENNKAMP et al., 2020).

Outro banco importante voltado para o desenvolvimento e que oferece linhas de crédito é o Banco do Nordeste do Brasil (BNB). Este disponibiliza linhas de financiamento para a execução de projetos de fontes de energia renováveis, incluindo a eólica, a partir do Programa de Sustentabilidade Ambiental. Assim como o BNDES, o BNB também impôs aos empreendimentos eólicos que buscavam financiamento que os aerogeradores deveriam ser formados por 60% dos elementos produzidos

localmente, além de impor que o empreendimento estivesse localizado na região Nordeste.

Comparado com o BNDES, o BNB possui empréstimos com valores menores, mas possui um papel vital como viabilizador do desenvolvimento socioeconômico da Região Nordeste, com o propósito de ser reconhecido por sua capacidade de promover o bem-estar das famílias e a competitividade das empresas da Região (BNB, 2022). Por exemplo, enquanto o BNDES aplicou R\$706 milhões em energia eólica no Rio Grande do Norte entre 2005 e 2011, o BNB aplicou R\$902 milhões entre 2009 e 2011 – R\$196 milhões a mais em metade do tempo (TRIBUNA DO NORTE, 2011 *apud* PODCAMENI, 2014).

Contudo, a implantação de uma exigência de uma parcela da produção ser de conteúdo local possui suas especificidades. Os empreendimentos e companhias voltados para o mercado eólico investem no Brasil, principalmente, na montagem de torres. As torres são as maiores partes e as de menor conteúdo tecnológico, mas com o maior número de fornecedores brasileiros. Isso acontece porque empreendimentos eólicos buscam cumprir a exigência do índice de nacionalização do conteúdo da produção imposto pelo BNDES ou pelo BNB e o fazem investindo na produção de partes grandes e de pouca tecnologia. O que faz questionar se apenas a atração de IDP, com a abertura de unidades de produção em território nacional, é suficiente para ocasionar no desenvolvimento de inovações e em ganhos tecnológicos no setor eólico brasileiro

Com início em 2011, algumas grandes e tradicionais manufatureiras (chamadas também de *Original Equipment Manufacturers* ou OEMs) como Gamesa (da Espanha) e Alstom (da França) começaram a se instalar no Brasil. Segundo Podcameni (2014, p. 155)

A pesquisa de campo realizada junto às OEMs no âmbito desta tese indagou sobre as principais motivações para instalar fábricas no país. De acordo com as entrevistas, a existência de financiamento do BNDES atrelado a um IN [índice de nacionalização] e a perspectiva de crescimento do mercado eólico brasileiro foram as razões de tais empresas realizarem IDPs no país.

Para se instalarem e adquirirem as linhas de crédito, foi necessário a nacionalização. Ressalta-se que

O nível de nacionalização da produção de aerogeradores da GE no Brasil é de 64% (GE REPORT BRASIL, 2012a). A Wobben Wind Power também apresenta índice de nacionalização superior a 60%.

Tanto a Gamesa, quanto a Alstom, começaram a montagem de aerogeradores no país em 2011 com um índice de nacionalização de 40% que deveria progredir para 50% em 2012 e 60% em 2013, conforme compromisso firmado com BNDES para a liberação de financiamento (CEMIG, 2011).” (GE REPORT BRASIL, 2012a; CEMIG, 2011 *apud* CAMILLO, 2013, p. 160).

Contudo, as torres representam cerca de 26% do custo total de uma turbina e as pás cerca de 22% do custo total (CAMILLO, 2013) que já somam 48% do custo total de uma geradora de energia eólica. Já as peças com maior conteúdo tecnológico são importadas dos EUA (GE REPORT, 2012b *apud* CAMILLO, 2013). Sabendo disso:

Considerando que as torres estão cada vez mais altas e mais caras, dada a maior quantidade de aço incorporada nesses componentes, o peso delas na soma do índice de nacionalização pode ser ainda maior: nas máquinas instaladas a mais de 100 metros de altura, as torres podem significar mais do que 25% do custo total da turbina. E, como os rolamentos e as partes forjadas e moldadas somam aproximadamente mais 10% ao custo do produto (CEMIG, 2011), conclui-se que é possível atingir facilmente um índice de nacionalização 60% ou mais, mesmo importando integralmente o nacele.” (CEMIG, 2011 *apud* CAMILLO, 2013 p.160)

Dessa forma, novamente há o questionamento se a atração de IDP e a realização da montagem aqui, mesmo com índices de nacionalização, estão trazendo ganhos tecnológicos ao mercado brasileiro já que a maior parte da produção feita em território nacional é de menor participação tecnológica que a produção da nacele, feita internacionalmente e depois, importada.

