

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS, ESTRATÉGIAS E
DESENVOLVIMENTO

BRUNO PLATTEK DE ARAÚJO

**O DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS SISTÊMICAS NA ÁREA DE
ENERGIA**

Uma análise a partir das políticas implementadas para a expansão da capacidade de geração de
energia eólica no Brasil

Rio de Janeiro
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS, ESTRATÉGIAS E
DESENVOLVIMENTO

**O DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS SISTÊMICAS NA ÁREA DE
ENERGIA**

Uma análise a partir das políticas implementadas para a expansão da capacidade de geração de energia eólica no Brasil

Bruno Plattek de Araújo

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento (PPED), do Instituto de Economia (IE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Gerson Pessoa de Matos

Co-orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Marina Honório de Souza Szapiro

Rio de Janeiro, RJ

PPED / IE / UFRJ

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

A663d Araújo, Bruno Plattek de.
O desenvolvimento de políticas industriais sistêmicas na área de energia: uma análise a partir das políticas implementadas para a expansão da capacidade de geração de energia eólica no Brasil / Bruno Plattek de Araújo. - 2025.
259 f.

Orientador: Marcelo Gerson Pessoa de Matos.

Coorientadora: Marina Honório de Souza Szapiro.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, 2025.

Bibliografia: f. 235 – 246.

1. Política industrial. 2. Energia eólica. 3. Sistema Nacional de Inovação. I. Matos, Marcelo Gerson Pessoa de, orient. II. Szapiro, Marina Honório de Souza, coorient. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. IV. Título.

CDD 338.9

Bruno Plattek de Araújo

O DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS SISTÊMICAS NA ÁREA DE ENERGIA: uma análise a partir das políticas implementadas para a expansão da capacidade de geração de energia eólica no Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento (PPED), do Instituto de Economia (IE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Gerson Pessoa de Matos – Orientador
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof^a. Dr^a. Marina Honório de Souza Szapiro – Co-Orientadora
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Hélder Queiroz Pinto Junior – Avaliador Interno
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. José Eduardo Cassiolato – Avaliador Externo
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof^a. Dr^a. Maria Gabriela Von Bochkor Podcameni – Avaliadora Externa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Dr. Thiago de Holanda Lima Miguez – Avaliador Externo
BNDES

Rio de Janeiro, 11 de fevereiro de 2025

*Dedico este trabalho à Joana,
minha companheira e alma gêmea,
às nossas filhas Cecília e Maitê e
aos meus pais, André e Dora, meus
amores, fontes de todo o carinho e
força para a luta que é a vida.*

Viva o Brasil e o povo brasileiro!

"Muchos años después, frente al pelotón de fusilamiento, el coronel Aureliano Buendía había de recordar aquella tarde remota em que su padre lo llevó a conocer el hielo" Gabriel García Márquez

Agradecimentos

Conduzir uma pesquisa de doutorado é, ao mesmo tempo, a realização de um sonho e um ato de coragem de enfrentar novos desafios. Olhando em retrospectiva, percebo que o período em que me dediquei ao doutorado representou um desafio de proporções que eu não poderia imaginar ao decidir ingressar no Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento (PPED/IE/UFRJ), no já distante ano de 2018.

Durante essa jornada, atravessamos por uma pandemia, vivi a imensa felicidade do nascimento de minha segunda filha, a pequena e esperta Maitê, e assistimos o ressurgimento da extrema direita, trazendo ideias que nos fazem colocar em dúvida a crença na sociedade em que vivemos. Passamos por diferentes governos, crises econômicas e políticas no Brasil e no mundo. Esses foram anos turbulentos, marcados por algumas grandes alegrias – o que dizer do meu Fluminense Campeão da América em 2023!?! – e, sobretudo, muita apreensão. Elaborar a presente tese só foi possível pelo apoio de tantos familiares, amigos, professores, pesquisadores, colegas de trabalho e da universidade.

Fico especialmente grato por ter realizado a pesquisa em uma instituição como a UFRJ, universidade pública e de excelência. Frequentar o campus da praia vermelha, ser aluno do Programa de Pós-graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, e caminhar pelos corredores do Instituto de Economia, sempre foram motivos de muito orgulho para mim. Fico muito honrado de ter estudado e concluído meu doutorado em uma instituição que admiro tanto. Meu sincero agradecimento a todos os professores e funcionários do Instituto de Economia.

Conciliar o doutorado com minha atividade profissional foi um desafio adicional. Sou grato ao BNDES pelo apoio no último ano do doutorado, concedendo um dia útil livre na semana para que eu pudesse me dedicar à pesquisa. Esse apoio só foi possível graças à compreensão e incentivo de meus chefes. Fica aqui um agradecimento à Flávia Kickinger, João Pieroni e José Gordon. Um obrigado também aos colegas de equipe pela parceria durante esse tempo, Paulo Villarim, Carlos Henrique Duarte, Carlos Eduardo Cavalcanti e Simeão Corrêa.

Gostaria de agradecer aos colegas do trabalho que de alguma forma contribuíram com esta tese, arrisco-me a citar alguns, Gabriel Daudt, Sérgio Schmitt, Thiago Miguez, Celina Tura, Ana Costa, Luiz Daniel Willcox, Ricardo Cunha, Rodrigo Parra e Sandro Peixoto. Um agradecimento especial ao querido José Antônio Pereira de Souza pelas ideias, referências, revisões e, sobretudo, pelas sempre prazerosas conversas.

Agradeço também à Carla Primavera, Nelson Siffert, William Saab, Guilherme Oliveira, Lucas Moura, João Carlos Ferraz, Elbia Gannoum, Luciano Sousa, Thiago Ivanovski, Marisete Pereira, Maurício Tolmasquim, Eduardo Tosta, Rodrigo Ugarte e Jorge Boeira que ajudaram a compreender os desafios da construção da política industrial eólica. Em nome deles, registro meu reconhecimento a todos os profissionais, sem os quais essa história não teria acontecido e não poderia ser contada.

Meus orientadores merecem uma citação especial. Agradeço aos Professores Marcelo Gerson Pessoa de Matos e Marina Honório de Souza Szapiro, que aceitaram me orientar em meu retorno de período de trancamento de matrícula após a pandemia de COVID-19. Reorganizar a pesquisa após período tão complicado só foi possível pela orientação atenta e cuidadosa que recebi. As interações e conversas foram sempre tão cordiais e um aprendizado enorme para mim.

Uma menção em particular à Gabriela Podcameni, que estudou a fundo a indústria eólica em seu doutorado concluído em 2014, uma importante referência dessa tese. Outra ao André Lucena, professor do PPE/COPPE/UFRJ, a quem recorri muitas vezes para assuntos do setor de energia.

Esse agradecimento se estende a todos os meus amigos. A vida é mais divertida por causa de vocês.

Agradeço à toda a minha família, meu porto seguro, onde encontro o mais sublime afeto. Aos meus tios, Alis, Mihai, Mauro, Izabel, Alexandre, Luzi, Sandra, Eduardo, Betty e Beijamin. Aos meus primos, Irene, Daniel, César, Xuxu, Luca, Duda, Alexandre, Paloma, Pedro, Gabi e Júlia. Zi, obrigado, você é demais. Di, Bianca e Alice, espero podermos estar mais vezes juntos. Bruno, meu xará e amigo. Márcia, Dudu, Sônia, Ema, Cao, Aninha, Nica, Fábio, Vi, Renata, Gu, Mari, Guto, Marcela e Wanda, amo vocês. Um abraço apertado em todos os nossos filhos. Waltinho, oxalá. Fábio, meu tricolor preferido, orgulho tê-lo conhecido, sinto falta das nossas conversas. Aos meus avós, Nathan e Helena, Ary e Elvira, que começaram tudo isso e foram tão valentes na vida. À “Ia”, minha segunda mãe, por tanto e por tudo. Ao meu irmão, Júlio, meu parceiro e amigo, e à sua linda família, Fernanda e a sapeca Alice. Obrigado queridos, vamos em frente, juntos!

À minha mãe, Dora, a quem admiro e tenho tanto amor e carinho, muito obrigado. És forte. Adoro estar contigo, adoro você rindo, adoro vê-la com a Cecília e a Maitê.

Agradeço à minha querida Joana, companheira de todas as horas, razão do meu riso. Pelo amor que nos une, pela ternura dos teus gestos, pelo apoio que tranquiliza e acalma, pela alegria que ilumina cada instante ao teu lado. Dividir contigo tantos momentos é o que há de mais especial em minha vida. Palavras seriam muitas, mas no fundo, só preciso de duas que resumem tudo: te amo.

Cecília e Maitê, papai ama muito vocês. Sejam sempre muito alegres e felizes. Cantem, dançam, façam muitos amigos, se apaixonem pela vida e pelas pessoas. Guardem com muito carinho a curiosidade de entender o mundo. Obrigado por serem duas filhotas tão queridas e carinhosas.

Por fim, agradeço ao meu pai, André, meu melhor amigo, por ter me levado tantas e tantas vezes a “conhecer o gelo”, tal qual José Arcadio Buendía fez com seu filho Aureliano em Macondo.

“O ponto de partida de qualquer novo projeto alternativo de nação terá que ser, inevitavelmente, o aumento da participação e do poder do povo nos centros de decisão do país.”

CELSO FURTADO

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva reponsabilidade do autor

Resumo

As políticas industriais são um tema central no debate sobre a agenda de desenvolvimento. No século XXI, as políticas industriais deverão estar articuladas a estratégias de desenvolvimento voltadas ao enfrentamento da emergência climática, à geração de emprego e renda e à redução da pobreza e da desigualdade. Nesse contexto, o desenvolvimento da energia eólica no Brasil destaca-se como um dos exemplos de políticas industriais implementadas nas últimas duas décadas no país que teve resultados positivos para o adensamento produtivo. Por isso e por ser uma política orientada ao desenvolvimento de uma fonte renovável de energia, essa experiência oferece uma oportunidade para aprofundar o debate sobre a formulação e a implementação das políticas industriais. Com base no referencial teórico dos sistemas de inovação, esta tese desenvolveu um modelo analítico que organiza as principais dimensões a serem consideradas no processo de estruturação de políticas industriais sistêmicas. Utilizando esse modelo, foi realizada uma análise das duas décadas de implementação da política industrial eólica no Brasil. Essa análise abrangeu a indústria eólica global e local, as experiências de desenvolvimento dessa indústria nos Estados Unidos da América (EUA) e na China e as políticas implementadas no Brasil. Essas foram classificadas em três categorias: políticas de formação do mercado de geração de energia eólica (Proinfa, leilões e mercado livre de energia), políticas de financiamento ao investimento em geração de energia (financiamentos do BNDES à infraestrutura de energia e sua política de conteúdo local) e políticas de financiamento à inovação e à cadeia produtiva (Programa P&D Aneel, financiamentos do BNDES à indústria e financiamentos da Finep à inovação). Os resultados mostram que a política industrial eólica foi orientada pela demanda (“*demand-led*”) e evoluiu em três fases: uma fase inicial de aprendizado no contexto da política entre 2002 e 2009, uma fase de aceleração do desenvolvimento dessa indústria entre 2009 e 2016 e uma fase de transição, marcada pela mudança da demanda dos leilões de energia para o mercado livre, e crise na cadeia produtiva de aerogeradores em 2024. Cada uma delas teve impactos distintos para o adensamento da cadeia produtiva de aerogeradores. A tese conclui que, especialmente em sua segunda fase, a política industrial eólica foi bem-sucedida na atração de investimento para os parques de geração de energia e no fortalecimento da base produtiva local, incluindo a diversificação de indústrias já consolidadas no país para a indústria eólica. Contudo, identificou-se, em todo o ciclo da política, uma inserção limitada de empresas nacionais nos elos estratégicos da cadeia produtiva, como a fabricação de aerogeradores. A gestão da demanda por aerogeradores e a capacidade da política em incentivar a cooperação entre os diferentes agentes do Sistema Nacional de Inovação foram aspectos cruciais para os resultados obtidos. Entre as recomendações para as futuras políticas industriais na área de energia, destaca-se a importância de adotar uma abordagem sistêmica orientada por desafios nacionais, com capacidade de coordenar a demanda por bens e serviços de forma articulada às políticas de financiamento à indústria e à inovação. Além disso, recomenda-se fortalecer as capacidades inovadoras das organizações públicas responsáveis pela execução das políticas.

Palavras-chave: Políticas Industriais, Energia Eólica e Sistema Nacional de Inovação.

Abstract

Industrial policies are a central theme in the debate on the development agenda. In the 21st century, industrial policies should be part of the development strategies aimed at addressing the climate emergency, generating jobs and income, and reducing poverty and inequality. In this context, the development of wind energy stands out as one of the cases of industrial policies implemented over the past two decades in Brazil that yielded significant results for industry development. For this reason, and because it focuses on the development of a renewable energy, this experience is particularly relevant for advancing the debate on designing industrial policies in the energy sector. Based on the theoretical framework of innovation systems, this thesis developed an analytical model that organizes the main dimensions to be considered in the process of structuring systemic industrial policies. Using this model, the thesis analyzed two decades of implementation of Brazil's wind energy industrial policy. The analysis covered the global and local wind industry dynamics, the development experiences of wind industry in the United States of America (USA) and China, and the policies implemented in Brazil. These policies were organized into three categories: market formation policies for wind power generation (Proinfra, energy auctions, and the free energy market), investment financing policies for energy generation (BNDES financing for energy infrastructure and its local content policy), and innovation and supply chain financing policies (Program R&D Aneel, BNDES financing for the industry, and Finep funding for innovation). The results indicate that Brazil's wind industrial policy was demand-led and evolved through three distinct phases: an initial learning phase from 2002 to 2009, an acceleration phase of industrial development from 2009 to 2016, and a transition phase marked by a shift from energy demand driven by auctions to the free market, alongside a crisis in the wind turbine supply chain in 2024. Each phase had distinct impacts on the wind turbine supply chain. The thesis concludes that, particularly in its second phase, the wind industrial policy was successful in attracting investments in wind power generation and fostering a local supply chain, including the diversification of established industries into the wind sector. However, throughout the entire policy cycle, it was characterized by the limited inclusion of domestic companies in the strategic segments of the supply chain, such as wind turbine manufacturing. The management of wind turbine demand and the policy's ability to foster cooperation among the actors in the National Innovation System were crucial factors in the outcomes achieved. Among the recommendations for future industrial policies in the energy sector, the thesis highlights the importance of adopting a systemic approach guided by national challenges. This approach should integrate the coordination of demand for goods and services with financing policies for industry and innovation. Furthermore, it is recommended to strengthen the innovative capabilities of public organizations responsible for policy execution.

Keywords: Industrial Policies, Wind Energy, National Innovation System.

Índice de gráficos, tabelas e figuras:

Gráficos:

Gráfico 1 – Geração de eletricidade por fonte no mundo, 1990-2022	83
Gráfico 2 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade no mundo (GW)	84
Gráfico 3 – Adição de capacidade de geração de energia eólica por região geográfica global entre 2013 e 2022 (GW)	85
Gráfico 4 – Dez países com maiores capacidades instaladas de geração de energia eólica até 2022 (MW)	85
Gráfico 5 – Adição anual de capacidade de geração de energia eólica nos cinco maiores mercados em 2022	86
Gráfico 6 – Participação de mercado dos fabricantes globais de turbinas eólicas por pedidos recebidos (GW, 2022)	87
Gráfico 7 – Adição anual de capacidade de geração de energia eólica dos principais fabricantes de aerogeradores	88
Gráfico 8 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade nos EUA (GW)	99
Gráfico 9 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade na China (GW)	104
Gráfico 10 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade no Brasil (GW)	112
Gráfico 11 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e preço de contratação no Proinfa e nos leilões	121
Gráfico 12 – Financiamento à geração eólica pelo BNDES e investimento total nos projetos financiados	129
Gráfico 13 – Financiamento à inovação por meio da subvenção econômica e não-reembolsável ICT-empresa	137
Gráfico 14 – Financiamento à inovação por meio de linhas de crédito da Finep (R\$ bilhões na data da contratação)	139
Gráfico 15 – Financiamento à indústria no BNDES	140
Gráfico 16 – Crescimento anual do PIB brasileiro (% A/A-1)	154
Gráfico 17 – Formação Bruta de Capital Fixo no Brasil (% PIB)	154
Gráfico 18 – Taxa de Juros no Brasil (% a.a., média anual)	155
Gráfico 19 – Inflação medida pelo IPCA no Brasil (% acumulado do ano)	156
Gráfico 20 – Taxa de câmbio (R\$ / USD, média anual)	156

Tabelas:

Tabela 1 – Dimensões e propriedades das tecnologias.	63
Tabela 2 – As dimensões de análise das políticas industriais sistêmicas	80
Tabela 3 – As dimensões de análise e suas referências bibliográficas	81
Tabela 4 – Participação nos custos dos aerogeradores onshore	92
Tabela 5 – Mecanismos de incentivo à indústria eólica	111
Tabela 6 – Políticas de incentivo à indústria eólica no Brasil	114
Tabela 7 – Resultados do Proinfa	116
Tabela 8 – Resultados do Proinfa por estado e para a fonte eólica	116
Tabela 9 – Geração eólica 2005-24: capacidade instalada, investimentos e apoio do BNDES	129
Tabela 10 – Organização das entrevistas da pesquisa de campo	152
Tabela 11 – Crescimento médio anual da FBCF total das atividades, 2000-2018	155
Tabela 12 – Avaliação dos entrevistados sobre os instrumentos da política	178
Tabela 13 – Avaliação dos entrevistados sobre as bases de conhecimento da indústria eólica	210
Tabela 14 – Regimes tecnológicos da cadeia produtiva de aerogeradores	216

Figuras:

Figura 1 – A visão restrita e ampla do SNI e seus subsistemas	47
Figura 2 – Indústria eólica	90
Figura 3 – Principais componentes do aerogerador de eixo horizontal.	91
Figura 4 – Evolução tecnológica dos aerogeradores onshore e offshore	93
Figura 5 – Sistema aerodinâmico dos aerogeradores	95
Figura 6 – Geração de energia eólica nos estados da federação dos EUA e a localização da cadeia produtiva	101
Figura 7 – Gargalos na cadeia global de suprimentos de aerogeradores	109
Figura 8 – Sistema Elétrico Brasileiro	117
Figura 9 – Linha do tempo das políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil	142
Figura 10 – Sistema nacional de inovação de energia eólica	147
Figura 11 – Cadeia produtiva de aerogeradores no Brasil em 2013	219
Figura 12 – Cadeia produtiva de aerogeradores no Brasil em 2016	219