Em suma, o mercado eólico brasileiro acreditava que a atração de IDP seria a chave para o desenvolvimento de uma estrutura industrial eólica. Iniciando-se com a imposição de um conteúdo local mínimo, na primeira fase do PROINFA, para as companhias eólicas participantes. Após algum tempo, esse requisito e as metas de evolução industrial do PROINFA, visto que a prioridade dada à constituição de um mercado eólico de forma rápida prevaleceu sobre os objetivos de geração de emprego e consolidação de uma estrutura produtiva (PODCAMENI, 2014).

Depois da reforma do setor elétrico, a exigência do índice de nacionalização passou a ser requisitado apenas no momento de busca pelas linhas de créditos e financiamento para os projetos eólicos, feito por bancos de desenvolvimento como o BNDES e pelo BNB. Contudo, isso ainda não tinha sido suficiente para fazer do mercado eólico brasileiro atraente para receber IDP das empresas internacionais

mais fortes e tradicionais. Assim permaneceu até o final da década de 2000: um mercado internacional aquecido e o Brasil ainda sem apresentar uma clareza nos seus objetivos e na participação do mercado eólico. Podcameni (2014) afirma que desde o abandono do índice de nacionalização no PROINFA até o primeiro leilão de energia eólica em 2009, praticamente inexistiu uma política industrial em energia eólica no Brasil.

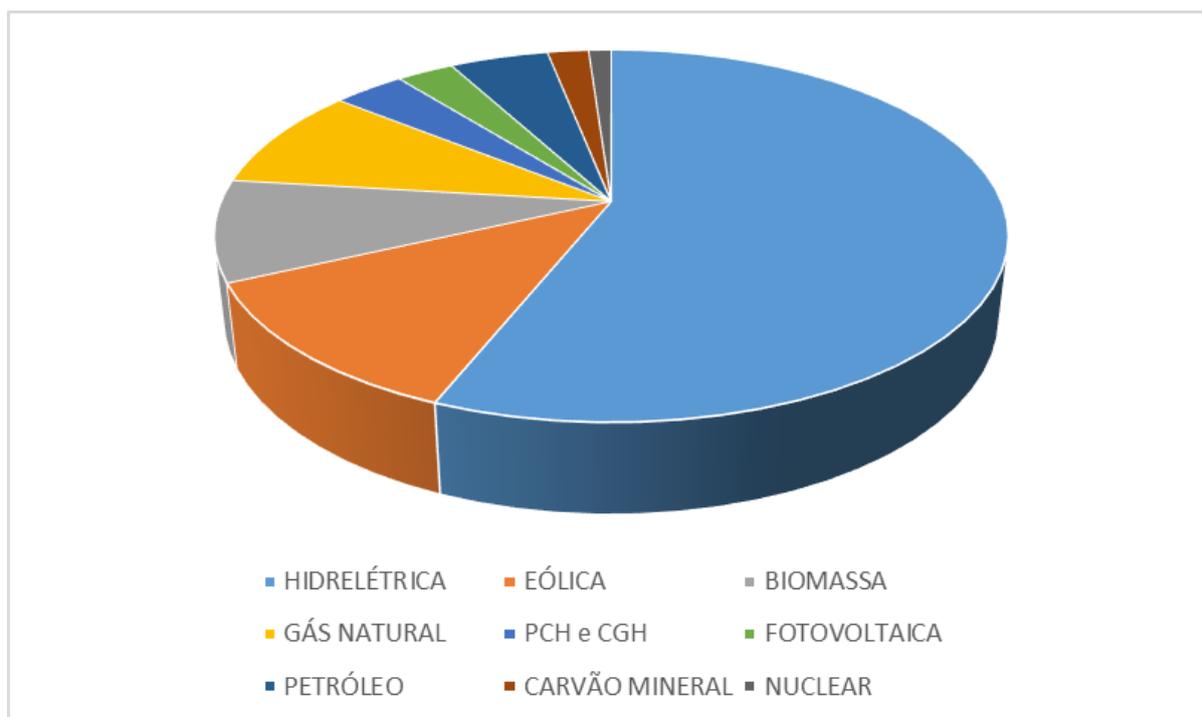
Seguidamente, a estratégia se modificou e foram oferecidas linhas de créditos específicas para os empreendimentos eólicos vencedores do leilão, com um índice de nacionalização mínimo como requisito para estas linhas de créditos (PODCAMENI, 2014). Contudo, o fator que mais influenciou o crescimento da indústria eólica brasileira foi a janela de oportunidade dada pelas mudanças causadas pela crise econômica mundial de 2008 e a mudança da conjuntura e da indústria eólica internacional nesse período. A crise nos países pioneiros e com o maior acúmulo de equipamentos das empresas eólicas destes países, tornaram o Brasil um mercado de energia eólica em expansão. Conseqüentemente, as principais produtoras de aerogeradores do mundo chegaram ao Brasil e abriram filiais nacionalmente. Essas filiais, entretanto, constituíram uma indústria de aerogeradores eólicos, sem, contudo, aumentar sua capacidade tecnológica. Somente em 2012 é que há um ajuste nas políticas de financiamento e industrialização que permitam melhorias nos processos de transferência tecnológica e de fortalecimento da capacidade de inovação, a partir da modificação das regras do BNDES, que passaram a exigir que as OEMs produzissem parte dos componentes de elevado conteúdo tecnológico nacionalmente (PODCAMENI, 2014).