LISTA DE SIGLAS

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNB	Banco do Nordeste do Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CFI	Cadastro de Fornecedores Informatizado
CNDI	Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COP	Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
C&T	Ciência e Tecnologia
DoE	U.S. Department of Energy
EMN	Empresa Multinacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAT	Fundo de Amparo ao Trabalhador
FINAME	Agência Especial de Financiamento Industrial
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento à Ciência e Tecnologia
FNE	Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste
GEE	Gases de Efeito Estufa
IED	Investimento Estrangeiro Direto
IF	Instituição Financeira
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MME	Ministério de Minas e Energia
NIB	Nova Indústria Brasil
NMCA	Nova Metodologia de Credenciamento de Aerogeradores
NMCG	Nova Metodologia de Credenciamento Geral
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OEM	Original Equipment Manufacturer
PBM	Plano Brasil Maior
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo
PITCE	Política Industrial Tecnológica e de Comércio Exterior

PNE	Plano Nacional de Energia
PNPi	Planos de Nacionalização Progressiva individuais
PPAs	Power Purchase Agreements
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa)
PSI	Programa de Sustentação do Investimento
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SNI	Sistema Nacional de Inovação
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TLP	Taxa de Longo Prazo
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo

Sumário

Agradecimentos	6
Resumo	9
Abstract	10
Introdução	15
1. Referencial teórico	29
1.1. Metodologia	30
1.2. Políticas industriais e desenvolvimento econômico: um breve histórico	31
1.3. A economia neoschumpeteriana: conceitos, modelos e a formulação sistêmica.....	35
1.4. A abordagem de sistemas de inovação	44
1.5. Implicações da abordagem de sistemas de inovação para as políticas industriais.....	48
1.6. Um olhar evolucionário sobre as organizações públicas	55
1.7. Regimes tecnológicos e as estruturas industriais	61
1.8. Considerações sobre a gestão de conflitos nas políticas industriais	65
1.9. Conclusão do capítulo: modelo analítico das políticas industriais sistêmicas	75
2. Indústria de energia eólica	82
2.1. A energia eólica no mundo	83
2.2. Engenharia, tecnologia e a cadeia produtiva de aerogeradores	89
2.3. Políticas industriais: os casos dos EUA e China.....	98
2.4. Conclusão do capítulo.....	109
3. Políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil.....	112
3.1. Políticas de formação do mercado de geração eólica	114
3.2. Políticas de financiamento ao investimento em geração eólica.....	124
3.3. Políticas de financiamento à inovação e à cadeia produtiva.....	134
3.4. Conclusão do capítulo.....	141
4. SNI de energia eólica e análise das políticas industriais.....	146
4.1. Metodologia da pesquisa de campo	151
4.2. Análise das políticas e do SNI de energia eólica a partir da visão sistêmica.....	152
4.3. Análise das organizações públicas e da inovação nas políticas	181
4.4. Análise dos regimes tecnológicos e as estruturas industriais.....	200
4.5. A cadeia produtiva de aerogeradores resultante da política.....	218
4.6. Conclusão do capítulo.....	220
5. Conclusão da tese.....	223
6. Bibliografia	235

“Ser dialético significa ter o vento da história mundial em suas velas. As velas são os conceitos. Mas não basta dispor das velas. O que é decisivo é a arte de poder içá-las.” Walter Benjamin

Introdução

Emergência climática e a agenda de desenvolvimento no século XXI

A emergência climática, a pobreza e os elevados e crescentes níveis de desigualdade em nossa sociedade demandam um debate sobre quais serão as estratégias de desenvolvimento no século XXI. A agenda do desenvolvimento precisa se adaptar à realidade de um planeta no qual a sobrevivência da espécie humana vai depender da capacidade de organização de nossas sociedades para enfrentar o aquecimento global. Ao mesmo tempo, uma desigualdade em expansão e os já elevados níveis de pobreza redobram o desafio de construção de uma agenda de desenvolvimento que seja ambientalmente sustentável e socialmente justa.

Essas são questões especialmente importantes para os países em desenvolvimento. Estes países concentram o maior número de pessoas em situação de pobreza e, em muitos casos como no Brasil, a pobreza é acompanhada de níveis elevadíssimos de concentração de renda. Quando se observa o contexto global, a disparidade econômica e social entre países desenvolvidos e em desenvolvimento é cada vez maior (Piketty, 2014).

A transição para uma economia de baixo carbono deve, portanto, ser um processo inclusivo que considere a necessidade de criação de empregos e contribua para o desenvolvimento econômico e social nos diferentes países. O desenvolvimento de novas indústrias “verdes” nos países em desenvolvimento é importante nesse contexto.

A emergência climática, no entanto, impõe um duplo desafio para a construção desta agenda nos países em desenvolvimento. Primeiro, estratégias de emparelhamento e modelos de desenvolvimento intensivos em carbono e baseados em recursos não renováveis como os combustíveis fósseis, outrora amplamente utilizados pelos países em seus processos de desenvolvimento, não são uma opção razoável no atual momento.

Essas seriam estratégias não alinhadas ao necessário enfrentamento da emergência climática e encontrariam obstáculos para sua implementação, relacionadas às diversas iniciativas da agenda climática internacional, como a adoção de regulamentações ambientais e barreiras regionais de comércio associados aos objetivos de descarbonização, que restringem o acesso a mercados, ou mesmo devido às mudanças no padrão de consumo que já vêm ocorrendo (IPCC, 2022).

Segundo, é provável que as populações dos países em desenvolvimento sejam mais afetadas pelos efeitos das mudanças climáticas, implicando custos crescentes de mitigação dos impactos sofridos. As economias desses países têm uma parcela significativa de suas atividades econômicas de geração de riqueza baseadas em recursos naturais e na agricultura, que são particularmente vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. Essas atividades também estão mais expostas aos chamados riscos de transição climática, aqueles decorrentes das mudanças na preferência dos consumidores e no padrão de consumo, de novos requisitos regulatórios e da implementação de políticas públicas que tenham relação com o processo de transição para um modelo de desenvolvimento menos intensivo em carbono.

Sem uma estratégia de desenvolvimento capaz de dar respostas a esses desafios, é possível que *“no cenário global da descarbonização as disparidades econômicas entre os países aumentem, com as nações mais pobres sendo deixadas – e talvez até empurradas – para trás na geografia industrial da descarbonização”* (Lebdioui, 2024, pg. 2).

Mas no que consistiria essa agenda para os países em desenvolvimento? Quais as abordagens que permitem combinar o desenvolvimento social e sustentável? A indústria permanece como uma alternativa para o desenvolvimento desses países? A “industrialização verde” é uma alternativa viável como estratégia de emparelhamento para os países em desenvolvimento? As políticas industriais serão relevantes nesse processo? E como deveriam ser desenhadas e implementadas?

Essas são algumas das perguntas que devem ser respondidas no debate sobre qual a agenda de desenvolvimento se deseja construir e implementar. Com base no referencial teórico da economia da inovação (evolucionária / neoschumpeteriana / sistemas de inovação) e do desenvolvimento (estruturalista e institucionalista), a presente pesquisa defende que a indústria e as políticas industriais permanecem importantes para a agenda de desenvolvimento no século XXI e serão essenciais para viabilizar a transição para uma economia de baixo carbono que alinhe os objetivos de desenvolvimento social e sustentável.

A partir disso, explora especificamente o processo de elaboração e implementação de políticas industriais sistêmicas na área de energias renováveis, investigando a experiência recente de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil, com o objetivo de refletir sobre os futuros caminhos para a elaboração de novas políticas industriais na área de energia. A seguir são apresentados alguns dos fundamentos que justificam essa abordagem e que serão aprofundados no decorrer desta tese.

Industrialização verde, um caminho para o desenvolvimento?

Diversos serão os desafios presentes no processo de transição para uma economia de baixo carbono. No campo do desenvolvimento tecnológico, muitas das soluções que serão necessárias ainda não existem ou, quando já tecnicamente disponíveis, são, na maior parte dos casos, mais custosas do que as tecnologias baseadas em insumos não renováveis amplamente utilizadas no atual paradigma tecno-econômico.

As tecnologias “verdes” deverão substituir as energias de origem fóssil pelas renováveis mudando o padrão das matrizes energéticas, viabilizar o uso de combustíveis limpos para a descarbonização do setor de transportes, aumentar a eficiência energética e produtiva reduzindo o consumo de energia, permitir um uso mais racional dos recursos naturais e dos insumos, além de reorientar a produção agroindustrial e o uso da terra para paradigmas produtivos baseados na sustentabilidade.

A transição energética enfrentará grandes desafios para substituir tecnologias desenvolvidas e infraestruturas constituídas por investimentos maciços já realizados e que definem o padrão de desenvolvimento atual baseado em fontes de energias não renováveis, com destaque para o petróleo, o carvão mineral e o gás natural.

Nesse contexto, as etapas de pesquisa e desenvolvimento das novas tecnologias verdes deverão ser acompanhadas de políticas focadas em acelerar o seu processo de amadurecimento e em alavancar o investimento em novas infraestruturas de energia, impulsionando os ganhos de escala, a formação de novas estruturas produtivas e a reorientação das estruturas produtivas existentes. Essas serão condições para viabilizar a redução dos custos e a competitividade dessas novas tecnologias frente às energias não renováveis, incentivando sua ampla difusão nas diferentes economias. Sem políticas estruturantes e grande capacidade de coordenação entre os países, é mais provável que o processo de transição energética seja lento e gradual.

As atividades industriais e intensivas em conhecimento serão relevantes nesse processo, não apenas para o desenvolvimento e a redução dos custos que impulsionam a adoção das tecnologias verdes, mas também pela dimensão social. São justamente estas atividades que permitem os retornos crescentes de escala, onde a concorrência imperfeita e dinâmica e os efeitos de sinergia entre diferentes atividades impulsionam a inovação e os ganhos de produtividade.

Esses são aspectos relevantes no sistema capitalista para que se criem os ganhos sistêmicos nas diferentes atividades da economia que geram rendas que, se acompanhadas de um ambiente político e um arranjo institucional favorável, podem ser distribuídas de maneira mais equânime entre os capitalistas, na forma de maiores lucros, os trabalhadores, na forma de maiores salários e os governos, na forma de maior arrecadação.

Nas palavras de Erik Reinert: “O que chamamos de desenvolvimento econômico é, no seu âmago, uma renda criada por poderes compensatórios oligopolistas, tanto pelo lado da produção industrial quanto do trabalho” (Reinert, 2008, p. 372). Segundo essa concepção, um olhar sobre os mecanismos que viabilizam a criação de rendas crescentes deve estar acompanhado de uma análise do poder de barganha do trabalhador e do conflito distributivo na economia¹.

Da mesma forma, se temos o objetivo de investigar alguns dos aspectos que são relevantes para a agenda de desenvolvimento no século XXI é importante reconhecer uma dívida histórica com “*um grande número de pensadores e agentes econômicos que nos últimos quinhentos anos criaram riqueza* (e bem-estar social, inclusão minha), *em vez de simplesmente a deslocarem de um lugar para o outro*” (Reinert, 2008, p. 21). Assim, é essencial reafirmar a centralidade da produção e do conhecimento para o desenvolvimento.

Quando se olha para a história do desenvolvimento dos diferentes países, há algo em comum. Ao longo de suas trajetórias, todos os países se tornaram desenvolvidos elaborando políticas que incentivaram a mudança estrutural, isto é, a migração da exploração de bens primários e das atividades com rendimentos decrescentes de escala em direção a atividades mais sofisticadas e intensivas em conhecimento, que são justamente aquelas com retornos crescentes de escala dinâmicos e que apresentam maiores sinergias entre diferentes atividades (Reinert, 2008).

Portanto, a construção de um sistema dinâmico com atividades econômicas que apresentem produtividade crescente, por meio da mudança tecnológica, da especialização produtiva e da divisão do trabalho, e que seja orientado à descarbonização, é uma das chaves para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável e socialmente justo no século XXI.

Nesse contexto, a descarbonização será um enorme vetor para a reorientação da atividade produtiva e para a criação de novas atividades ainda não existentes, em especial, na indústria (Lema *et al*, 2020). Trata-se, todavia, de uma indústria que deve ser construída sobre diferentes princípios em relação ao paradigma anterior baseado na degradação ambiental e na escassez de recursos provocadas pela era do petróleo e da produção em massa (Perez, 2016).

As “novas” indústrias voltadas para o desenvolvimento e escalonamento das tecnologias verdes deverão promover o aproveitamento dos bioinsumos e a adoção de processos de maior eficiência energética e que incorporem os conceitos da economia circular. Os novos produtos e processos deverão ter um olhar sobre a sustentabilidade também nos encadeamentos produtivos, o que

¹ O conceito de conflito distributivo em economia refere-se à disputa entre diferentes grupos ou classes sociais sobre a distribuição de renda, riqueza ou recursos em uma sociedade. Esse conflito emerge devido à escassez de recursos e à divergência de interesses entre trabalhadores, capitalistas, proprietários de terra e outros agentes econômicos. Cada grupo busca maximizar sua parcela do excedente econômico, gerando tensões sobre salários, lucros, preços e políticas públicas (Piketty, 2014).

envolverá maior coordenação nas cadeias de fornecimento com vistas a reduzir as emissões e o consumo de energia e de insumos em todo o ciclo de vida dos produtos.

A escala dos investimentos necessários para essa transição e o prazo em que a mesma deve ser realizada, demandarão enorme esforço de articulação e coordenação em nível global. A transição verde não poderá ser alcançada apenas por forças de mercado ou por incentivos financeiros tradicionais. São necessários investimentos maciços e coordenados em pesquisa, na reconversão industrial, inovação e infraestrutura, que não deixam dúvida quanto a importância do papel do Estado nesse processo.

O Estado deve atuar como catalisador das atividades dinâmicas da economia, orientando os esforços das empresas, alavancando o investimento público em áreas de alto risco onde o investimento privado por si só não ocorreria, provendo financiamento para as fases mais incertas da pesquisa e desenvolvimento, alavancando o investimento em novas infraestruturas e definindo uma visão de futuro para o desenvolvimento.

Essa perspectiva sobre o papel do Estado é bem sintetizada por Mariana Mazzucato em seus livros “O Estado Empreendedor” (Mazzucato, 2014) e “Mission Economy” (Mazzucato, 2021). Historicamente, o Estado desempenhou um papel fundamental e proativo em impulsionar inovações tecnológicas e econômicas revolucionárias, como a internet, o sistema de posicionamento global (GPS), as telas sensíveis ao toque e os novos medicamentos da biotecnologia (Mazzucato, 2014).

Segundo Mazzucato (2021), desafios da dimensão da emergência climática devem ser enfrentados com ampla coordenação entre países e com os Estados assumindo um papel que não deve se limitar a corrigir as falhas de mercado. O papel do Estado deve ter o objetivo de criar novos mercados, conceito que a autora denomina de “*market shaping and co-creating role of the state*” quando se refere aos objetivos e à forma com que as políticas públicas devem ser planejadas e implementadas.

Em suma, a indústria e as atividades intensivas em conhecimento serão chave para viabilizar uma transição para um novo paradigma tecno-econômico, que seja ao mesmo tempo sustentável, por meio da ampla difusão das tecnologias “verdes”, e socialmente justo, criando emprego, renda e melhores condições de vida para as pessoas. Essa transição não será possível sem uma reorientação e reconfiguração das estruturas produtivas em escala global e nacional nos países em desenvolvimento.

O “ressurgimento” das políticas industriais

Após debates intensos entre o final dos anos 1970 e meados dos anos 1980, impulsionados pelo sucesso das políticas industriais do Japão e de outros países do leste asiático, a discussão sobre política industrial foi deixada de lado por longo período entre o “fim da história”² e os primeiros anos do século XXI, sendo ignorada, de forma deliberada por razões ideológicas, e excluída de qualquer debate no *mainstream* econômico (Chang e Andreoni, 2016).

Nas últimas duas décadas, todavia, tem-se observado maior interesse no tema, tanto no mundo acadêmico, quanto no “mundo real” das políticas estabelecidas por diferentes países. Diversas são as iniciativas que vêm sendo implementadas nas últimas duas décadas e que possuem relação com a temática da transição climática e da revitalização da indústria.

Podem ser citadas políticas como o *Inflation Reduction Act (IRA)* e o *Chips Science Act* lançadas pelo Governo Biden em 2022, a *Next Generation EU* (2020) e o *European Green Deal* (2019) na União Europeia, o *Made in China 2025* (2015), o *Green Growth Strategy* (2020) e o *Abenomics* (2012) no Japão, a *Innovation Growth Strategy for Industries* (2018) e o *Green New Deal* (2020) coreanos ou o *National Manufacturing Policy* (2011) indiano.

Na academia esse é um debate, mesmo que ainda limitado. Alguns economistas neoclássicos têm se aproximado do tema (Chang e Andreoni, 2016)³. Tal contexto levou até mesmo o Fundo Monetário Internacional a publicar um estudo em 2019 intitulado “*The Return of the Policy That Shall Not Be Named: Principles of Industrial Policy*”.

São diversos os fatores por trás desse movimento. Muitos dos países desenvolvidos voltaram a reconhecer, explicitamente, nas políticas industriais uma ferramenta importante para enfrentar a crise econômica global de 2007-08. A concorrência da economia Chinesa, em particular, e a expansão da indústria no leste asiático, de modo geral, motivaram, nas últimas décadas, o estabelecimento de estratégias de *reshoring* da atividade industrial com foco na atração de investimento pelos países desenvolvidos (Pisano e Shih, 2012; Berger, 2013; Chang, Andreoni, e Kuan, 2013; O’Sullivan *et al*, 2013; De Backer, 2016; Barbieri *et al*, 2018; Pedroletti e Ciabusho, 2023).

² Termo cunhado por Francis Fukuyama em seu livro “The End of History and the Last Man” de 1992, onde argumenta que o colapso do comunismo e o triunfo da democracia liberal representam o ponto culminante da evolução ideológica da humanidade. Fukuyama sugere que, após a Guerra Fria, a democracia liberal se tornou a forma final de governo e a solução definitiva para a organização política, encerrando um processo histórico de competição entre ideologias (Fukuyama, 1992). A história se encarregou de demonstrar posteriormente o fim do “fim da história”.

³ Há-Joon Chang cita os economistas Joseph Stiglitz, Dani Rodrik e Justin Lin como exemplos. Embora estes não sejam do “núcleo duro” do pensamento ortodoxo hegemônico, a sua aproximação do tema das políticas industriais denota a amplitude do movimento recente de reconhecimento da relevância do tema para o debate econômico e, em especial, para o desenvolvimento.

As restrições à compra de tecnologias de telecomunicações de empresas chinesas por empresas americanas e a vedação ao acesso a tecnologias críticas para a fabricação de semicondutores impostas à China pelo governo americano, muitas vezes justificados por razões de “segurança nacional” (Malkin e He, 2023), são exemplos do acirramento das tensões geopolíticas que jogam luz sobre o *policy space* necessário à implementação das políticas industriais (Chang, 2005).

Mais recentemente, a pandemia de COVID-19 deu outra escala e velocidade a esse processo de retomada das políticas industriais e evidenciou a importância das capacidades locais e das estruturas produtivas inovadoras para o enfrentamento da crise global de saúde, em um momento em que as cadeias globais de valor se viram impossibilitadas de dar respostas adequadas. As limitações fiscais e monetárias foram afrouxadas para a construção de políticas amplas e para a alocação de volume expressivo de recursos direcionados a mitigar os impactos econômicos e sociais da pandemia (Baldwin e Weder di Mauro, 2020; OECD, 2020).

Se é possível questionar que, em muitos países, as políticas industriais nunca foram abandonadas (Wade, 1990; Chang, 2002; Amsden, 2001; Mazzucato, 2014; Weiss, 2014), é necessário pelo menos reconhecer que essas políticas voltaram a ser enunciadas explicitamente como tal e estão novamente “na moda” (Chang e Andreoni, 2016). A emergência climática reforça, portanto, um movimento de maior interesse nas políticas industriais que já vinha em curso.

BRASIL

No Brasil, a retomada das políticas industriais no século XXI tem um marco importante no lançamento da Política Industrial Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) em 2004, a primeira política industrial organizada pelo país após o período de reformas neoliberais da década de 90. A PITCE foi sucedida pela Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) de 2008 e pelo Plano Brasil Maior (PBM) de 2011.

A crise econômica e política de 2014-16 e a mudança para governos de orientação política mais próxima à ortodoxia econômica e ao neoliberalismo interromperam esse processo por quase uma década. Mais recentemente, com a vitória de um governo progressista nas eleições de 2022, uma nova política industrial foi lançada em 2023, a “Nova Indústria Brasil” (NIB)⁴. A NIB é parte de uma estratégia mais ampla de reindustrialização e transição verde no Brasil⁵. Tem como foco modernizar a base industrial do país no cenário global, especialmente em áreas tecnológicas e sustentáveis.

⁴ A Res. nº 1 de 06/07/2023 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI) é o marco de criação da NIB.

⁵ Outras políticas que podem ser citadas são o Novo PAC, coordenado pela Casa Civil, com foco nos investimentos públicos em infraestrutura e o Plano de Transformação Ecológica (PTE), liderado pelo Ministério da Fazenda, com uma abordagem mais voltada para as finanças verdes.

Trata-se de uma política industrial baseada em missões, que são descritas como “*desafios da sociedade brasileira...*” que visam propiciar, dentre outros objetivos, “*a melhora de vida das pessoas, estimular o desenvolvimento produtivo e a inovação e favorecer a realização de transformações econômicas e sociais, com vistas à superação dos entraves ao desenvolvimento brasileiro*” (Resolução CNDI nº 1/2023). Dentre as seis missões selecionadas para o desenvolvimento industrial está a “*bioeconomia, descarbonização, transição e segurança energéticas para garantir os recursos para as futuras gerações*”.

Nesse contexto de retomada das políticas industriais no Brasil e no mundo, torna-se importante aprofundar a discussão sobre como implementá-las, uma “arte” que andou esquecida nas últimas décadas desde a supremacia das ideias defendidas pelo que ficou conhecido como o Consenso de Washington⁶, nas décadas de 80 e 90 do século passado, sobre as instituições de desenvolvimento que haviam viabilizado a “Era de Ouro” do capitalismo, período compreendido entre o fim da segunda guerra mundial e a 2ª crise do petróleo (Chang, 1994)⁷.

O estudo de caso e de experiências anteriores de políticas industriais já implementadas são uma importante fonte para o aprendizado sobre o tema. No Brasil, há casos importantes de políticas que viabilizaram o desenvolvimento de cadeias produtivas industriais dinâmicas. O desenvolvimento do etanol na década de 70 é sempre lembrado como exemplo de sucesso das políticas industriais brasileiras e que possuem relação com a sustentabilidade. O desenvolvimento do setor aeronáutico que viabilizou a criação da Embraer S.A., líder global em seu segmento de atuação, é outro exemplo importante do desenvolvimento de capacidades locais em um setor intensivo em conhecimento.

A política de desenvolvimento da energia eólica no Brasil é um dos raros casos de políticas organizadas do país, já no século XXI, que tiveram impacto no desenvolvimento industrial. Essa experiência é especialmente significativa por envolver uma fonte renovável de energia. A sustentabilidade da matriz energética e, em particular, elétrica será um dos eixos do processo de transição para uma economia de baixo carbono no país e no mundo. A investigação sobre essa experiência pode indicar alguns caminhos para a estruturação das políticas industriais sistêmicas na área de energia.

⁶ O Consenso de Washington refere-se a um conjunto de políticas econômicas e reformas estruturais recomendadas por instituições financeiras internacionais, como o FMI e o Banco Mundial, para países em desenvolvimento durante as décadas de 1980 e 1990. As principais ideias incluem a liberalização do comércio e dos fluxos de capitais, a desregulamentação dos mercados, a privatização de empresas estatais, a disciplina fiscal e a promoção de investimentos estrangeiros.

⁷ A “Era de Ouro do Capitalismo” é assim chamada por ser um período em que se observou, em muitos países, crescimento com pleno emprego, sem inflação relevante, fatores que permitiram o desenvolvimento com ganhos virtuosos da renda do trabalho e o fortalecimento da classe média em diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento (Chang, 1994).

Políticas sistêmicas para o desenvolvimento da indústria e o sistema elétrico

O sistema elétrico brasileiro foi desenvolvido, historicamente, adotando um modelo em que a geração de energia hidráulica assumiu o papel de principal fonte de geração de energia elétrica. Nesse modelo a geração hidrelétrica garante o suprimento de energia de forma a acompanhar a evolução da demanda, constituindo a base do sistema, com as demais fontes de energia auxiliando e dando suporte no suprimento da demanda por energia.

A sustentabilidade desse modelo deve ser pensada à luz da sua capacidade de balancear oferta e demanda por energia ao longo do tempo e das alternativas existentes para enfrentar a emergência climática. Embora a matriz elétrica brasileira possua, no presente, uma participação relevante de fontes renováveis, muito por conta da geração hidrelétrica, que é responsável por cerca de 60% da capacidade instalada no país, a manutenção ou expansão do atual perfil renovável na geração de eletricidade no futuro dependerá do aumento da participação das demais fontes alternativas, com destaque para a energia eólica, solar e a geração a partir da biomassa (MME, 2020).

A segurança energética e do sistema elétrico, baseada na confiabilidade e disponibilidade da geração hidrelétrica para o despacho de energia na base do sistema, precisará ser complementada. A crise climática traz riscos importantes para esse modelo: as mudanças nos regimes de chuva em nosso país podem levar a crises hídricas e, com isso, à falta de capacidade de geração de energia elétrica.

A geração a partir de usinas térmicas com combustíveis não renováveis se apresenta como alternativa para o “despacho” de energia na base do sistema por ser uma alternativa flexível e que utiliza um combustível estocável. No entanto, expandir o sistema considerando maior escala na geração térmica contrapõe a necessidade de mantermos uma matriz elétrica “limpa” no futuro.

A essas questões pelo lado da oferta somam-se outras relacionadas à escala e à evolução do perfil da demanda por energia. A futura demanda por energia poderá estar mais associada às atividades de consumo individual e do segmento de serviços em detrimento do consumo industrial, o que implica maior incerteza e menor previsibilidade dessa demanda que elevam, por sua vez, os requisitos de flexibilidade e confiabilidade do sistema elétrico (Pinto Jr., 2016).

Sem pretender ser exaustivo nesse momento, o ponto é que estamos diante de grandes desafios para a expansão do sistema elétrico brasileiro, e essa expansão deverá ocorrer em bases diferentes das que marcaram seu desenvolvimento histórico. O futuro desenvolvimento do sistema elétrico brasileiro depende do sucesso na criação de soluções para os diversos desafios técnicos, políticos e institucionais, contribuindo para o estabelecimento de um novo modelo de desenvolvimento que seja ao mesmo tempo sustentável (com maior participação das fontes renováveis) e seguro (garantindo oferta de energia adequada à demanda).

Este contexto pode abrir janelas de oportunidade para a inovação e para o adensamento produtivo local. O desenvolvimento das capacidades produtivas locais deve ser incentivado de forma a contribuir para a solução dos desafios que precisarão ser superados. Para isso, o desenvolvimento do sistema elétrico brasileiro deve ser pensado em conjunto com o desenvolvimento da sua base técnica e com o Sistema Nacional de Inovação (Freeman, 1995; Lundvall, 1992).

Nesse sentido, a experiência recente de desenvolvimento da energia eólica no Brasil se credencia como um caso relevante para aprofundar a compreensão sobre o processo de elaboração e implementação das futuras políticas industriais na área de energia.

A crise de racionamento de energia de 2001, gerada pela escassez de chuvas e pelo baixo nível de investimento no setor elétrico nos anos anteriores que teve relação com o processo de desregulamentação e privatização da década de 1990, abriu o espaço político para o redesenho do modelo do setor elétrico e permitiu maior coesão entre os diferentes atores públicos e privados para a estruturação de políticas orientadoras do investimento em infraestrutura de energia. A partir disso, viabilizou-se um importante ciclo de investimento no setor elétrico no país. Esse contexto impulsionou também as novas fontes alternativas, dentre as quais a energia eólica se destaca.

O desenvolvimento da energia eólica no Brasil contou com a articulação da política energética à política industrial. Essa articulação teve como destaque a estruturação de mecanismos de indução da demanda, por meio de programas como o Proinfã e dos leilões de energia, e de exigência de contrapartidas de localização associadas ao financiamento público dos parques eólicos pelo BNDES, resultando no desenvolvimento de uma nova cadeia produtiva no país (Ferraz, Ramos, Platteck, 2022).

Em um período de aproximadamente duas décadas, o Brasil inseriu em sua matriz elétrica 29 GW, o que corresponde no presente a cerca de 14% da capacidade de geração de energia instalada no país, e se posicionou como um dos principais mercados demandantes de aerogeradores do mundo. Ao mesmo tempo desenvolveu uma cadeia produtiva que, no pico, contou com 8 fabricantes de aerogeradores no país, mais de uma centena de fornecedores diretos de componentes dos aerogeradores e milhares de fornecedores indiretos de componentes, insumos e serviços.

A hipótese desta pesquisa é que isso foi possível porque os diferentes atores públicos e privados foram articulados, a política foi capaz de alavancar e dar direção ao investimento, mediar conflitos e construir consensos acerca da necessidade de inserir a energia eólica na matriz elétrica, além de incentivar a cooperação entre os agentes, aproveitando as janelas de oportunidades que se apresentaram. Tudo isso aliado a um contexto macroeconômico mais favorável ao investimento, viabilizou o adensamento produtivo local. Em suma, as políticas explícitas e implícitas (Herrera, 1995) foram conjugadas para a criação de um ciclo virtuoso de desenvolvimento.

Trata-se, ainda, pelo papel central assumido pelo BNDES nesse processo, de caso recente relevante para se compreender o papel do subsistema de financiamento no desenho das políticas industriais sistêmicas. Além disso, oferece uma oportunidade para aprofundar o debate sobre a importância que uma burocracia técnica consolidada em organizações públicas de referência possui para que se avance no desenho e implementação dessas políticas. Em outras palavras, possibilita refletir sobre a inovação como um processo que também ocorre no âmbito das organizações públicas e que é intrínseco à execução das políticas públicas, como argumentam Kattel e Mazzucato (2018).

Por todos esses motivos, recuperar o aprendizado das duas décadas de realização da política de desenvolvimento da energia eólica no Brasil e avançar em novas abordagens para as políticas industriais sistêmicas na área de energia é o objetivo maior desta pesquisa. O processo de elaboração e implementação dessas políticas será o foco da pesquisa, o Sistema Nacional de Inovação e a área de energia o ambiente onde este foco será estudado.

Questões norteadoras

A questão norteadora da presente pesquisa é:

- A política de desenvolvimento da energia eólica realizada no Brasil entre 2002 e 2024 pode ser considerada um exemplo de política industrial sistêmica? Isto é, essa política teve êxito em articular as políticas implícitas e explícitas e em contribuir para a coordenação de instrumentos e diferentes atores, mobilizando competências críticas nas estruturas produtivas?

A partir dessa questão norteadora é possível elencar um conjunto de questões secundárias que moldam a linha da pesquisa e que podem ser organizadas nas três dimensões a seguir:

- I. **Dimensão política e de governança:** quais os espaços para a reconstrução de estratégias de desenvolvimento e de políticas industriais? Quais princípios devem orientar a construção dessas políticas? Como se dá a relação dessas políticas com o Sistema Nacional de Inovação (SNI) brasileiro e suas instituições/organizações? Quais as características fundamentais dessas políticas e de seus instrumentos? Como se dá o processo de elaboração e implementação das políticas sistêmicas na área de energia? Como articular esses instrumentos a partir de uma abordagem sistêmica aplicada à construção dessas políticas? Qual é a estrutura de governança necessária para uma coordenação eficaz de uma política sistêmica? Quais as implicações que a experiência da energia eólica pode trazer para a elaboração e implementação de políticas industriais sistêmicas em áreas e indústrias nascentes e de rápida expansão como é o caso da energia eólica?

- II. **Dimensão industrial e tecnológica:** Como a elaboração das políticas sistêmicas devem considerar o desenvolvimento industrial e tecnológico em sua concepção? Como a estrutura produtiva brasileira pode ser base para a superação de alguns dos desafios nacionais de maneira geral e da transição para uma economia de baixo carbono, em particular, tendo o desenvolvimento da energia eólica como referência? Quais as oportunidades mais promissoras para incentivar o desenvolvimento local de tecnologias habilitadoras e estimular as bases de conhecimento presentes na estrutura produtiva? Como articular os instrumentos de política de forma a impulsionar os transbordamentos tecnológicos, os encadeamentos produtivos e a construção de novas competências produtivas e inovadoras?
- III. **Dimensão econômica e financeira:** qual o papel do subsistema de financiamento na construção das políticas industriais sistêmicas? Como se dá a inovação organizacional nas instituições públicas do subsistema de financiamento? Dadas as oportunidades existentes, os Bancos de Desenvolvimento seriam instituições adequadas para orientar as estratégias direcionadas ao adensamento produtivo e tecnológico a partir dessa abordagem? Quais os programas e mecanismos que poderiam ser estruturados? Qual a importância das capacidades presentes nessas instituições? A autonomia e experiência dessa burocracia são relevantes em que dimensões da estruturação da política?

Hipótese

A hipótese a ser investigada na presente pesquisa é que a política de desenvolvimento de energia eólica seguiu uma abordagem sistêmica em sua concepção, elaboração e implementação e, por isso, obteve êxito em articular diferentes instrumentos de política industrial e em coordenar os diferentes atores públicos e privados, gerando resultados positivos para o adensamento produtivo local, com destaque para os investimentos das empresas fabricantes de aerogeradores no país e para o desenvolvimento de uma cadeia de fornecedores no Brasil.

Objetivo

O objetivo da pesquisa é analisar o processo de elaboração e implementação de políticas industriais sistêmicas na área de energia a partir da experiência recente de desenvolvimento da energia eólica no Brasil de forma a pensar os futuros caminhos para um novo ciclo de desenvolvimento da indústria eólica brasileira e para a construção de novas políticas industriais sistêmicas na área de energia.

Objetivos específicos:

- a) Definir a abordagem sistêmica aplicada às políticas industriais identificando seus conceitos-chave, tendo como referência a perspectiva do Sistema Nacional de Inovação.
- b) Realizar um panorama das políticas para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil.
- c) Analisar o caráter sistêmico da política de desenvolvimento da energia eólica, com especial foco no subsistema de financiamento.
- d) Caracterizar e analisar a evolução dos instrumentos da política, com foco nos instrumentos de demanda e sua articulação com o financiamento e com o papel do BNDES.
- e) Compreender os condicionantes impostos pela política implícita às políticas explícitas de desenvolvimento da energia eólica e sua base produtiva.
- f) Analisar os resultados obtidos com a política, com destaque para o subsistema de produção e de inovação, de forma a apontar caminhos para o futuro desenvolvimento da indústria eólica e do setor de energia no Brasil.

Contribuição esperada

A presente pesquisa espera contribuir, de forma geral, com o debate sobre a elaboração e implementação de políticas industriais sistêmicas com foco na superação de desafios nacionais e, de maneira específica, aprofundando o conhecimento sobre o processo de criação de competências inovativas e produtivas ligadas ao surgimento e expansão da energia eólica no Brasil.

Estrutura da pesquisa

A tese está organizada em quatro capítulos, além da introdução e da conclusão. O primeiro capítulo apresenta o referencial teórico da pesquisa e é composto por oito seções. A primeira e a segunda seções apresentam a metodologia utilizada na elaboração do referencial teórico e realiza um breve panorama da evolução do debate em torno das políticas industriais ao longo do tempo. A terceira seção traz um panorama da agenda de pesquisa neoschumpeteriana, abordando conceitos e algumas de suas contribuições para a compreensão da inovação. A quarta e a quinta seções apresentam os aspectos conceituais da abordagem sistêmica da inovação e suas implicações para as políticas industriais. A sexta seção trata das questões relacionadas às capacidades das organizações públicas inovadoras. A sétima seção explora os regimes tecnológicos como perspectiva para a análise do desenvolvimento das estruturas produtivas. A oitava seção complementa as seções anteriores agregando uma discussão sobre o poder como uma temática importante para a construção das políticas industriais sistêmicas. Ao fim, conclui-se o capítulo apresentando o modelo analítico das políticas industriais sistêmicas na área de energia, que será utilizado na interpretação da experiência de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil.