Dessa forma, a indústria eólica brasileira começou a se firmar. A maior demanda de equipamentos eólicos causados pela implementação do modelo de leilões, somados à oferta de linhas de financiamentos aos empreendimentos eólicos em condições favoráveis e atuação crescente do setor público e de bancos de desenvolvimento com disponibilidade de crédito, além da nova conjuntura da indústria eólica no mundo, colocaram o Brasil como um espaço atrativo para os investimentos em capacidade produtiva em turbinas (REN21, 2010; apud NOGUEIRA, 2011)

3.4 Os resultados das políticas de estímulo a energia eólica no Brasil

Desde 2001, o Brasil formulou e implantou políticas de criação de mercado e industriais para estimular o setor energético e, principalmente, o setor eólico no país. Mesmo sendo, muitas vezes, inconsistente com a situação atual da indústria no país (dependendo muito do contexto internacional para ter êxito) e diferente dos países pioneiros, as políticas de incentivo no Brasil conseguiram inserir a energia eólica na matriz energética brasileira. Em 2018, o Brasil foi considerado pela GWEC o sexto país com maior capacidade eólica *onshore* instalada e ficou em quinto lugar em volume de novos investimentos (GWEC, 2018). Além disso, segundo a ABEEÓLICA (2022), 12,1% da matriz energética no Brasil, em 2021, eram da energia eólica - atrás somente da energia hidráulica, que ainda possui a maior parcela da energia no Brasil. Desde o primeiro leilão exclusivo de energia eólica em 2009 até 2021, foram instaladas 22,0 GW de capacidade, separados em 812 parques eólicos, com mais de 9.200 de aerogeradores em operação, em 12 estados (ABEEÓLICA, 2022).

Gráfico 3 - Matriz energética brasileira em 2021



Os estados brasileiros que mais produzem energia eólica são o Rio Grande do Norte (4.066,1 MW), Bahia (3.935 MW) e Ceará (2.045,4MW) (MARINS, 2019). A região Nordeste é a que possui o maior número de usinas em operação, com 80% da produção de energia eólica do país, e onde está concentrada a maior parte das filiais, fábricas e até mesmo sedes de empreendimentos eólicos. Rennkamp et al. (2020) destacam a mudança econômica de dois municípios em que a produção da energia eólica se tornou a atividade principal. O primeiro exemplo é do “município agrícola Gentio do Ouro (BA), que, com apenas 11,2 mil habitantes, teve seu PIB aumentado de 57,6 milhões para R\$ 197,6 milhões de 2015 a 2016” (RENNKAMP et al., 2020, p. 191). O segundo exemplo é de outro município nordestino:

No município de João Câmara (RN), o PIB aumentou 90% entre 2008 e 2012 após o surgimento da atividade eólica, com 305 turbinas eólicas instaladas (IBGE, 2019). Em média, um parque eólico gera R\$ 1.300,00 mensais pelo arrendamento da terra (pode variar de acordo com a produção de energia), representando uma renda importante para diversas famílias rurais (Canal Bioenergia, 2019).” (IBGE, 2019; Canal Bioenergia, 2019 *apud* RENNKAMP et al., 2020, p. 191)

Com grande parte das empresas sendo instaladas na Região Nordeste, aponta-se a contribuição que o setor eólico teve para o desenvolvimento socioeconômico da região, considerada a mais pobre e com municípios com as piores classificações de Índice de Direito Humano (IDH). Porém, a geração de emprego pela indústria eólica permitiu a diminuição das disparidades regionais e maior inclusão social. A ABEEólica (2022) avalia que 11 postos de trabalho são criados no Brasil a cada MW instalado em 2021, e aproximadamente, 157,5 empregos diretos e indiretos pelo setor foram gerados entre 2009 e 2017. Brown (2011) estima que 10 a 50 empregos temporários foram gerados na construção por projeto, em nível local. Ele avalia que houve 0,5 empregos gerados por MW na manufatura e, entre 3 e 3,5 MW empregos no setor de construção, contabilizando cerca de 50.000 empregos criados, apenas no Ceará, até o início da década de 2010. Além da geração de empregos, vê-se, cada vez mais, a maior necessidade na capacitação dos trabalhadores de diversos níveis, principalmente, na área de desenvolvimento tecnológico que exige maiores investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Além dessa grande participação do Nordeste, é nas regiões Sul e Sudeste em que se concentram os fornecedores de insumos para pás. Por isso, é nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais que estão localizados

os fornecedores de componentes que constituem a nacela, o cubo e a torre (RENNKAMP et al., 2020). Todavia, em todo território nacional foram investidos 42,3 bilhões de dólares de 2010 a 2021 (ABEEÓLICA, 2022). No Brasil, nove empresas de montagem de turbinas eólicas foram instaladas após os programas de incentivo (RENNKAMP et al., 2020).

Quadro 5 - Capacidades anuais das principais empresas eólicas instaladas no Brasil

<i>Acciona</i>	300 MW
<i>Alstrom</i>	400 MW
<i>Gamesa</i>	400 MW
<i>GE</i>	1000 MW
<i>Vestas</i>	400 MW
<i>WEG</i>	200 MW
<i>Wobben/Enercon</i>	500 MW

Fonte: ABDI (2014) *apud* Rennkamp et al. (2020)

A empresa Siemens não informou a capacidade anual, mas está presente no Brasil. Em 2017, a indiana Suzlon deixou o mercado brasileiro porque não atendeu aos RCLs colocadas pelo BNDES (COSTA, 2017). Além disso, a empresa argentina Impsa entrou em processo de falência em 2014, segundo o Estadão (2016). Ademais, Siemens e Gamesa bem como Acciona e Nordex fundiram suas atividades no setor, e novas empresas como Aeris e LM iniciaram atividades no setor de pás em 2013 (RENNKAMP et al., 2020). Assim, em 2020, totalizam-se 6 fabricantes de aerogeradores credenciados no BNDES.