O segundo capítulo aborda o desenvolvimento da energia eólica no mundo e no Brasil e está organizado em 4 seções. A primeira seção aborda a evolução da energia eólica no mundo. A segunda seção aborda os principais aspectos da engenharia e tecnologia dos aerogeradores e sua relação com a organização da cadeia produtiva. A terceira seção apresenta o desenvolvimento da indústria eólica em dois casos selecionados, os Estados Unidos da América (EUA) e a China, detalhando os principais instrumentos de política pública utilizados por esses países e uma síntese das principais implicações que essas experiências trazem para o caso brasileiro. A quarta seção conclui o capítulo.

O terceiro capítulo apresenta as políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil. A primeira seção analisa as políticas de formação do mercado de geração eólica. A segunda seção aborda as políticas de financiamento ao investimento em geração eólica. A terceira seção apresenta as políticas de financiamento à inovação e à cadeia produtiva. A quarta seção conclui o capítulo apresentando uma linha do tempo com os principais marcos dessas políticas.

O quarto capítulo apresenta o Sistema Nacional de Inovação (SNI) de energia eólica e analisa a política industrial a partir do modelo analítico elaborado no primeiro capítulo. Para isso foi realizada uma pesquisa de campo que se conjuga com a análise dos capítulos anteriores. Na primeira seção é apresentada a metodologia da pesquisa de campo. Na segunda seção discute-se o eixo do modelo analítico “Análise das políticas e do SNI a partir da visão sistêmica”. A terceira seção aborda o eixo “Análise das organizações públicas e das inovações nas políticas”. A quarta seção examina o eixo “Análise dos regimes tecnológicos e as estruturas industriais”. A quinta seção apresenta a indústria eólica resultado da política. A sexta seção conclui o capítulo.

Por fim, a conclusão da tese discute os principais resultados da política em conjunto com uma avaliação sobre o seu caráter sistêmico. São abordados os possíveis caminhos para o desenvolvimento de políticas industriais sistêmicas na área de energia nos próximos anos e as oportunidades para desenvolvimento da cadeia produtiva de aerogeradores no Brasil. São identificadas, ainda, as limitações da tese e apontadas possíveis frentes para investigações futuras. A última seção da tese reúne a bibliografia utilizada na pesquisa.

“Addressing climate change requires more than just technological solutions. It demands institutional innovations and changes in consumption patterns, which must be supported by coordinated industrial and innovation policies.” Bengt-Åke Lundvall

1. Referencial teórico

Neste capítulo expõe-se o referencial teórico da pesquisa, indicando os principais conceitos e abordagens que serão considerados na análise das políticas industriais para o desenvolvimento da indústria eólica no Brasil. A presente pesquisa se alinha às perspectivas evolucionária e neoschumpeteriana e à abordagem dos sistemas de inovação.

Conforme apresentado na introdução, o objetivo geral desta pesquisa é analisar o processo de elaboração e implementação de políticas industriais sistêmicas na área de energias renováveis, tomando como base a experiência recente de desenvolvimento da energia eólica no Brasil. Busca-se, portanto, explorar os caminhos que viabilizem a conexão entre os processos de desenvolvimento da área de energia e da indústria, utilizando as políticas sistêmicas como ferramenta catalizadora dessa conexão.

Com esse foco será utilizada a abordagem dos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) e suas implicações para o desenho das políticas industriais, uma vez que esta abordagem oferece, segundo Gadelha (2016), o instrumental para o debate sobre o processo de planejamento e execução de políticas sistêmicas orientadas aos desafios nacionais.

No presente caso, o desafio nacional ou, em outras palavras, a importante demanda da sociedade, é o desenvolvimento de uma indústria de energia capaz de garantir a segurança energética no longo prazo e, ao mesmo tempo, ser aderente à urgente tarefa de viabilizar a transição para um paradigma técnico-econômico baseado na sustentabilidade socioambiental. As políticas sistêmicas orientadas aos desafios nacionais podem contribuir para o estabelecimento de um novo padrão de desenvolvimento que seja sustentável e focado no bem-estar da população brasileira (Gadelha, 2016).

Adicionalmente, ao ter como objeto de pesquisa a indústria eólica, será utilizada também a abordagem dos regimes tecnológicos (Malerba e Orsenigo, 1997) com o objetivo de identificar os principais padrões da inovação dessa indústria, possibilitando reconhecer as alternativas para o desenvolvimento local de uma cadeia de fornecedores. Avaliar as janelas de oportunidade para o enraizamento de um núcleo dinâmico dessa indústria no país é aspecto relevante para o desenvolvimento da indústria local, se consideradas as significativas perspectivas de expansão dessa fonte de energia nas próximas décadas.

O referencial teórico da pesquisa está organizado em oito seções. Na primeira e segunda seções são apresentadas a metodologia utilizada para a elaboração do referencial teórico e um panorama do debate das políticas industriais; na terceira seção são abordados os conceitos-chave que buscam explicar o processo inovativo; a quarta e a quinta seções discutem a perspectiva dos sistemas de inovação e suas implicações para as políticas industriais; a sexta seção aborda a inovação nas políticas e as capacidades das organizações públicas segundo a ótica evolucionária; a sétima seção trata da abordagem dos regimes tecnológicos; a oitava seção complementa as seções anteriores agregando uma discussão sobre o poder como uma temática importante para a estruturação das políticas industriais sistêmicas. Ao fim, apresenta-se o modelo analítico que será utilizado para a avaliação do caráter sistêmico das políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil.

1.1. Metodologia

O referencial teórico foi elaborado com base na técnica de mapeamento bibliográfico, utilizando bases de pesquisa acadêmica, como o Periódicos CAPES e Google Acadêmico, para identificar artigos relevantes sobre a abordagem dos sistemas de inovação e as políticas industriais.

Os artigos selecionados continham palavras-chave como Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), sistemas de inovação, políticas explícitas e implícitas, políticas industriais, políticas de inovação, políticas orientadas por missões e desafios nacionais, regimes tecnológicos, capacidades dinâmicas e capacidades dinâmicas no setor público.

Inicialmente, foi realizada uma triagem dos títulos e resumos dos artigos. Após a triagem inicial, os artigos selecionados foram lidos na íntegra e analisados. Foram priorizadas, quando disponíveis, revisões sistemáticas de literatura, assim como, artigos e publicações mais recentes. Foram também selecionados artigos “clássicos” da abordagem dos sistemas de inovação e da perspectiva neoschumpeteriana citados nos artigos selecionados.

Com base nesse levantamento foi construído o referencial teórico da pesquisa. Como síntese do referencial teórico foi elaborado um modelo analítico composto por 3 eixos:

- a) SNI's e a abordagem sistêmica da inovação;
- b) Inovação nas políticas e organizações públicas;
- c) Regimes tecnológicos e as estruturas industriais.

Esses eixos se desdobram em dimensões de análise das políticas como será apresentado na última seção deste capítulo.

1.2. Políticas industriais e desenvolvimento econômico: um breve histórico

Antes de abordar os diferentes conceitos das perspectivas neoschumpeteriana e dos sistemas de inovação é importante apresentar um breve panorama sobre os diferentes contextos históricos e teóricos que moldaram a evolução do debate sobre as políticas industriais ao longo da história do capitalismo. Esse é um debate fundamentalmente centrado no papel do Estado em promover o desenvolvimento e na compreensão do progresso técnico (inovação) e da indústria como elementos essenciais para a geração de riqueza na economia.

Para Reinert (2008), o debate sobre as políticas industriais tem seus primórdios nos séculos XVI e XVII e girou em torno das atividades entendidas como mais relevantes para a geração de riqueza. Já nesse período, discutiam-se ideias relacionadas aos rendimentos crescentes e os círculos virtuosos de riqueza por eles produzidos, que teriam relação com as atividades da manufatura que, por sua vez, concentravam-se nas cidades europeias. O processo de urbanização e desenvolvimento da manufatura eram então compreendidos como relevantes para a geração de riqueza na sociedade e deveriam ser estimulados⁸.

A consolidação dos estados nacionais europeus e a expansão colonial europeia ultramarina desse período criaram as bases para o desenvolvimento industrial posterior no continente. Abordagens como a do mercantilismo que defendia a acumulação de metais preciosos, controle do comércio e protecionismo, reforçaram a importância de um Estado atuante, nesse caso para garantir superávits comerciais.

A partir da revolução industrial, no século XVIII, a compreensão sobre os processos existentes na economia ganha novos contornos com os debates entre os fisiocratas e liberais clássicos. Conceitos como o da especialização produtiva e divisão do trabalho de Adam Smith foram elaborados nesse período e são fundamentais para as políticas industriais.

Esse debate ganha força com a concepção da ideia de “indústria nascente”, formulada por Alexander Hamilton, então Secretário do Tesouro dos EUA, em seu *“Report to Congress on the Subject of Manufactures”* de 1791 (Hamilton, 1791). Nesse texto seminal, considerado um dos marcos de fundação da temática das políticas industriais, Hamilton argumentou que os países em desenvolvimento deveriam proteger suas indústrias emergentes da concorrência estrangeira, até que estas alcançassem a maturidade necessária para competir internacionalmente. Hamilton acreditava que as políticas tarifárias e os subsídios governamentais eram essenciais para impulsionar o desenvolvimento.

⁸ Reinert (2008) cita teóricos como Antônio Serra (séc. XVII), Giovanni Botero (séc. XVI), James Stewart, dentre outros.

No século XIX, Friedrich List aprofundou essa abordagem ao desenvolver o conceito de Sistema Nacional de Economia Política. Em sua obra “O Sistema Nacional de Economia Política” de 1841, List argumentou que a Alemanha deveria adotar políticas protecionistas para promover o emparelhamento em relação às nações industrializadas, como o Reino Unido. Ele defendia que o protecionismo era temporário e necessário até que a competitividade internacional fosse alcançada.

O materialismo histórico de Marx e Engels elaborado na segunda metade desse século, embora tivesse um olhar crítico sobre o papel do Estado, contribuiu para revelar algumas das dinâmicas da economia encontradas na indústria e relacionadas ao processo de acumulação capitalista, o qual gera excedentes que são reinvestidos no processo produtivo, levando ao crescimento da economia e da concentração de renda, uma temática fundamental para a compreensão da dimensão dos conflitos inerentes às políticas industriais.

A revolução neoclássica, concebida no final do século XIX, coloca em xeque o papel do Estado nos processos de desenvolvimento. Baseada em conceitos como o equilíbrio de mercado, a maximização da utilidade e a eficiência alocativa dos recursos, a abordagem neoclássica defende a alocação de recursos pelo mercado e assume uma posição cética em relação às políticas industriais. O papel do Estado deveria se limitar a garantir que os mercados funcionem de forma “eficiente”.

Com a virada para o século XX, novas perspectivas surgiram. A revolução keynesiana, durante e após a Grande Depressão da década de 1920, deu uma nova dimensão ao papel do Estado na economia. Para Keynes, o Estado deveria desempenhar um papel ativo para garantir a demanda agregada e promover o pleno emprego. Embora Keynes tenha focado mais em políticas fiscais e monetárias, suas ideias abriram espaço para uma atuação mais direta do Estado como indutor do desenvolvimento, inclusive por meio das políticas industriais.

Também nesse período as análises sobre o desenvolvimento da economia soviética foram relevantes e demonstraram a importância do planejamento conduzido pelo Estado em guiar e acelerar o processo de industrialização por meio de diferentes políticas industriais (Erlich, 1960 *apud* Chang e Andreoni, 2016)⁹. Modelos de desenvolvimento alternativos ao capitalismo foram explorados, junto a novas formas de organização da produção, a exemplo de trabalhos que analisaram o funcionamento das empresas autogeridas em repúblicas socialistas do leste europeu como a Iugoslávia, nas quais os trabalhadores detinham controle sobre as decisões de produção e distribuição, vislumbrando nesse modelo uma possível “terceira via” para a organização econômica (Ward, 1958; Vanek, 1970).

⁹ O debate econômico sobre a industrialização soviética na primeira metade do século XX foi marcado por divergências sobre os métodos para alcançar o desenvolvimento industrial em uma economia socialista. A principal questão era a velocidade e a intensidade da industrialização e o papel do planejamento centralizado *versus* as forças de mercado.

Em meados do século XX, entre as décadas de 1940 e 1960, diversos economistas do desenvolvimento (Celso Furtado, Arthur Lewis, Raul Prebisch, Rosenstein-Rhodan, Ragnar Nurske, Albert Hirschmann e outros) avançaram em conceitos fundamentais acerca dos processos de mudança estrutural que explicam o desenvolvimento econômico, a exemplo das ideias de economias de escala e encadeamentos produtivos, que impulsionariam o progresso técnico endógeno, alavancando a produtividade da economia e o crescimento.

Na América Latina, a escola estruturalista, representada por economistas como Raúl Prebisch e Celso Furtado, redefiniu o papel das políticas industriais a partir da perspectiva das relações centro-periferia. Segundo essa escola, as economias periféricas precisam adotar políticas para se industrializar e reduzir sua dependência de exportações primárias, que perpetuavam o subdesenvolvimento.

Segundo essa concepção, a indústria possuiria um caráter “dinâmico” e, dentro desta, determinados setores, como o de bens de capital e bens de consumo teriam características particulares com diferentes efeitos sobre o processo de acumulação capitalista, crescimento, inflação, geração e distribuição de renda. Para o desenvolvimento, não bastaria incentivar apenas a indústria, mas também saber como diferenciar os setores e compreender as relações intersetoriais.

Na década de 80 duas novas abordagens surgem como importantes contribuições para o debate sobre as políticas industriais. A primeira refere-se à análise feita por estudiosos da escola institucionalista, como Alice Amsden, Robert Wade, Peter Evans e Chalmers Johnson, sobre o processo de emparelhamento dos países asiáticos. A interpretação desses autores sobre os estados desenvolvimentistas asiáticos, que viabilizaram o desenvolvimento de países como o Japão, Coréia do Sul e Taiwan, contribuiu significativamente em temas como o da organização do Estado e do setor privado e suas relações com as instituições, como se dariam as interações entre os diversos agentes públicos e privados e a importância da burocracia para um bom funcionamento das políticas, dentre outros. As políticas industriais seriam elementos centrais para esses processos de desenvolvimento.

A segunda é a perspectiva neoschumpeteriana/evolucionária e sua importante contribuição para a compreensão dos processos de inovação e aprendizado como elementos determinantes do funcionamento da economia no nível das firmas, das redes de produção e conhecimento e na dimensão sistêmica. Essa é a perspectiva teórica da presente tese e será examinada em detalhes nas próximas seções. Ambas as abordagens, institucionalista e neoschumpeteriana evoluíram na década seguinte em meio a um contexto de desregulamentação e globalização financeira e produtiva.

Com a virada para o século XXI, novas abordagens para as políticas industriais são formuladas incorporando ideias relacionadas às falhas de mercado, ao papel das externalidades, dos bens públicos, dentre outros. Chang e Andreoni (2016) argumentam que essas ideias inaugurariam uma nova fase que buscaria incorporar ao debate das políticas industriais conceitos do *mainstream* econômico. Segundo essa visão haveria espaço para a implementação de políticas industriais, desde que estas corrijam falhas de mercado e de coordenação, retirem as barreiras para o fluxo de informações entre os agentes e promovam os bens públicos, em especial, a infraestrutura básica e, mais recentemente, a pesquisa científica de longo prazo.

A ascensão da China como potência econômica e tecnológica global nas últimas décadas traz novos olhares para o processo de formulação e implementação das políticas industriais em uma economia socialista que se integrou com sucesso no sistema mundial capitalista. Diversas são as interpretações sobre esse processo pelas diferentes abordagens teóricas. No entanto, é inegável que políticas industriais têm sido implementadas pelo Partido Comunista da China e foram capazes de impulsionar o domínio científico e tecnológico nesse país.

Esse movimento vem reorientando o balanço de poder entre os países e tem sido elemento relevante para a reabertura do debate sobre a implementação das políticas industriais. A crise financeira de 2008 intensificou esse processo e levou muitos países desenvolvidos a adotar medidas de protecionismo econômico e a implementar políticas industriais como estratégia para estimular a recuperação econômica e enfrentar os desafios impostos pela crescente competição internacional. A emergência climática reforça esse movimento e torna o debate sobre as políticas industriais mais atual do que nunca.

Nas próximas seções as perspectivas neoschumpeteriana e dos sistemas de inovação serão examinadas, buscando construir o referencial analítico das políticas industriais sistêmicas desta tese.

1.3. A economia neoschumpeteriana: conceitos, modelos e a formulação sistêmica

O conceito de inovação como motor da dinâmica capitalista ganha uma interpretação fundamental na economia política com Schumpeter¹⁰ na primeira metade do século XX¹¹ e novas interpretações a partir da década de 80 com os trabalhos de autores que formam a base conceitual da moderna teoria da inovação e da perspectiva neoschumpeteriana¹².

Essa perspectiva teórica deu origem a uma agenda de pesquisa abrangente, que trouxe contribuições significativas para a compreensão do fenômeno da inovação em diferentes níveis: nas firmas e organizações, em seus setores de atuação, nas relações intersetoriais e em seu impacto no sistema sociotécnico. Mais recentemente, essa abordagem expandiu-se para novos campos, como o desenvolvimento sustentável e a inovação em organizações públicas.

Segundo Freeman (1994), a agenda de pesquisa neoschumpeteriana encontra uma motivação fundamental na compreensão dos determinantes da mudança tecnológica. Apesar do consenso nas diferentes perspectivas teóricas sobre a importância da mudança tecnológica para o dinamismo da economia no sistema capitalista, este é um tema negligenciado na maior parte da literatura *mainstream*.

Diferentemente dessas perspectivas, a abordagem neoschumpeteriana trata a mudança tecnológica como um componente endógeno do crescimento econômico e busca abrir a caixa preta da inovação para identificar seus determinantes (Rosenberg, 1992)¹³.

Esse é um campo de estudos que ganha relevância, pela dificuldade que as diferentes teorias e modelos de crescimento econômico encontram em explicar a taxa de progresso técnico na economia. Nas palavras de Kennedy e Thirlwall (1973) “*os estudos macroeconômicos sobre progresso técnico que buscam estimar a taxa de progresso técnico como um componente residual do crescimento do produto estão repletos de dificuldades de agregação e identificação, mas quase invariavelmente*

¹⁰ Algumas das principais obras de Schumpeter são: "A Teoria do Desenvolvimento Econômico" (1911); "Capitalismo, Socialismo e Democracia" (1942); e "Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process" (1939).

¹¹ Outros autores clássicos, em especial Marx, elaboraram em suas teorias conceitos que incorporavam o progresso técnico como elemento essencial da dinâmica capitalista. Schumpeter, todavia, é amplamente aceito como o primeiro economista a enunciar formalmente o termo inovação e o conceito de “destruição criadora” em uma de suas obras mais influentes “A Teoria do Desenvolvimento Econômico” de 1911.

¹² Uma lista não exaustiva de autores neoschumpeterianos: Christopher Freeman, Richard R. Nelson, Giovanni Dosi, Sidney G. Winter, Bengt-Ake Lundvall, Keith Pavitt, Nathan Rosenberg, Franco Malerba, David Mowery, Stephen Keppler, Luc Soete, José Eduardo Cassiolato, Helena M. M. Lastres, Dominique Foray, Carlota Perez, Mariana Mazzucato, dentre outros.

¹³ A expressão "abrir a caixa preta da inovação" refere-se ao esforço de compreender os determinantes internos do processo inovador nas firmas e como as interações entre empresas, instituições e o ambiente econômico influenciam o processo de inovação, rejeitando a visão simplista que trata a inovação como um fenômeno dado e exógeno.

encontram o progresso técnico como o principal determinante da taxa de crescimento, independentemente da função de produção especificada” (Kennedy e Thirlwall, 1973, p. 166).

Com vistas a compreender as causas desse “resíduo” responsável por grande parte do crescimento, a perspectiva neoschumpeteriana, em vez de focar no equilíbrio, em atores racionais ou na informação perfeita, enfatiza os processos dinâmicos da inovação, da mudança tecnológica e o papel das instituições em moldar e condicionar esses processos e seus resultados econômicos.

A presente seção aborda alguns dos principais tópicos dessa agenda de pesquisa, tomando como base a revisão mais ampla realizada por Freeman (1994). Dada a amplitude do tema, a exposição limita-se a alguns dos conceitos fundamentais que constituem a teoria da inovação. Não se pretende aqui apresentar uma descrição cronológica da evolução desses conceitos, mas destacá-los de forma a embasar a discussão das seções seguintes, que compõem o modelo analítico da presente pesquisa.

Do empreendedor individual para os laboratórios de P&D e a formação de redes

Um primeiro aspecto a ser salientado aborda como foram definidos os agentes inovadores. Em contraposição a um “agente representativo” que toma decisões racionais e é capaz de estimar o retorno de suas decisões com base em informações que estão disponíveis para todos e sem custo, o “agente inovador” toma decisões em cenários de incerteza, que impossibilitam um cálculo exato dos retornos e em contextos em que o fluxo de informações não está disponível sem custos, o que encontra paralelo com o conceito de racionalidade limitada postulado por diferentes economistas “comportamentais” que estudaram a tomada de decisão sob incerteza (Simon, 1955; March e Simon, 1968; Heiner, 1983).

A concepção sobre esse agente inovador evolui ao longo tempo e se relaciona com o surgimento de novas abordagens. Para Schumpeter (1912), esse agente era um empreendedor que, embora atuando sob incerteza, era capaz de assumir todos os riscos e, por um ato de vontade própria inovar, uma concepção “romântica” de um “super-homem do capitalismo”.

Essa definição não era capaz de explicar como se desenrolavam os processos inovadores em grandes organizações empresariais que, no final do século XIX e, especialmente, no início do século XX, ganhavam relevância por meio da estruturação de grandes centros de pesquisa e desenvolvimento (P&D) como parte de suas estratégias de criação de valor.

Schumpeter (1942) enfatiza o papel das grandes corporações na promoção da inovação. Nesse contexto, argumenta que as inovações deixam de ser exclusivamente fruto do esforço de empreendedores individuais e passam a ser sistematizadas em departamentos de pesquisa e

desenvolvimento (P&D) dentro de grandes empresas, que possuem recursos financeiros e tecnológicos necessários para sustentar a contínua geração de novas tecnologias e processos¹⁴.

Diferentes modelos foram elaborados buscando interpretar o processo de inovação, a exemplo do modelo linear, que pressupõe uma relação direta do investimento em P&D em direção à novas descobertas e dessas para o mercado¹⁵, e o modelo elo de cadeia, que reconhece a presença de ciclos de *feedback* e interações entre as diversas etapas do processo de inovação (Kline e Rosenberg, 1986).

Esses modelos, posteriormente, foram considerados insuficientes para descrever a complexidade do processo inovativo. Dentre outros motivos, não davam a devida relevância ao papel das inovações incrementais que, frequentemente, são responsáveis pelos maiores ganhos e impactos após a descoberta inicial. Adicionalmente, a necessidade de melhorias indicadas pelos usuários e a proximidade destes com o produtor pode ser uma fonte importante para as inovações incrementais.

Autores como Freeman (1982) destacam como o processo de inovação é interativo e não-linear, enfatizando a importância do *feedback* entre diferentes etapas e atores, onde problemas técnicos ou de mercado podem levar a ajustes nas fases anteriores de P&D¹⁶. Se as interações entre etapas do processo produtivo e as características dos processos internos às empresas importam para o processo de inovação, também é relevante o ambiente externo às empresas.

A agenda de pesquisa neoschumpeteriana evoluiu para compreender como a interação entre empresas e sua colaboração com universidades e centros de pesquisa podem impulsionar o processo de inovação (Nelson, 1962; Price, 1984; Rosenberg, 1982, 1990, 1992). A formação de redes, formais e informais, que viabilizam o acesso à informação e conhecimento de fontes externas às empresas foi explorado e considerado relevante (Sharp, 1985, 1991; Dodgson, 1991, 1993).

Se as redes científicas foram reconhecidas como relevantes, há vasta literatura que investigou e confirmou empiricamente a importância que a interação com os usuários possui para estimular as inovações (Lundvall, 1985, 1988, 1992). Muitas vezes os usuários podem, inclusive, assumir a liderança do processo inovador (Hippel, 1978, 1980, 1988; Slaughter, 1993).

¹⁴ Essas diferentes visões de Schumpeter sobre o processo de inovação são conhecidas na economia da inovação como Schumpeter I e II.

¹⁵ O modelo linear toma como base algumas das ideias exploradas por Schumpeter II.

¹⁶ Especialmente relevante para a construção desses conceitos foi o projeto SAPPHO (Scientific and Art Policy in the History of Organizations) conduzido no final dos anos 1960 e início dos anos 1970 pela Science Policy Research Unit (SPRU) da Universidade de Sussex e liderado por Christopher Freeman.

O aprendizado, as capacidades organizacionais e as trajetórias tecnológicas

Outro tópico importante trata da caracterização e da investigação dos processos de aprendizado. As empresas aprendem por meio de suas práticas internas e experiências próprias (*learning by doing*) desenhando, desenvolvendo e produzindo novos produtos (Arrow, 1962), absorvendo novas tecnologias (*learning by using*) (Rosenberg, 1982), interagindo com as fontes externas de informação e conhecimento (universidades, laboratórios e agências governamentais, serviços, licenciamento de tecnologias, etc.) e em contatos com seus usuários e fornecedores (Lundvall, 1988; Dosi, 1982).

O conhecimento derivado dessas dinâmicas interativas de aprendizado, está nas empresas, nas relações estabelecidas entre esses diversos agentes, nas redes formadas, podendo ter um perfil tácito ou codificado, formal ou informal (Polanyi, 2010; Gertler, 2003; Nonaka e Konno, 1998).

Tanto a característica dessas redes, quanto o conhecimento podem variar de acordo com o tipo de tecnologia e da inovação, da indústria ou atividade em questão. A inovação possui um caráter específico e pode ser de diferentes tipos, de processo, produto, serviço ou organizacional, ou ainda, ser categorizada em dimensões que expressam sua relevância e impacto como incremental ou radical (Pavitt, 1984; Dosi, 1988; OCDE 1990).

O aprendizado, por sua vez, pode ocorrer de diversas formas e ser adquirido por diferentes métodos. Pode surgir por contatos informais, como pela proximidade geográfica entre empresas e seus funcionários, ou por meio da colaboração formal e pela formação de *joint ventures*. Também pode ser obtido por meio do licenciamento e mecanismos de transferência de tecnologia, pela contratação de mão de obra especializada e pelo treinamento *on-the-job*. Práticas como a da engenharia reversa e da espionagem industrial também foram usadas ao longo da história pelos países e empresas como alternativa para impulsionar o aprendizado em seus processos de desenvolvimento (Solberg Soilen, 2016; Hou e Wang, 2020).

Olhando para o nível da firma, é importante destacar que a adoção de técnicas modernas de gestão pode impulsionar os processos de aprendizado internos e a inovação ao aproximar as diferentes etapas de P&D, produção, *marketing*. O desenho de novos produtos, por exemplo, pode se beneficiar com a proximidade do processo por meio do qual tal produto será fabricado e comercializado.

Dessa discussão é possível depreender também que o conhecimento e o aprendizado raramente são adquiridos como um “produto de prateleira”. A obtenção de novos conhecimentos e formas de desenvolver e produzir necessita de esforço ativo das empresas, seus parceiros e do envolvimento de seus funcionários nessas atividades. Sem esse envolvimento ativo, não se assimila o conhecimento e se absorvem novas capacidades (Bell e Pavitt, 1992; Bell, 1991).

Se o conhecimento não é um produto de prateleira e é absorvido ao “aprender fazendo”, desse processo surgem novas capacidades nas organizações. Winter (1987), ao investigar o conhecimento e as competências como ativos estratégicos das firmas, descreve o conhecimento organizacional como um recurso que é difícil de imitar e transferir, uma característica que o torna fundamental para a formulação de estratégias de longo prazo. Nesse contexto, as rotinas organizacionais, padrões de comportamento repetitivos que as empresas desenvolvem e que encapsulam grande parte do seu conhecimento tácito, são relevantes para a sobrevivência das empresas em um ambiente de mudança tecnológica.

Essas ideias se inspiram na abordagem evolucionária proposta por Nelson e Winter (1982) na obra *“An Evolutionary Theory of Economic Change”*, um marco teórico importante da economia neoschumpeteriana. Ao trazer uma perspectiva “evolucionária” ao estudo da inovação e do comportamento das organizações, interessantes paralelos são traçados entre o campo da economia e da biologia e da teoria da evolução.

Segundo essa perspectiva, as empresas, assim como os organismos vivos, estão sujeitas a processos de seleção definidos pelo mercado onde atuam, que determinam sua sobrevivência e sucesso. Essas empresas evoluem ao longo do tempo por meio de variações e adaptações em suas práticas e são submetidas a um processo concorrencial onde ocorrem mudanças, muitas vezes imprevisíveis, que guarda semelhanças com o processo de seleção natural. Nesse contexto, as organizações operam por meio de rotinas, que possuem características similares aos genes presentes nos seres vivos: permitem armazenar e transmitir o conhecimento, além de orientar as respostas às diferentes situações enfrentadas pelas empresas.

As empresas inovam, principalmente, por meio de mudanças incrementais em suas rotinas, um processo de tentativa e erro que permite aprendizado e adaptação ao ambiente em constante mudança. As empresas que conseguem desenvolver rotinas inovadoras e eficientes são mais propensas a sobreviver e prosperar no mercado, enquanto outras podem ser eliminadas pela competição.

Esses conceitos abriram novas vertentes para o estudo das capacidades organizacionais. Há uma literatura neoschumpeteriana que fez importantes contribuições a esse respeito. Teece (1982, 1986, 1988) aborda como as empresas conseguem manter vantagens competitivas em ambientes de rápidas mudanças tecnológicas e elabora o conceito de capacidades dinâmicas. Essas são capacidades que as empresas possuem, que lhes permitem integrar, construir e reconfigurar suas competências internas e externas para se adaptarem a mudanças no ambiente onde estão inseridas.

Essa visão vai além da ideia de que bastaria possuir determinados recursos para que a empresa seja competitiva. Tão importante quanto isso é a habilidade da empresa em mobilizar esses recursos de

forma eficiente e isso depende de elementos como a sua aptidão para perceber oportunidades e ameaças, apreender essas oportunidades e reconfigurar seus ativos.

Teece (2007) aprofundou a discussão sobre as principais funções que as capacidades dinâmicas desempenham nas firmas, dividindo-as em: atividades de identificação de novas oportunidades e ameaças (*“sensing”*), aproveitamento dessas novas oportunidades por meio de investimentos e construção de novos modelos de negócios (*“seizing”*), e de transformação/reconfiguração de suas rotinas para aproveitar oportunidades subsequentes e desviar de ameaças (*“transforming / reconfiguring”*).

Essas são capacidades necessárias para que as organizações atuem com eficiência operacional e “ambidestria organizacional”, isto é, sejam capazes de explorar novas oportunidades (*“exploration”*) e ao mesmo tempo aprimorar seus recursos atuais (*“exploitation”*) (O'reilly, Harreld e Tushman, 2009; Teece, 2012).

A imitação desempenha um papel crucial no processo de inovação das empresas, redirecionando o foco tradicional sobre os pioneiros e suas descobertas revolucionárias para a capacidade de imitar e se adaptar para absorver novas capacidades. Esta é uma componente fundamental para explicar como ocorre o processo de difusão tecnológica. A imitação não é vista simplesmente como uma cópia, mas como um processo de aprendizagem onde as empresas seguem as inovações de vanguarda, adaptando-as ao seu contexto específico, o que leva a um aprimoramento contínuo do sistema econômico como um todo (Nelson e Winter, 1982).

As rotinas organizacionais ao mesmo tempo que criam estabilidade e previsibilidade, podem limitar a flexibilidade das empresas para lidar com mudanças rápidas. Se por um lado, as empresas evoluem ao longo do tempo, acumulando conhecimento e desenvolvendo novas capacidades, por outro, as capacidades e conhecimentos adquiridos também podem criar barreiras para uma mudança drástica de direção. Depreende-se disso que, também no nível da firma, assim como no desenvolvimento das tecnologias, é importante a ideia de trajetórias tecnológicas (Dosi, 1982, 1988).

Relacionada a essa ideia de trajetórias, uma parte da literatura neoschumpeteriana busca identificar como evoluem e são adotadas essas tecnologias. Dosi (1982) explica que uma vez que uma tecnologia surge, ela passa por um estágio de experimentação e desenvolvimento, seguido por um período de difusão acelerada, onde é amplamente adotada por diversos setores econômicos. Com o tempo, essa difusão diminui à medida que a tecnologia atinge seu estágio de maturidade, e o foco se volta para inovações incrementais ou a substituição por novas tecnologias.

Em alguns casos, como na indústria de bens de capital e de bens de consumo duráveis, esse processo pode levar ao surgimento de um “design dominante”. Segundo Utterback e Abernathy

(1975), essa fase representa uma consolidação tecnológica, onde a maioria dos participantes da indústria adota um projeto comum, resultando em menores incertezas e aumento da eficiência produtiva.

A emergência de um design dominante está ligada às noções de paradigmas tecnológicos (Perez, 1989). O design dominante define o rumo das inovações subsequentes, limitando as inovações radicais e favorecendo melhorias incrementais dentro de um padrão já estabelecido.

Tushman e Murmann (1998) também contribuem para essa discussão, destacando que a emergência de um design dominante é um ponto de inflexão nas indústrias. Antes de seu surgimento, há um período de "variedade tecnológica", em que várias alternativas competem. Após a adoção do design dominante, o foco passa a ser a inovação incremental, na qual empresas buscam otimizar o projeto aceito.

Indicadores e taxonomias, suas limitações e a importância das instituições

Uma outra frente relevante da agenda de pesquisa neoschumpeteriana envolve a busca pelas formas de evidenciar e medir os resultados da inovação e seus processos, atividade não trivial dado o caráter muitas vezes tácito do conhecimento e dos processos de aprendizado que ocorrem na atividade produtiva e no uso das tecnologias (Utterback, 1979; Lundvall, 1992).

O estudo das patentes foi amplamente usado com esse fim, embora seja um melhor componente para a compreensão da invenção do que dos resultados da inovação em si. A análise de prêmios de inovação e de publicações em jornais que tratam da história do desenvolvimento tecnológico e da trajetória de firmas também são usados, embora surjam dificuldades em como categorizar e medir os esforços inovadores por esses meios.

Atualmente, muitos indicadores são utilizados e podem ser compreendidos como “indicadores de entrada”, a exemplos dos gastos em P&D e sua proporção no faturamento das empresas, número de pesquisadores, engenheiros e trabalhadores técnicos, nível de qualificação da força de trabalho; “indicadores de resultados”, a exemplo do número de novos processos implementados e produtos lançados no mercado, publicações científicas e tecnológicas¹⁷; “indicadores de difusão” e adoção de tecnologias, como a taxa de difusão das novas tecnologias nos diferentes setores e as importações e exportações de tecnologias; de cooperação, como número de contratos de transferência de tecnologias e parcerias estabelecidas, dentre diversos outros.

¹⁷ Importante ressaltar que indicadores relacionados ao número de patentes não são reconhecidos como indicadores de resultados da inovação pela literatura de indicadores sistêmicos.

Olhando para a dimensão setorial e intersetorial, diferentes taxonomias foram desenvolvidas como forma de classificar os processos de inovação, as intensidades de P&D e as relações entre indústrias. Uma delas é a proposta por Pavitt (1984a) que classifica as indústrias como dominadas por fornecedores; intensivas em produção; e baseadas na ciência, categorias organizadas pela forma como se dão as relações externas de acesso ao conhecimento e pela maneira como ocorrem as atividades científicas e tecnológicas internas às empresas e na estrutura produtiva.

Outra taxonomia amplamente utilizada é a que classifica os setores por suas intensidades tecnológicas como de baixa, baixa-média, média, média-alta e alta tecnologia e que toma como base o nível de investimento em P&D em relação ao faturamento (OCDE, 2016).

Ambas, embora muito utilizadas, também receberam críticas por não se aplicarem à dinâmica atual dos diferentes agentes e atividades presentes no sistema econômico. Determinadas atividades possuem maior intensidade de tecnologia e a geração de inovações depende mais do investimento interno em P&D. Outras categorias dependem da absorção de inovações geradas por outros setores para a manutenção de sua expansão e aumento de produtividade.

O porte das empresas também pode influenciar a criação e adoção de inovações. Empresas menores que possuem maior agilidade e flexibilidade e que atuem em atividades com elevada taxa de mudança, como o desenvolvimento de software, podem contribuir de maneira significativa para a geração de inovações. A depender do estágio de desenvolvimento das tecnologias, as contribuições das pequenas empresas podem ser relevantes, em especial, na fase inicial de desenvolvimento e em setores pouco intensivos em capital ou com menores barreiras à entrada. Grandes empresas continuam, frequentemente, sendo as principais responsáveis pelas maiores inovações na maior parte das indústrias.