O investimento feito no setor eólico somado ao aumento da capacidade instalada ao passar dos anos, fez com que os custos médios de equipamentos diminuíssem, segundo EPE (2016) as despesas com equipamentos foram, em média, de 4.800 R\$/MW (1515 US\$/MW) para cerca de 3.500 R\$/MW (1.104 US\$/MW) entre 2009 e 2015. Ressalta-se que prevalece, no caso brasileiro, a patenteação de itens e componentes com baixo ou médio conteúdo tecnológico. Isso porque a indústria brasileira se viu com duas questões específicas: a primeira é a ininterrupção dos ventos; a costa brasileira, onde, geralmente, estão situados os

parques eólicos, possui ventos com velocidade e duração mais constantes comparada com outros países e, por isso, foi preciso avanço tecnológico (mesmo baixo) para garantir o funcionamento das turbinas apesar das condições diferenciada das massas de vento; a segunda é necessidade dos aerogeradores em suportar as condições geográficas das regiões costeiras, como a umidade, o sal e a areia que pode desgastar as lâminas e outros componentes, prejudicando a produção e aumentando custos com manutenção, por exemplo (RENNKAMP et al., 2020)

O crescimento do setor energético brasileiro tem sido tão forte que o País já é um exportador. Já em 2014, o Brasil se tornou um exportador de equipamentos como painel de controle, gerador, redutor de velocidade, torre, pás, capacitores e conversores de frequência (FERREIRA, 2021). Somente entre janeiro e março de 2020, o montante de exportações de itens e equipamentos eólicos no Brasil atingiu um recorde histórico de 46 milhões de dólares (NEVES, 2020 *apud* FERREIRA, 2021). Além dos mercados tradicionais, o Brasil tem sido um importante exportador para os países da América Latina, principalmente, os países da região da Cone Sul (área onde se situa Uruguai, Argentina e Chile). Esses países são potenciais importadores de equipamentos eólicos brasileiros porque esses países possuem uma insuficiência ou até mesmo ausência de uma cadeia produtiva nacional. Isso abre oportunidades para a indústria brasileira, afinal, a capacidade de produção nacional excede o mercado interno; por último, o Brasil possui uma vantagem nas condições de financiamento, com o BNDES, sendo o banco um dos únicos financiadores de longo prazo na América Latina (RENNKAMP et al., 2020). Portanto, esses motivos tornam o Brasil um grande potencializador para ser um essencial personagem do comércio internacional de itens e equipamentos eólicos na América Latina.

Por conseguinte, vê-se que as políticas de criação de mercado e as políticas industriais, apesar de um início caótico e de diversas contradições, tiveram êxito no Brasil. Iniciando-se pelo PROEÓLICA, partindo para o PROINFA e depois para o modelo de leilões, com RCLs e disponibilidade de crédito, a capacidade instalada no Brasil cresceu vertiginosamente. O Brasil saiu de 93 GWh instaladas em 2005 para 57.051 GWh instalados em 2020 (IEA, 2020). As consequências desse processo são a ampliação da energia eólica na matriz energética brasileira, a geração de empregos e o desenvolvimento regional, principalmente do Nordeste Brasileiro, onde se situa a

maior parte dos parque eólicos no Brasil, a chegada de empresa e de investimento estrangeiro voltados ao setor industrial eólico brasileiro que condicionou a queda dos custos médios de equipamentos eólicos e a baixa e média inovações tecnológicas para a adaptação às condições específicas brasileiras. Por último, o crescimento de exportações de equipamentos eólicos para mercados tradicionais e, principalmente, para países vizinhos que possuem um setor eólico fraco ou até inexistente, consolidando o Brasil como importante parceiro econômico regional, quando se trata de equipamentos e materiais do setor industrial eólico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aquecimento global e as mudanças climáticas são uma realidade e já afetam milhões de pessoas, por meio de mudanças nas temperaturas e no regime de chuvas. Todas essas mudanças são causadas pelos GEE que foram lançados desde o início da Revolução Industrial, com a mudança da matriz energética da lenha para o carvão e depois, adicionado o petróleo. A busca pela maior eficiência e produtividade, somados a um estilo de vida insustentável, torna o aquecimento global e as mudanças climáticas os principais inimigos do século XXI. Contudo, a questão energética é um protagonista neste processo histórico. Fontes de energia são necessárias para garantir a cadeia produtiva e o padrão de vida das populações. Por isso, deve-se analisar e discutir a questão energética de uma forma sustentável e que cesse de agredir o meio ambiente.