Sobre as diferentes taxonomias já elaboradas, o ponto a se destacar é que os processos de inovação se tornaram mais complexos, dificultando o reconhecimento das fronteiras entre as diferentes atividades e a possibilidade de categorizar os elementos determinantes da inovação, por exemplo, em termos de porte das empresas e atividades setoriais. Diferentes estudos demonstraram que alguns países que apresentam bons desempenhos em termos de indicadores de ciência e tecnologia, não se saem necessariamente bem em termos de inovação (Mansfield, 1991; Nelson e Rosenberg, 1993; OECD, 2005).

Esse aparente paradoxo decorre de uma visão limitada do processo de inovação, o que motivou a busca por novos caminhos na agenda de pesquisa neoschumpeteriana. Essa perspectiva mostrou que grandes investimentos em ciência, quando realizados em sistemas onde o aprendizado organizacional, tanto interno quanto externo às empresas, é pouco desenvolvido, e onde há baixa atenção às

necessidades dos usuários, tendem a gerar impactos limitados na inovação e no crescimento econômico. Compreendeu-se ser cada vez mais necessário direcionar um olhar sobre as instituições e sua relação com a inovação.

Outro aspecto que corrobora essa afirmação foi a capacidade, cada vez mais evidente, que as mudanças tecnológicas possuem em interferir nas instituições existentes, criando novas instituições. Algumas das inovações radicais, como as tecnologias de informação e comunicação, mudaram a forma como o mundo está organizado e tiveram impactos relevantes nas relações sociais e na organização da produção e da comercialização de bens e serviços. Para Perez (1985, 1989), o impacto dessas tecnologias genéricas e habilitadoras é tão relevante que reforçou a necessidade de dar maior atenção ao aspecto institucional no estudo da inovação.

Freeman (1994), por sua vez, argumenta que a diversidade institucional levou muitos economistas neoschumpeterianos a se interessar pela abordagem que ficou conhecida como Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) (Lundvall, 1985, 1992; Nelson, 1985, 1993; Freeman, 1987).

Segundo o autor *“se as empresas dependem de uma variedade de vínculos externos para adquirir o conhecimento técnico, científico e organizacional, informações e habilidades necessárias, é natural que os sistemas educacionais tenham uma influência considerável no desempenho inovador das empresas, assim como uma ampla variedade de institutos de pesquisa, fontes de informações técnicas, serviços de consultoria e laboratórios governamentais.”* - tradução livre (Freeman, 1994, p. 484).

A abordagem dos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) contempla essa visão, mas não se restringe a ela. Surge como uma evolução da agenda de pesquisa neoschumpeteriana na busca por explicar a inovação e a complexidade dos processos de retroalimentação e aprendizado encontrados não apenas nas firmas, mas também nas instituições e nos contextos que definem as relações entre instituições, empresas e todos os tipos de organizações que influenciam e condicionam o processo inovativo.

Importante destacar que essa é uma abordagem que permite interpretar os processos de inovação, ao mesmo tempo que possibilita refletir sobre o desenho das políticas públicas que buscam incentivá-los. Cassiolato e Lastres (2005) apresentam as conexões existentes entre a teoria da inovação, a abordagem sistêmica e a formulação de propostas de políticas públicas voltadas a impulsionar a

inovação como um componente determinante das estratégias de desenvolvimento dos países já na década de 1980¹⁸.

Pode-se afirmar que a abordagem de sistemas de inovação evoluiu interligando os conceitos que buscavam explicar os processos de inovação e a reflexão sobre as suas implicações de políticas de inovação. Szapiro *et al* (2021) apresentam essa evolução identificando os diferentes estudos e bases empíricas da abordagem de sistemas de inovação.

Sendo assim, tanto por ser um referencial teórico voltado para análise dos complexos processos da inovação, elemento central do desenvolvimento econômico, como pela sua utilidade para a discussão e desenho das políticas industriais, a abordagem dos sistemas de inovação é adequada para a avaliação dos processos de desenvolvimento de novas indústrias, como no caso do desenvolvimento da indústria eólica no Brasil. Na próxima seção são apresentados os principais elementos que caracterizam essa abordagem, relacionando-os com os conceitos da perspectiva neoschumpeteriana anteriormente detalhados.

1.4. A abordagem de sistemas de inovação

O conceito dos Sistemas Nacionais de Inovação é enunciado pela primeira vez em um texto não publicado de Christopher Freeman em 1982 (Freeman, 1982b) e, segundo este mesmo autor, o economista sueco Bengt-Åke Lundvall foi o primeiro autor a utilizar formalmente a expressão “Sistema Nacional de Inovação”¹⁹ (Freeman, 1995). O conceito vem sendo elaborado e desenvolvido por diferentes autores neoschumpeterianos desde a década de 80 até os dias de hoje.

A abordagem dos sistemas de inovação é o principal referencial teórico utilizado na presente pesquisa e tem como fundamento a compreensão de que a inovação é um processo complexo, não-linear, coletivo e determinado pelo contexto em que ocorre.

O desempenho inovativo de uma economia e de um país não depende exclusivamente da atuação isolada das empresas e das instituições de ciência e tecnologia, mas sobretudo da maneira como essas interagem entre si e junto a outros agentes, vinculados ou não às atividades produtivas e de geração formal de conhecimento (instituições do sistema educacional, ciência e tecnologia).

A inovação é compreendida como um processo socialmente determinado pelas instituições e organizações que interagem em determinado ambiente (Lundvall, 1988, 2010; Freeman, 1995). A centralidade do arranjo institucional é, portanto, característica chave dessa abordagem, o que inclui

¹⁸ Os autores apontam diversas iniciativas organizadas pela OCDE, por meio de sua Diretoria de Ciência, Tecnologia e Inovação (*Directorate for Science, Technology and Innovation/DSTI*), a partir da década de 1980 e, posteriormente, por outros países, voltadas para a elaboração de estudos de políticas que tinham como referência a visão sistêmica da inovação.

¹⁹ Em seu texto seminal de 1992 “National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning” (LUNDVALL, 1992).

tanto instituições formais, como leis, regulamentações e políticas governamentais, quanto instituições informais, como normas sociais, valores culturais e práticas de colaboração entre empresas e instituições de pesquisa.

Lundvall (2010) argumenta que a abordagem sistêmica deve dedicar um olhar às diferentes dimensões, desde o nível “micro” nas empresas, uma vez que novas tecnologias radicais não podem prosperar em empresas limitadas a antigas formas organizacionais e conjuntos de competências, ao nível agregado, pela necessidade de transformar instituições, competências e organizações da sociedade para colher os benefícios das mudanças tecnológicas.

Outro conceito-chave nessa abordagem é o de "aprendizado coletivo", que destaca a importância das interações e colaborações entre diferentes agentes do sistema de inovação (Lundvall, 1988). Esse aprendizado coletivo ocorre em ambientes propícios para a troca de conhecimento, experiências e informações entre empresas, universidades, instituições de pesquisa e agências governamentais. Essa interação possibilita a disseminação e absorção de conhecimentos e experiências, estimulando a inovação em nível nacional.

Para Lundvall (1992) o aprendizado tem, assim, um perfil coletivo e é determinado pelas instituições e agentes do arranjo institucional. A interação entre esses agentes e os diferentes fatores que compõem esse arranjo institucional é que vão determinar o acúmulo de novas competências ou o fortalecimento das capacidades existentes. É da interação entre os diferentes atores do sistema, por meio de dinâmicas de cooperação, que surgem os processos de aprendizado que impulsionam os diferentes tipos de conhecimento (Cassiolato e Lastres, 2005).

A abordagem do SNI foi elaborada, inicialmente, observando os sistemas de inovação no contexto nacional, uma vez que é no espaço dos Estados-Nação onde as interações entre os agentes e dinâmicas de aprendizado ocorrem. Considerando essa dimensão nacional, é no espaço territorial e institucional das nações onde são analisados os fatores específicos que influenciam as capacidades inovativas (Lundvall, 1992).

Depreende-se disso que os Estados-Nação ganham centralidade na determinação do processo de inovação. A inovação assume um caráter específico a esse contexto. Na abordagem do SNI não há uma fórmula única por meio da qual um processo ou dinâmica inovativa possam ser replicados de um contexto para outro. A interação dos agentes, as dinâmicas de aprendizado e a criação de novas competências são influenciadas pelas leis e regras presentes nos mercados no espaço territorial e institucional e condicionam a forma como o processo de inovação transcorrerá. O Estado influencia nesse processo e pode assumir um papel de indutor do desenvolvimento.

Dessas ideias surgem recortes alternativos do conceito de sistema de inovação, a exemplo dos sistemas setoriais de inovação (Malerba, 2002) que utilizam um recorte setorial para a análise do processo de inovação, ou ainda, uma abordagem focada nos sistemas e arranjos produtivos locais (Cassiolato e Lastres, 2005; Szapiro, 2005)²⁰.

A própria definição do conceito do SNI possui variações podendo ser mais restrita ou seguir uma abordagem ampliada (Cassiolato e Lastres, 2008). Em uma visão restrita do SNI, Nelson (1993) considera apenas as instituições que afetam diretamente o processo de aprendizado e a capacitação para as atividades inovadoras, tais como os institutos de pesquisa, as empresas, agências de fomento à inovação e o sistema educacional.

Por sua vez, autores como Freeman (1987), Lundvall (1992, 2010), Cassiolato e Lastres (2005) definem o conceito de SNI contemplando outros aspectos da estrutura produtiva e econômica, agregando todo o conjunto de instituições que afetam direta e indiretamente o processo de inovação.

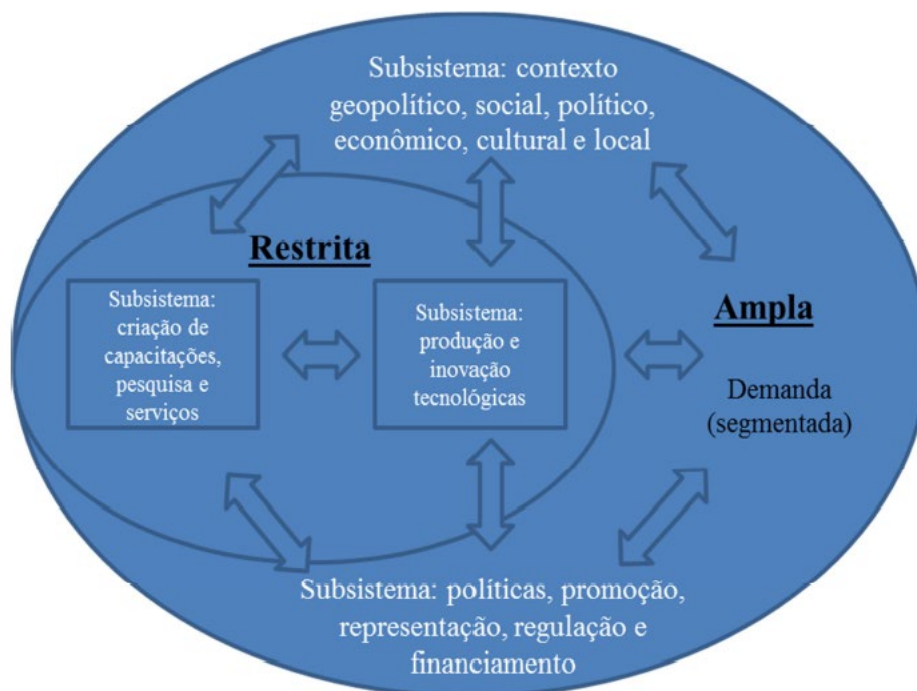
Nessa visão ampla do SNI são inseridas todas as instituições que influenciam os processos de aprendizado e a formação das capacidades dos agentes, a exemplo dos sistemas financeiros, a regulação, as políticas macroeconômicas e comerciais, dentre outros.

As empresas e a infraestrutura de conhecimento constituem o núcleo do sistema. O cenário mais amplo refere-se às instituições que contribuem e condicionam os processos de inovação. Estas incluem, os padrões culturais, o sistema educacional, os padrões de carreira nos mercados de trabalho, a desigualdade e sistemas de bem-estar social. Além disso, é importante o histórico de estabilidade macroeconômica e o acesso ao financiamento, a demanda por bens e serviços e as organizações do setor público. Por fim, não se pode ignorar a importância do governo e das políticas públicas que visam diretamente estimular a inovação, incluindo a sua difusão e uso eficiente (Lundvall, 2010).

Uma representação que auxilia na compreensão de ambas as abordagens foi elaborada por Cassiolato e Lastres (2008) com a indicação dos subsistemas que, em seu conjunto, compõem a visão ampla e a visão restrita do SNI (Figura 1). Destaca-se nessa representação a incorporação da demanda como elemento essencial do processo de inovação na visão ampla do SNI, ou ainda, a presença dos subsistemas de políticas, financiamento e de contexto geopolítico, social, político, econômico, cultural e local.

²⁰ Há outras abordagens como a dos sistemas regionais de inovação.

Figura 1 – A visão restrita e ampla do SNI e seus subsistemas



Fonte: CASSIOLATO E LASTRES (2008)

A visão ampla dos sistemas nacionais de inovação oferece, assim, uma abordagem mais abrangente e interativa do processo de inovação. Ela busca compreender os processos por meio dos quais os contextos políticos, sociais e culturais, bem como, as instituições influenciam o acúmulo de aprendizado coletivo e promovem a atividade inovadora em nível nacional, regional ou local.

Essa perspectiva abrangente permite uma melhor compreensão sobre as complexas dinâmicas da inovação. A sua flexibilidade, que permite diferentes dimensões de análise, fornece alternativas e pode viabilizar novas percepções para os formuladores de políticas e pesquisadores interessados em impulsionar o desenvolvimento econômico e a competitividade dos sistemas produtivos, científicos, tecnológicos e de conhecimento.

Na presente tese, portanto, será adotada a visão ampla do SNI como forma de incluir como dimensões de análise não apenas os subsistemas de produção e de ciência e tecnologia (pesquisa e educação), mas também as dimensões da demanda, do financiamento, das políticas públicas e dos contextos geopolíticos que criaram as condições para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil.

Como será visto, todos esses foram elementos relevantes e justificam a opção por um referencial teórico que seja capaz de trazer um olhar sistêmico sobre o complexo processo de desenvolvimento de uma indústria nascente no Brasil e que permita reflexões e novas perspectivas sobre as alternativas para a formulação e execução das políticas industriais.

Na próxima seção serão apresentadas as implicações da abordagem sistêmica da inovação para as políticas industriais.

1.5. Implicações da abordagem de sistemas de inovação para as políticas industriais

Como forma de conceber um quadro analítico para as políticas sistêmicas é importante interpretar como os conceitos-chave da perspectiva neoschumpeteriana e da abordagem dos sistemas de inovação podem ser traduzidos para o processo de formulação e execução das políticas industriais. Os conceitos apresentados nesta seção constituem o primeiro eixo do modelo analítico das políticas industriais sistêmicas apresentado na conclusão deste capítulo.

Um primeiro aspecto a ser ressaltado refere-se à mudança de perspectiva que o estudo dos sistemas de inovação representa em relação à economia *mainstream*. Para Lundvall (2010), enquanto a economia tradicional está preocupada em especificar a estrutura institucional que resulta em uma alocação ótima dos recursos existentes, a abordagem sistêmica da inovação se interessa em compreender como diferentes estruturas institucionais afetam a criação de novos recursos, uma percepção central para estruturação das políticas industriais que têm na criação de novas competências um de seus objetivos centrais.

Além disso, para discutir e relacionar as políticas industriais e a abordagem sistêmica, é importante relembrar conceitos já discutidos nas seções anteriores e que explicam a inovação como um processo evolutivo e dependente de trajetória. Da mesma forma os sistemas de inovação evoluem ao longo do tempo como um resultado do processo de desenvolvimento e de maneira amplamente não planejada.

Para a discussão das políticas industriais é relevante direcionar o foco para a construção dos sistemas, como propuseram List (1841) e Hamilton (1791), e para o fato de que a política pública é uma atividade consciente que precisa estimular e complementar o desenvolvimento espontâneo dos sistemas de inovação (Muchie, Gammeltoft e Lundvall 2003; Lundvall, Interakummerd and Lauridsen 2006).

Lundvall (2010) defende que uma forma de fazer isso é considerar uma análise que vai do micro ao macro e retorna ao micro, uma espécie de análise dialética da abordagem sistêmica. Nesse sentido, deve-se analisar, em primeiro lugar, as empresas, como se organizam internamente em termos de recursos, levando em consideração a especialização setorial. Um segundo passo compreenderia a análise da interação entre as empresas e a infraestrutura de conhecimento. A partir disso, abordar as especificidades nacionais, com especial referência ao sistema educacional, mercados de trabalho, mercados financeiros, regimes de bem-estar social e regimes de propriedade intelectual. Por fim, dedicar um olhar sobre como a organização das empresas e o posicionamento em redes seriam capazes de explicar a especialização e o desempenho do sistema de inovação.

Diferentes autores da abordagem sistêmica defendem o uso de políticas industriais visando o desenvolvimento. Freeman (1995) defende que a realização dessas políticas é essencial em uma economia de mercado globalizada. Lundvall e Borrás (1997), por sua vez, sustentam que as políticas nacionais de inovação são importantes diante da liberalização dos mercados financeiros.

Autores como Erber (1992) convergem e reforçam esses aspectos destacando que as políticas industriais são especialmente relevantes em países em desenvolvimento, onde os elos dinâmicos das estruturas produtivas não estão presentes e onde os arranjos institucionais são incompletos e carentes de capacidades. O Estado deve, portanto, assumir papel de indutor do processo de mudança estrutural, viabilizando o acúmulo de novas competências e a ruptura com as rotinas vigentes. O processo de inovação não ocorreria de forma natural e sem esse esforço direcionado nessas economias.

Por compreender a inovação como um processo complexo, não-linear e que ocorre em contextos específicos, as políticas devem ser desenhadas a partir da análise das condições e ambientes onde serão implementadas e levar em consideração as capacidades e competências disponíveis nas empresas e organizações, bem como, as instituições que estão presentes nesses contextos.

Segundo a abordagem sistêmica, não existe uma rota única de desenvolvimento e tampouco uma fórmula para a realização das políticas que seriam aplicadas a qualquer contexto. No entanto, é possível definir alguns dos elementos que devem influenciar na construção das políticas considerando os elementos e conceitos-chave da visão sistêmica já abordados.

Um dos objetivos das políticas industriais é a endogeneização do processo de inovação nos espaços nacionais, regionais, locais. No que consiste, todavia, endogeneizar o processo de inovação do ponto de vista das políticas industriais?

O primeiro aspecto é a compreensão da relação intrínseca entre inovação, conhecimento e aprendizado e de que estes não são mercadorias “disponíveis na prateleira” para acesso pelas empresas. Nas palavras de Lastres (1999) “...as informações, conhecimentos e tecnologias (*não*)²¹ são simples mercadorias, passíveis de serem transferidas sob mediação dos mercados via mecanismos de preços.” (Lastres, 1999, pg. 13).

As políticas devem, portanto, ter especial atenção à *construção* das novas tecnologias e à resolução dos problemas relacionados às inovações de produtos, serviços, processos. A participação dos diferentes agentes (empresas, instituições de pesquisa, etc.) nesse processo de desenvolvimento é

²¹ Inclusão própria. Neste artigo Helena Lastres critica a visão do que ela denomina como tecno-globalismo que compreende as tecnologias como mercadorias que podem ser transacionadas como quaisquer outros produtos comercializados nos mercados globalizados.

fundamental. Rejeita-se a ideia de um processo de desenvolvimento e transferência de conhecimento baseado puramente na importação de tecnologias.

Na visão sistêmica, a importação de tecnologias não deve ser compreendida como uma simples relação comercial por diferentes motivos. Primeiro, há de se considerar que as tecnologias são desenvolvidas para solucionar problemas que muitas vezes são específicos e podem não estar adaptadas à realidade dos diferentes países²². Além disso, mesmo o simples uso dessas tecnologias podem demandar capacidades e conhecimentos que não estejam suficientemente desenvolvidos em determinado país ou região geográfica (Cassiolato e Lastres, 2014).

Mais do que pensar em políticas de transferência de tecnologia, a visão sistêmica volta seu foco para a construção e o desenvolvimento dessas tecnologias em um processo que demanda a participação ativa dos agentes. Disso decorre, também, a importância dada às atividades e capacidades ligadas, por exemplo, à engenharia, às capacidades técnicas do “chão-de-fábrica”, do *design*, de concepção e gestão de projetos, *marketing*, não necessariamente ligadas à pesquisa e desenvolvimento, mas também às diferentes formas de resoluções de problemas contidos na produção, na execução das estratégias para o acesso aos mercados, no lançamento de produtos, dentre outros aspectos relativos ao ambiente concorrencial onde estão inseridas as empresas.

Assim, incentivar o acúmulo de conhecimentos contidos nas estruturas (produtivas, relacionais, de cooperação) é um dos focos das políticas industriais segundo a visão sistêmica e este acúmulo é decorrente de um processo de tentativa e erro e do “aprender fazendo”.

Nesse contexto, é importante também discutir o papel das empresas multinacionais (EMNs) e sua relação com o desenvolvimento das atividades de inovação no contexto da globalização produtiva e financeira. Há uma vasta literatura sobre a centralização das atividades mais intensivas em conhecimento nas matrizes das EMNs e nos países desenvolvidos (Amsden e Hikino, 2006; Cassiolato e Lastres, 2005; Zucoloto e Cassiolato, 2012; Bas e Sierra, 2002). Todavia, observa-se também uma tendência de internacionalização das atividades de P&D em direção aos países em desenvolvimento por meio da colaboração de empresas e instituições locais com as EMNs e com a formação de redes internacionais de conhecimento (Zucoloto e Cassiolato, 2012).

Segundo (Dosi, 1988; Patel, 1996), as EMNs tendem a concentrar suas atividades de P&D em regiões com infraestrutura tecnológica avançada, abundância de capital humano qualificado e um ecossistema de inovação já estabelecido. Como resultado, os países em desenvolvimento, que muitas vezes possuem SNIs pouco desenvolvidos, apresentam menor atratividade para essas atividades.

²² A título de ilustração, uma pá eólica ou um aerogerador desenvolvido para operação nas condições presentes no “Mar do Norte Europeu” poderia operar mais eficientemente se desenvolvido para atender as condições de vento existentes no Nordeste do Brasil, como veremos mais adiante na presente pesquisa.

Dessa forma, a distribuição das atividades de P&D continua a favorecer os países desenvolvidos, enquanto os países em desenvolvimento são predominantemente absorvedores de tecnologia, em vez de criadores, o que limita suas trajetórias de desenvolvimento.

Essa perspectiva é confirmada por estudos que analisaram estatísticas de patentes como os realizados por Patel (1996) e Minin (2005) e encontraram evidências fracas de um aumento do grau de internalização das atividades de P&D, uma predominância das matrizes das EMNs na absorção dessas atividades e um processo de internacionalização das atividades de P&D primordialmente voltado para outros países desenvolvidos (Patel, 1996 e Minin, 2005, *apud* Podcameni, 2014)²³.

Por outro lado, a depender dos processos de integração e das instituições presentes nos contextos em que estes processos ocorrem, bem como, das políticas estabelecidas, pode haver janelas de oportunidade para que as empresas locais desenvolvam capacidades dinâmicas em meio a um ambiente com presença marcante de EMNs. Lundvall *et al* (2015) destacam que países como a Coreia do Sul e a China conseguiram conjugar o desenvolvimento de empresas nacionais à atração de investimento de EMNs e impulsionaram a criação de capacidades dinâmicas locais e um processo de emparelhamento industrial e tecnológico.

Ao se credenciar como fornecedor de determinada EMN podem se abrir oportunidades que viabilizem o acesso a novos mercados, auxiliando a dar escala a demanda por componentes e insumos fornecidos pela empresa local. Além disso, pode haver oportunidades para a emulação e imitação de práticas produtivas avançadas por empresas locais e oportunidades para atividades como a de engenharia reversa de produtos fabricados pelas EMNs.

Todavia, políticas voltadas ao desenvolvimento de capacidades locais na infraestrutura de ciência e tecnologia (C&T) e nas empresas nacionais permanecem como um meio eficaz para impulsionar um processo de desenvolvimento endógeno e sustentável.

Tais aspectos são especialmente relevantes em indústrias nascentes e no desenvolvimento de novas atividades produtivas, onde os desafios e problemas a serem solucionados são diversos, podem ser significativos, não contem necessariamente com boas referências passadas e demandem capacidades muitas vezes ainda não desenvolvidas localmente.

²³ Szapiro *et al* (2016), ao estudar dois casos nos setores calçadista e de eletrônica no Brasil, apontam algumas das dificuldades que as empresas em países em desenvolvimento encontram no processo de integração nas cadeias globais. A necessidade de competir com uma gama crescente de produtores em mercados estrangeiros gera pressões por reduções de custos em um momento em que estas empresas ainda não tenham as condições de concorrer internacionalmente. Além disso, frequentemente, a demanda por capacidades inovadoras ou mais nobres da cadeia de valor, como o design e marketing, é limitada e há uma baixa tendência ao desenvolvimento de processos de aprendizado interativo. Por fim, são muitas vezes encontradas barreiras para a constituição de capacidades em etapas estratégicas da cadeia produtiva, uma vez que as empresas líderes possuem seus centros decisórios e laboratórios de P&D já estabelecidos no exterior.

Por esses motivos, as políticas devem alavancar a “capacidade de aprender” das empresas nacionais e dos demais agentes presentes no SNI. Um olhar sobre os sistemas educacionais, de treinamento profissional e sobre a infraestrutura de C&T é, portanto, essencial. Porém, na visão sistêmica, deve-se ir além da criação de competências e políticas voltadas exclusivamente para o fortalecimento desses elementos. Na visão ampla do SNI, o aprendizado é encarado de maneira mais abrangente e depende também das interações entre os diferentes agentes do sistema, mesmo aqueles não diretamente ligados às atividades de P&D.

Assim, essa “capacidade de aprender” deve ser estimulada pelas políticas por meio do incentivo à cooperação entre os agentes e à formação das redes de conhecimento e produção, do fortalecimento dos vínculos produtivos e da criação e fortalecimento de capacitações produtivas e inovativas nos diferentes subsistemas do SNI (Cassiolato e Lastres, 2014).

Os diferentes subsistemas contidos no SNI são dimensões de análise para a construção das políticas. A visão ampla do SNI permite um olhar sobre as políticas relacionadas diretamente às atividades produtivas, de educação, de C&T que compõem a visão restrita do SNI, mas também sobre as políticas de fomento e financiamento à inovação, de regulação, representação comercial, e sobre o papel da demanda como dimensão relevante do processo de inovação. Essa análise deve incorporar, ainda, a influência dos contextos geopolíticos, sociais, econômicos e culturais.

Nas políticas sistêmicas é crucial considerar a interação entre os diferentes subsistemas e o alinhamento entre os diferentes instrumentos de política e os fatores que condicionam, limitam ou impulsionam seus efeitos no processo de inovação. A influência desses subsistemas pode ser, ainda, mais ou menos determinante para o processo inovativo.

A forma como se dá essa interação e o grau de influência de cada subsistema varia de acordo com o contexto específico, com a indústria objeto da análise e as tecnologias. Além disso, depende da estratégia de desenvolvimento que se deseja incentivar. Considerar os diferentes subsistemas para o efeito do desenho das políticas passa, portanto, por compreender as diferentes formas e processos de interação entre esses diversos elementos. Nas palavras de Szapiro *et al* (2016):

“...uma política de inovação condizente com a abordagem de sistema de inovação deve considerar as articulações entre os diversos subsistemas e entre os diversos instrumentos de apoio diretos e indiretos à inovação (apoio e financiamento ao desenvolvimento da infraestrutura de P&D, apoio e financiamento das atividades inovativas, política de compras públicas, instrumentos de regulação setorial, apoio e financiamento ao desenvolvimento de atores coletivos, etc.)” (Szapiro et al, 2016, p. 3).

Nesse sentido, o conceito de políticas industriais explícitas e implícitas é útil. Herrera (1995), tendo a política científica como objeto de análise, as define da seguinte forma:

“La primera (políticas explícitas) es la "política oficial"; es la que se expresa en las leyes, reglamentos y estatutos de los cuerpos encargados de la planificación de la ciencia, en los planes de desarrollo, en las declaraciones gubernamentales, etc.; en resumen: constituye el cuerpo de disposiciones y normas que se reconocen comúnmente como la política científica de un país. La segunda, la política científica implícita, aunque es la que realmente determina el papel de la ciencia en la sociedad, es mucho más difícil de identificar, porque carece de estructuración formal; en esencia, expresa la demanda científica y tecnológica del "proyecto nacional" vigente en cada país.” (Herrera, 1995, p. 10)

As políticas explícitas são, portanto, aquelas que influenciam diretamente no objeto da política com vistas a atingir determinados objetivos. O fomento à P&D, seu financiamento, as políticas de formação e qualificação profissional são exemplos de políticas explícitas.

As políticas implícitas, por sua vez, são aquelas que não possuem uma atuação direta no objeto da política. Não enunciam determinado objetivo, ou mesmo, não definem um instrumento de atuação e fomento para esse fim. Ainda assim, influenciam o processo de desenvolvimento, reforçando-o ou indo em direção contrária ao mesmo, podendo até anular os efeitos da política explícita.

A política macroeconômica de um país é um exemplo de política implícita. Outras instituições ou a falta delas, fatores estruturais como a composição da estrutura produtiva local, a arquitetura do sistema financeiro são outros exemplos de elementos que configuram e fazem parte das políticas implícitas que podem reforçar ou reduzir o impacto das políticas explícitas.

Nesse sentido, o regime macroeconômico é fundamental para o desenvolvimento da base produtiva e condiciona a realização das políticas industriais sistêmicas. Para Coutinho (2005) a existência de um regime macroeconômico desfavorável ao crescimento e seu desalinhamento com as políticas explícitas estariam na raiz do processo de desindustrialização observado no Brasil nas décadas de 80 e 90, com efeitos negativos nas áreas de mais elevado conteúdo tecnológico da manufatura.

O autor define, a partir das variáveis câmbio e juros, quatro sistemas macroeconômicos e condições de competição. A situação benigna para o desenvolvimento industrial compreenderia um regime com baixa taxa de juros e um câmbio subvalorizado no qual um ciclo virtuoso de desenvolvimento seria possível. O desalinhamento entre essas políticas e a existência de um regime macroeconômico desfavorável ao crescimento limitam o desenvolvimento da atividade produtiva local (Coutinho, 2005).

Nesse contexto, Gadelha (2001) enfatiza a inadequação da distinção tradicional entre abordagens horizontais e seletivas para a política industrial. A primeira permitiria uma visão pouco precisa da delimitação do objeto particular da política industrial e desconsideraria os condicionantes impostos pela especificidade da estrutura produtiva e tecnológica. A segunda, embora permita uma identificação mais precisa do escopo e objeto da política, desconsideraria aspectos importantes não restritos ao âmbito setorial, prejudicando os desdobramentos de uma visão sistêmica do processo de inovação (Gadelha, 2001).

Seguindo uma abordagem sistêmica e neoschumpeteriana, o autor defende que a intervenção do Estado no processo de desenvolvimento produtivo deve focar na dinâmica de inovações na indústria. A abordagem sistêmica deve superar a falta de foco das políticas horizontais ao considerar as especificidades da estrutura produtiva e tecnológica como um objeto central de análise para a definição das suas medidas de política. Essas medidas, por sua vez, não se restringem à visão seletiva setorial e devem ser capazes de agir nas interdependências sistêmicas de diferentes indústrias e atividades.

Da mesma forma, nesta perspectiva, o Estado é um agente central desse processo por deter a capacidade de transformar o ambiente competitivo, fornecendo condições favoráveis às estratégias inovadoras das firmas (Gadelha, 2001), o que justifica, por exemplo, a sua atuação na construção de regimes ou dinâmicas favoráveis ao desenvolvimento por meio de uma ação coordenada das políticas explícitas e implícitas. Szapiro *et al* (2016) complementam esse debate ponderando que as políticas são elementos do sistema de inovação:

“A abordagem sistêmica do processo de inovação abarca uma nova percepção do papel e da importância da política de inovação, já que destaca o papel das políticas que afetam direta e indiretamente a inovação como elementos chave e inerentes ao próprio sistema de inovação. Ou seja, segundo esta concepção, as políticas de inovação são elementos constituintes do sistema de inovação e influenciam os outros subsistemas, contribuindo para determinar o desempenho e a capacidade inovativa das empresas.” (Szapiro *et al*, 2016, p. 3)

Podcameni (2014), por sua vez, propõe a seguinte síntese sobre a abordagem sistêmica aplicada às políticas públicas:

“Em suma, é fundamental, reconhecer a inovação como um elemento dinamizador e resultante de um processo sistêmico e, a partir daí, elaborar políticas que considerem todos os agentes deste sistema, suas interações, especificidades e contextos, a fim de mobilizá-los adequadamente, estimulando todo o sistema a buscar, de forma integrada e coordenada, a inovação adequada ao contexto local. Ademais, é importante a mobilização dos recursos da sociedade no sentido de desenvolver capacidade de tornar endógeno os processos de inovação”. (Podcameni, 2014, pg. 51).

Na presente pesquisa, propõe-se a seguinte definição: políticas industriais (sistêmicas) são capazes de articular as políticas explícitas e implícitas e, com isso, mobilizar os diferentes agentes do sistema nacional de inovação em torno de desafios da sociedade, estimulando uma ação coordenada entre eles que seja capaz de influenciar a velocidade e a direção da mudança técnica de diferentes indústrias e atividades, desenvolvendo novas capacidades no subsistema de produção e inovação.

1.6. Um olhar evolucionário sobre as organizações públicas

As seções anteriores abordaram os conceitos dos sistemas de inovação e suas implicações para as políticas industriais sistêmicas, lançando um olhar para diferentes dimensões desse sistema (primeiro eixo do modelo analítico). Na presente seção, direciona-se esse olhar para as organizações públicas e para a inovação como um processo também da esfera da política pública, com o objetivo de definir o segundo eixo do modelo analítico das políticas industriais sistêmicas.

As organizações públicas precisam ter capacidades adequadas para conduzir políticas orientadoras que não apenas corrijam as falhas de mercado, mas criem mercados ainda não existentes (Mazzucato, 2021), e sejam orientadas por desafios nacionais (Gadelha, 2016).

Com o objetivo de discutir no que consistiriam essas capacidades, explora-se uma parte da literatura que busca avançar na temática das capacidades estatais à luz da perspectiva evolucionária por meio da aplicação do conceito de capacidades dinâmicas ao setor público.

A presente tese parte do pressuposto que a avaliação do caráter sistêmico das políticas industriais passa pela análise das organizações que as planejam e implementam. Sem organizações com capacidades adequadas para atuar de forma efetiva, a chance de sucesso das políticas se reduz.

Importante ressaltar que organizações públicas com capacidades adequadas não garantem o sucesso das políticas, uma vez que, como já discutido, há diversos outros fatores que influenciam e podem limitar seus resultados, como, por exemplo, a existência de políticas implícitas desfavoráveis ao desenvolvimento.

A análise das organizações públicas é, assim, apenas mais uma das dimensões de análise das políticas sistêmicas. A literatura aqui apresentada será utilizada como referência para a discussão das capacidades das organizações que conduziram a política industrial eólica no Brasil.

Kattel e Mazzucato (2018) partem de duas perspectivas teóricas que discutem as capacidades das organizações para propor o conceito de “capacidades dinâmicas no setor público” - a perspectiva

neoschumpeteriana e sua análise em torno das capacidades dinâmicas das empresas²⁴ e a perspectiva weberiana de políticas públicas, que foca nas capacidades do Estado.

Em relação a primeira perspectiva, já abordada em seções anteriores, os autores citam a definição de capacidades dinâmicas das empresas elaborado por Teece e Pisano (1994): “*O termo 'dinâmico' refere-se ao caráter mutável do ambiente; certas respostas estratégicas são necessárias quando o tempo de lançamento no mercado e o momento são críticos, o ritmo da inovação está acelerando e a natureza da futura competição e dos mercados é difícil de determinar. O termo 'capacidades' enfatiza o papel fundamental da gestão estratégica em adaptar, integrar e reconfigurar adequadamente as habilidades organizacionais internas e externas, os recursos e as competências funcionais em resposta a um ambiente em mudança*” (Teece e Pisano, 1994, p.1).