Ao analisar a matriz energética mundial, percebe-se que a maior parte dos países usam combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural para as principais atividades econômicas, como a produção industrial, o transporte e circulação de bens, serviços e pessoas e o consumo doméstico, por exemplo. Fontes de energia sustentáveis, como a energia eólica, devem ser estimuladas por meio de políticas de criação de mercado e políticas industriais que permitirão a entrada das fontes de energia renováveis na matriz energética nacional. Com o foco na energia eólica, Alemanha e Dinamarca são os primeiros países a implantar políticas de incentivo para a criação de uma indústria eólica nacional e depois, a geração de energia por fontes eólicas.

O Brasil também implementou políticas de criação de mercado e políticas industriais. A partir de 2001, depois de uma crise energética nacional, ocasionada pela dependência de energia hidráulica e falta de chuvas, implantou-se o PROEÓLICA com o objetivo de implantar outras fontes de energia na matriz energética brasileira, para garantir a segurança do abastecimento de energia. O Programa fracassou e foi substituído pelo PROINFA, que em sua primeira fase, usava-se do instrumento de Feed-In Tariffs (ou tarifas prêmio) com o objetivo de estimular a formação de novos produtores de energia eólica, priorizando os produtores independentes. Infelizmente, o PROINFA não vai para a segunda fase e o modelo de leilões é implantado, com até leilão exclusivo de energia eólica. Com um

novo formato, somados à crise financeira internacional, o Brasil se torna atrativo para investidores e empresas estrangeiras que desejam se instalar nacionalmente.

Além das políticas de criação de mercado, o Brasil também usou políticas industriais como a disponibilidade de crédito e financiamento, pelo BNDES e pelo BNB, atendendo ao RCL, que é a exigência imposta às empresas para utilizarem produtos e serviços de origem nacional para conseguirem uma linha de financiamento. As consequências dessas políticas foram a inserção da energia eólica na matriz energética brasileira que em 2021, é a segunda maior fonte de energia no Brasil, atrás somente da energia hidráulica, e a consolidação da indústria eólica brasileira, que gerou empregos, auxiliou no desenvolvimento regional do Nordeste e colocou o Brasil numa posição de exportador para mercados tradicionais, as também para os países da América Latina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Os bons ventos do Brasil. 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/>. Acesso em: 29 out. 2022

ANTUNES, Ricardo. **Fim do Trabalho? (Ou as Novas Formas do Trabalho Material e Imaterial)**. In: ANTUNES, Ricardo. ADEUS AO TRABALHO: ensaio sobre as metamorfoses e a centralidade do mundo do trabalho. Rio de Janeiro: Cortez Editora, 2006. p. 159-165.

BERGER, Roland (org.). **From Pioneer to Mainstream**: evolution of wind energy markets and implications for manufacturers and suppliers. Hamburg: Pdf, 2010. 32 slides, color.

BLANCO, María Isabel. **The economics of wind energy**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 13, n. 6-7, p. 1372-1382, ago. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.004>.

BNDES. **Manual de preenchimento da planilha de cálculo do índice de nacionalização**. 2015. Disponível em: <https://www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/Tutorial/Manual%20do%20Fabricante%20-%20Calculo%20do%20Indice%20de%20Nacionalizacao.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

BOETTCHER, Maicon. **Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0**. 2015. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 28 jun. 2022.

BRITANNICA. **Productivity**. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/productivity/Historical-trends>. Acesso em: 01 out. 2022.

CAMILLO, Edilaine Venancio. **As Políticas De Inovação Da Indústria De Energia Eólica: Uma Análise Do Caso Brasileiro Com Base No Estudo De Experiências Internacionais**. 2013. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

CCEE (Brasil). **Leilões**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/leilao-mercado>. Acesso em: 01 out. 2022

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gases do Efeito Estufa**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/31>. Acesso em: 31 out. 2022.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CORAZZA, Rosana Icassatti. **Inovação Tecnológica e Demandas Ambientais: notas sobre o caso da indústria brasileira de papel e celulose**. 1996. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. Cap. 1.

COSTA, Luciano. **Fabricante de turbina eólica Suzlon negocia manutenção com clientes após deixar Brasil....** - Veja mais em <https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2017/07/19/fabricante-de-turbina-eolica-suzlon-negocia-manutencao-com-clientes-apos-deixar-brasil.htm?cmpid=copiaecola>. 2017. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2017/07/19/fabricante-de-turbina-eolica-suzlon-negocia-manutencao-com-clientes-apos-deixar-brasil.htm>. Acesso em: 29 out. 2022.

DUTRA, Ricardo Marques. **Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA**. 2007. 415 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ECKSTEIN, David; KÜNZEL, Vera; SCHÄFER, Laura. **GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2021: who suffers most from extreme weather events?** Weather-related loss events in 2019 and 2000 to 2019. Munich: Germanwatch, 2021. 52 p. Disponível em: <https://www.germanwatch.org/en/19777>. Acesso em: 01 jul. 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Leilão de energia eólica tem 10.000 MW habilitados pela EPE.** Informe À Imprensa Leilão de Energia de Reserva – Eólica. Rio de Janeiro, p. 1-2. 14 dez. 2009. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-90/20091214_1.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia. Rio de Janeiro: Epe, 2016.

EPE (org.). **Leilões de Fontes Alternativas contratam 89 usinas, com 2.892,2 MW.** Informe À Imprensa Leilão de Energia de Reserva – Eólica. Rio de Janeiro, p. 1-3. 26 ago. 2010. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-90/20091214_1.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

EPE. **Fontes de Energia.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 01 nov. 2022.

EPOWERBAY. **LEILÃO A-6 2018 - RESULTADOS.** 2018. Disponível em: <https://www.epowerbay.com/single-post/2018/08/31/leilao-a-6-2018-resultados#:~:text=O%20destaque%20foi%20a%20fonte,dispon%C3%ADwhatsapp%20webeis%2C%2064%25%20do%20total..> Acesso em: 01 out. 2022.

FERREIRA, Welinton. **Política de Conteúdo Local e energia eólica: o caso do sucesso brasileiro.** 2021. Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/politica-de-conteudo-local-e-energia-eolica-o-caso-do-sucesso-brasileiro/>. Acesso em: 31 out. 2022.

GWEC/ABEEÓLICA (org.). **Analysis of the regulatory framework for wind power generation in Brazil: summary report.** [S.l.]: Gwec/Abeeólica, 2011.

IEA - INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Data and Statistics.** 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?energy%5B0%5D=hydropower>. Acesso em: 30 jun. 2022.

IEA - INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity Market Report - January 2022.** 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022>. Acesso em: 02 ago. 2022.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA Renewables Information. 2020. Disponível em: IEA Renewables Information <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/renewables-information>. Acesso em: 10 nov. 2022

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Transição Energética e Potencial de Cooperação nos Brics.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br>. Acesso em: 02 jun. 2022.

IPCC, 2021: **Sumário para Formuladores de Políticas. Em: Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física.** Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. No Prelo

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Power Generation Costs in 2020.** 2021. Disponível em: <https://irena.sharepoint.com/:x:/s/statistics-public/Ee-hGJgEsfBFtBD1XyF2HooB5TugUiUZG3D-T09NX3ZGew?rttime=w2IEcRTX2kg>. Acesso em: 12 out. 2022.

JONES, Geoffrey; BOUAMANE, Loubna. **Historical Trajectories and Corporate Competences in Wind Energy**. 2011. Harvard Business School. Disponível em: https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/11-112_05079f6f-9952-43fe-9392-71f3001ceae4.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

JORNAL OFICIAL DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Luxemburgo, 27 jun. 1985. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31985L0337&from=EN>. Acesso em: 29 jun. 2022.

KIMMELMAN, Michael. **The Dutch Have Solutions to Rising Seas**. The World Is Watching. The New York Times. Nova York, p. 1-4. 15 jun. 2017. Disponível em: <https://www.nytimes.com/interactive/2017/06/15/world/europe/climate-change-rotterdam.html>. Acesso em: 29 set. 2022.

LEMA, Rasmus; BERGER, Axel; SCHMITZ, Hubert; SONG, Hong. **Competition and Cooperation between Europe and China in the Wind Power Sector**. Ids Working Papers, [S.L.], v. 2011, n. 377, p. 1-45, out. 2011. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.2040-0209.2011.00377_2.x.

LUCCHESI, Celso Fernando. Petróleo. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 12, n. 33, p. 17-40, ago. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40141998000200003>.

MALAR, João Pedro. **Entenda como funciona a energia eólica offshore, que é gerada no mar**. Cnn Brasil. São Paulo, p. 1-1. 09 fev. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/entenda-como-funciona-a-energia-eolica-offshore-que-e-gerada-no-mar/>. Acesso em: 30 jul. 2022.

MEYER, Niels I. **European schemes for promoting renewables in liberalised markets**. Energy Policy, [S.L.], v. 31, n. 7, p. 665-676, jun. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-4215\(02\)00151-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-4215(02)00151-9)

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ASSOCIATION). **Global Time Series**. 2022. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>. Acesso em: 02 jun. 2022.

NOGUEIRA, Larissa Pinheiro Pupo. **ESTADO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS PARA A INDÚSTRIA EÓLICA NO BRASIL**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

OCDE, Organização Para A Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Overcoming Barriers to International Investment in Clean Energy**. Green Finance And Investment, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 47-87, 9 jun. 2015. OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264227064-en>.

OLIVEIRA, Ana Paula Moreira de; FUGANHOLI, Nicola Sgrignoli; CUNHA, Pedro Henrique de Souza; BARELLI, Vivian Aparecida; BUNEL, Maxime Philippe Michel; NOVAZZI, Luís Fernando. **Análise Técnica E Econômica De Fontes De Energia Renováveis**. The Journal Of Engineering And Exact Sciences, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 0163-0169, 2 mar. 2018. Universidade Federal de Vicosá

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz et al (org.). **Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização indústria**. Rio de Janeiro: Elsevier, Editora Ltda, 2007.

PINTO, Lucía Iracema Chipponelli; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. **O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais**. Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1082, 23 nov. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2064>.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos De Energia Eólica**. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2012.

PODCAMENI, Maria Gabriela von Bochkor. **SISTEMAS DE INOVAÇÃO E ENERGIA EÓLICA: a experiência brasileira**. 2014. 364 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza. Justiça Ambiental. In: DIAS, Alexandre Pessoa et al (org.). **Dicionário de Agroecologia e Educação**. Rio de Janeiro e São Paulo: Expressão Popular, 2021. p. 469-477

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 31, n. 89, p. 271-283, abr. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>.

QIU, Larry D.; TAO, Zhigang. **Export, foreign direct investment, and local content requirement**. Journal Of Development Economics, [S.L.], v. 66, n. 1, p. 101-125, out. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0304-3878\(01\)00157-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0304-3878(01)00157-2).

RAWORTH, Kate. **Economia**

Donut: Uma alternativa ao crescimento a qualquer custo. [S.I]: Zahar, 2019. 368 p. Tradução de: George Schlesinger.

RENNKAMP, Britta et al. **Política de conteúdo local e incentivos financeiros no mercado de energia eólica no Brasil**. Santiago: Comissão Econômica Para A América Latina e O Caribe (Cepal), 2020.

SACHS, Ignacy. O desafio do meio ambiente. In: SACHS, Ignacy. **Rumo a Ecosioeconomia**. [S.I]: Editora Cortez, 2007. Cap. 9. p. 201-246.

SILVEIRA, Ana Cristina da; SPAREMBERGER, Raquel Fabiana Lopes. **A relação homem e meio ambiente e a reparação do dano ambiental: reflexões sobre a**

crise ambiental e a teoria do risco na sociedade. Disponível em: https://www.diritto.it/pdf_archive/24618.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

THE GUARDIAN. **Timeline: The history of wind power.** 2008. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2008/oct/17/wind-power-renewable-energy>. Acesso em: 29 set. 2022.

VELOSO, Francisco M... **UNDERSTANDING LOCAL CONTENT DECISIONS: economic analysis and an application to the automotive industry.** Journal Of Regional Science, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 747-772, out. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9787.2006.00476.x>.

WACHSMANN, U; TOLMASQUIM, M.T. **Wind power in Brazil—transition using German experience.** Renewable Energy, [S.L.], v. 28, n. 7, p. 1029-1038, jun. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-1481\(02\)00212-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-1481(02)00212-4).