A tradição weberiana, por sua vez, é bem representada por autores que formularam o conceito de “estado desenvolvimentista” a partir da análise das experiências de desenvolvimento dos países do leste asiático. Para esses autores uma burocracia qualificada e um estado com autonomia para formular e implementar estratégias de desenvolvimento, ao mesmo tempo que mantenha uma relação colaborativa com atores econômicos e sociais, seriam condições essenciais para o desenvolvimento (Amsden, 1989; Evans, 1995; Wade, 1990).

Evans (1995) elaborou o conceito de “*embedded autonomy*” que é amplamente utilizado para a discussão das capacidades estatais. O Estado é autônomo porque não está capturado por interesses específicos, mas está “enraizado na sociedade” por conta de sua integração com os diversos atores e com o tecido social e econômico que permite o entendimento das necessidades da sociedade e o reconhecimento de oportunidades de desenvolvimento.

Partindo dessa perspectiva, Painter e Pierre (2005) definem três tipos de capacidades estatais. A primeira é a capacidade política do estado em atingir os resultados apropriados com legitimidade e consentimento da sociedade para fazê-lo. A segunda é a capacidade de planejar e implementar políticas públicas, o que envolve fazer escolhas inteligentes e coerentes para alcançar os resultados desejados, por meio da coordenação dos diferentes instrumentos de política. A terceira é a capacidade administrativa que está relacionada à gestão de recursos (financeiros, técnicos e humanos) ao longo do ciclo de políticas.

Kattel e Mazzucato (2018) argumentam que falta à perspectiva weberiana um olhar evolucionário sobre as capacidades estatais que seja capaz de explicar por que determinado conjunto de capacidades são mais adequadas e têm mais sucesso que outras. Ou ainda, por que determinadas organizações

²⁴Alguns autores que contribuíram para a definição do conceito de capacidades dinâmicas a partir da perspectiva neoschumpeteriana a exemplo de David Teece, Richard Nelson, Sidney Winter, Kathleen M. Eisenhardt, Jeffrey A. Martin.

estão mais preparadas que outras para executar políticas transformadoras em ambientes de grande incerteza de diversas naturezas.

Nessa abordagem, em vez da seleção realizada pelo mercado e dos processos de retroalimentação que, segundo a perspectiva evolucionária, estão presentes nas atividades das empresas, o ambiente sociopolítico estimula os mecanismos de retroalimentação das funções do estado e, assim, funciona como mecanismo de seleção para as melhores práticas do poder público. O ambiente sociopolítico compreende desde a mídia e atores sociais, aos sistemas eleitorais e controles institucionais (Kattel e Mazzucato, 2018).

Da mesma forma como as empresas possuem, na perspectiva evolucionária de Nelson e Winter (1982), suas rotinas, que são fundamentais para lidar com as condições encontradas nos ambientes de seleção, reduzindo incertezas e orientando suas estratégias e tomadas de decisão. As organizações públicas possuem suas próprias rotinas que se adaptam, dentro de determinados limites, aos diferentes ambientes sociopolíticos e as permitem executar seus mandatos de política.

Essas rotinas em conjunto com as habilidades e competências conformam as capacidades dinâmicas das organizações públicas que, por sua vez, podem ser desdobradas, por exemplo, nas diferentes dimensões “weberianas” de capacidades estatais já citadas - capacidades políticas, de políticas públicas e administrativas.

Kattel e Karo (2016) argumentam que, para lidar com a incerteza e os desafios de longo prazo inerentes às políticas industriais, o Estado e suas organizações precisam desenvolver capacidades dinâmicas, ou seja, a capacidade de adaptar suas estruturas organizacionais e práticas políticas em resposta a novos desafios e oportunidades. Essas capacidades dinâmicas são essenciais para o desenho de políticas estruturantes com foco em grandes desafios nacionais, de forma que não apenas respondam às necessidades imediatas, mas que também antecipem futuras necessidades e promovam o desenvolvimento social e sustentável de longo prazo.

Para isso, é importante que as organizações públicas tenham a capacidade de reconhecer oportunidades (“*sensing*”) e aproveitá-las (“*seizing*”), reconfigurando seus recursos para implementar com efetividade novas formas de atuar nas políticas públicas. Pode-se, assim, traçar um paralelo com os conceitos de “ambidestria organizacional”, agora aplicado às organizações públicas.

Kattel, Drechsler e Karo (2022), ao investigar as capacidades dinâmicas e o papel das burocracias, argumentam que as burocracias estatais possuem duas características essenciais para o apoio à inovação. Em primeiro lugar são estáveis, pois se baseiam em um conjunto duradouro e seguro de regras, relacionamentos e procedimentos para executar suas funções de políticas públicas, distribuindo recursos, direcionando fluxos de capital e arbitrando disputas, lidando com incertezas de

diversos tipos e origens. Ao mesmo tempo, podem ser ágeis e capazes de se adaptar e responder de maneira criativa às mudanças nos contextos de atuação das políticas para a resolução de problemas e ajustes nas funções de políticas.

Segundo os autores, a combinação de estabilidade e agilidade confere às burocracias estatais a capacidade única de cultivar mudanças e criatividade, ao mesmo tempo em que protegem os aprendizados anteriores e os incorporam nas estruturas de governança existentes que garantem a sua sustentabilidade de longo prazo. Condições relevantes para a “capacidade de fazer políticas” e lidar com as incertezas inerentes ao processo de inovação na organização e nas empresas e sistemas produtivos.

Wu et al. (2015, p.166) definem capacidade de fazer política (*“policy capacity”*) como o conjunto de habilidades e recursos - ou competências - necessários para realizar funções de políticas. As competências dependem do entendimento tácito, das capacidades internas e dos recursos que uma organização acumula ao longo do tempo, do seu mandato em realizar essas políticas, bem como, da experiência e recursos que estas organizações possuem.

Karo e Kattel (2018) definem o conjunto de elementos centrais da capacidade de fazer políticas das organizações: a) rotinas organizacionais e suas variedades; b) busca e seleção e as fontes endógenas e exógenas de criação de novidade; c) ambientes de seleção e retroalimentação. Sugerem, ainda, que a execução das políticas ocorre em fases: definição de agenda, formulação, adoção, implementação, avaliação e revisões.

Já Wu et al. (2018) sustentam que as distintas fases demandam competências específicas dos servidores e das organizações públicas - a capacidade de diagnosticar problemas de políticas e suas causas subjacentes, projetar e comparar soluções para problemas, formular planos coerentes para a implementação de políticas e conduzir a avaliação dessas políticas.

Essas competências e habilidades não são apenas condições necessárias para a execução eficiente dos mandatos das organizações públicas, mas também elementos indutivos para possivelmente melhorar - e até mesmo mudar - no sentido de inovar - procedimentos, processos, instrumentos operacionais, etc., que são determinantes para a eficácia das políticas.

No caso do desenvolvimento da indústria eólica no Brasil, as instituições do poder executivo, os bancos de desenvolvimento e as agências de fomento foram organizações relevantes para a implementação das políticas públicas, como será demonstrado no decorrer da tese. Nessas organizações a definição de agenda têm relação com as diretrizes políticas formuladas por líderes políticos com mandatos públicos e é traduzida em prioridades corporativas. Essas prioridades são

então transformadas em regras e normas operacionais, por meio dos quais, recursos operacionais e financeiros são mobilizados.

No caso específico das instituições financeiras (IFs), dado o espaço macroeconômico, as diretrizes políticas e prioridades são desdobradas em regras e normas operacionais para a avaliação e concessão de crédito, na definição da proporção de alocação de recursos e nas atividades de fomento e articulação junto a outras instituições públicas ou a associações representativas de classe.

Na fase de implementação, políticas e prioridades são refletidas em condições financeiras. A extensão da contribuição de uma IF para uma diretriz política específica será finalmente materializada na capacidade dos beneficiários do financiamento em transformar projetos de investimento em instalações produtivas aptas a entregar bens e serviços à sociedade (Ferraz, Ramos, Plattek, 2021).

Todas essas considerações são especialmente relevantes para indústrias nascentes. Novas atividades econômicas demandam investimentos elevados em condições de elevadas incertezas, uma vez que os projetos não têm histórico de custos e retornos e a maturidade das tecnologias e dos processos produtivos são muitas vezes desconhecidos.

Esses projetos podem, ainda, não contar com uma demanda assegurada e ter os riscos produtivos associados às indústrias nascentes - incluindo aqueles relacionados a fornecedores e cadeias logísticas de valor - e um quadro institucional e regulatório não estabelecido ou que ainda careça de amadurecimento. As incertezas são ainda mais pronunciadas se os projetos ocorrerem em ambientes marcados por turbulências conjunturais oriundas dos ambientes econômicos e/ou políticos no âmbito doméstico e/ou internacional.

Por esses motivos, o apoio a novas atividades, muito frequentemente, demanda mudanças em modos de operação bem estabelecidos nas organizações públicas. No caso dos bancos de desenvolvimento e agências de fomento, novas atividades exigem mudanças na forma como o financiamento ao desenvolvimento é conduzido. Mudar o financiamento ao desenvolvimento implica em mudanças em uma série de atos e procedimentos, antes, durante e após a concessão financeira; como uma instituição promove e identifica possíveis clientes; como e sob quais parâmetros os projetos são avaliados e selecionados; como o desenho do instrumento financeiro é definido em termos das condições de crédito e dos financiamentos específicos (p.ex. taxas de juros, garantias); e, ainda, como é estabelecido o monitoramento e avaliação de projetos em suas fases de implementação e operação, atividade essencial para acompanhar os resultados e que serve de fonte de aprendizado para futuras operações de crédito (*ibid.*)

Serviços de financiamento ao investimento prestados pelas IFs têm na gestão do risco da carteira de projetos apoiados uma de suas atividades centrais para a sustentabilidade de longo prazo dessas

organizações. Além disso, essas são organizações que estão condicionadas por regras prudenciais do sistema financeiro nacional e internacional e que participam do processo de concorrência pela alocação do orçamento público (*ibid.*).

Diante disso, uma das capacidades formais mais relevantes das IFs é a compatibilidade dos seus padrões de captação e acesso a recursos com as condições de crédito que são capazes de oferecer aos clientes finais e os riscos que essas organizações podem assumir. A concessão de financiamentos de longo prazo demanda das IFs acesso a fontes de recursos de longo prazo. Fontes de longo prazo que viabilizem o acesso a recursos com escala e ocorram em regimes de captação mais previsíveis e estáveis, permitem que as IFs assumam maiores riscos sem comprometer sua sustentabilidade financeira.

Essas são condições que influenciam na capacidade das IFs em apoiar projetos de maior risco e incerteza. Projetos de investimento, por exemplo, em infraestrutura, possuem longo prazo de maturação e demandam volumes significativos de recursos. A viabilidade desses projetos depende de condições de financiamento compatíveis em termos de prazos, taxas e estruturas de garantias. Projetos em novas infraestruturas ainda não conhecidas representam maiores riscos e incertezas para as IFs na estruturação desses financiamentos.

O investimento produtivo em novas áreas e tecnologias, por exemplo, na indústria, possuem maiores riscos e incertezas para o investidor em relação a atividades já conhecidas por este. Contar com alternativas de financiamento de longo prazo reduz os custos financeiros e riscos de restrição de acesso a crédito, com impactos positivos na geração de caixa das empresas a partir de suas atividades operacionais já existentes, dando maior segurança para que o investidor tome uma decisão, por exemplo, de diversificação produtiva.

Portanto, padrões de financiamento e captação robustos, que viabilizem a diversificação do risco, por meio de uma carteira de financiamento a projetos em diferentes setores, e escala na concessão de apoio, permitem que as IFs assumam os maiores riscos e incertezas presentes nos projetos de infraestrutura e nas indústrias nascentes sem comprometer sua sustentabilidade financeira.

Essas são capacidades necessárias para que as IFs ampliem a concessão de financiamento mais rapidamente, dando escala a esses projetos e às indústrias nascentes, o que, por sua vez, tem o potencial de acelerar a curva de aprendizado tanto das empresas e setores apoiados, quanto das IFs na análise de novos projetos nessas novas áreas.

Dessa discussão, é importante compreender que as capacidades dinâmicas das organizações públicas contemplam suas rotinas, a existência de uma burocracia qualificada e que tenha autonomia para aprender e inovar nas políticas e os instrumentos adequados para executarem suas funções de

política. Além disso, abrangem as normas, regimes financeiros, jurídicos e legais, que condicionam a forma como essas organizações podem reconfigurar seus recursos, que podem ser financeiros ou não financeiros.

Os elementos discutidos nesta seção constituem a segunda dimensão do arcabouço analítico das políticas sistêmicas. Essa dimensão propõe um olhar sobre as inovações como um processo inerente à execução das políticas e à atuação das organizações públicas. Políticas sistêmicas são também políticas capazes de inovar para solucionar os desafios a que se propõem resolver e para lidar com as dificuldades que estiveram presentes nesse processo.

1.7. Regimes tecnológicos e as estruturas industriais

A presente seção explora a abordagem dos regimes tecnológicos como um referencial teórico para o estudo das diferentes formas com que os processos de inovação ocorrem em determinados segmentos industriais e como as tecnologias condicionam e influenciam a evolução dessas indústrias ao longo do tempo. Se as seções anteriores abordaram a inovação como um processo sistêmico e que também ocorre nas organizações públicas, a presente seção focaliza a análise das estruturas produtivas alvo das políticas industriais. Os conceitos que serão apresentados constituem o terceiro eixo do modelo analítico das políticas industriais sistêmicas.

A literatura dos regimes tecnológicos tem sido muito utilizada para investigar diferentes temáticas por meio de estudos empíricos quantitativos e qualitativos. Há estudos que analisam as correlações entre regimes tecnológicos e diferentes aspectos, como a intensidade de investimento em P&D (Lee e Noh, 2009), o tamanho das firmas (Revilla e Fernández, 2012) e os padrões de produtividade das empresas (Castellaci e Zheng, 2010). Esses estudos também destacam o papel da demanda como um componente relevante para a definição do investimento em P&D e da estrutura de mercado (Almudi et al., 2013), além de abordarem aspectos qualitativos dos projetos de desenvolvimento de tecnologias (Revilla e Fernández, 2014), entre outros.

Mais do que os resultados e conclusões desses estudos, o ponto a se destacar é a utilidade da abordagem dos regimes tecnológicos como instrumental para análise das diferentes dinâmicas de inovação das empresas e das estruturas industriais.

A ideia básica dos regimes tecnológicos é que, embora as atividades inovadoras possuam características distintas nas diferentes indústrias, é possível observar certos padrões na forma como essas atividades se desenrolam em uma indústria específica. Esses padrões decorrem de diferentes fatores relacionados às características das tecnologias, ao modo como estas se relacionam com a estrutura industrial/setorial e ao ambiente onde ocorrem as interações entre agentes.

Segundo Malerba e Orsenigo (1997), a ideia de regimes tecnológicos permite uma representação sintética das propriedades econômicas mais importantes das tecnologias e dos processos de aprendizado que estão presentes nas atividades inovadoras. Os autores defendem que existem algumas características invariáveis (em relação a preços relativos e mecanismos de incentivo) das dinâmicas de aprendizado e acumulação de conhecimento que afetam significativamente a taxa de inovação e a estrutura da atividade inovadora e que essas características são específicas a depender da tecnologia e do segmento industrial. A partir da análise dessas características seria possível descrever o “regime tecnológico” vigente e compreender os padrões que determinam suas dinâmicas de inovação.

Os regimes tecnológicos seriam, assim, uma importante ferramenta para compreender, por exemplo, por que para determinada tecnologia, as atividades inovadoras estão concentradas em poucos atores e, para outras, essas atividades estão distribuídas em um número relevante de empresas. As razões pelas quais as principais atividades inovadoras são realizadas por empresas grandes, enquanto, em outras, as empresas pequenas é que apresentam maior dinamismo e capacidade inovativa. Ou ainda, a depender das características das tecnologias, por quais motivos determinada indústria ou setor pode apresentar uma taxa de entrada e saída de empresas no grupo de empresas mais inovadoras mais elevada, enquanto, em outras, observa-se maior sustentabilidade entre os principais agentes líderes da inovação.

Malerba e Orsenigo (1990, 1993) propõem que um regime tecnológico é uma combinação específica de algumas propriedades fundamentais das tecnologias: condições de oportunidade e apropriabilidade das tecnologias; graus de acumulação do conhecimento tecnológico; e características da base de conhecimento. A Tabela 1 detalha essas propriedades organizando-as em diferentes dimensões.

A caracterização das tecnologias a partir dessas dimensões auxilia na compreensão sobre como o conhecimento é transmitido e como ocorrem as dinâmicas de aprendizado nas empresas e, por consequência, como influenciam na adoção e definição das suas estratégias e na seleção das estratégias inovadoras.

Tabela 1 – Dimensões e propriedades das tecnologias.

Oportunidades tecnológicas	<p>Representa a facilidade de inovar para determinado volume de recursos disponibilizados e é influenciada por 4 dimensões:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nível: maiores (ou menores) oportunidades para inovar, que implicam maior (ou menor) probabilidade em inovar. • Variedade: variedade das oportunidades que pode estar relacionado a uma maior variedade de soluções tecnológicas para a inovação, por exemplo, em um estágio de desenvolvimento onde não exista, ainda, um <i>design</i> dominante. • <i>Pervasiveness</i> (disseminação/aplicação): se determinado conhecimento pode ser aplicado a vários produtos e mercados ou a um número limitado deles. • Origem: de onde as oportunidades surgem, p.ex. se de importantes descobertas da ciência, avanços incrementais em equipamentos e componentes, externas como das cadeias de fornecimentos ou dos usuários das tecnologias, etc.
Condições de apropriação da tecnologia	<p>Refere-se às possibilidades de proteção do conhecimento e das tecnologias em relação às imitações, o que afeta diretamente a capacidade das empresas em auferir retornos relevantes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nível: alto significa maior capacidade em proteger o conhecimento adquirido e a inovação. Baixo implica um ambiente onde o conhecimento pode ser facilmente adquirido e a inovação copiada (maiores externalidades/<i>spillovers</i>) • Meios: diferentes formas de proteção da tecnologia e do conhecimento, seja por meio de patentes, segredo industrial, inovação continuada, controle de ativos complementares. Maior efetividade dos meios de apropriação afeta a natureza das externalidades do conhecimento em determinada indústria.
Grau de acumulação do conhecimento tecnológico	<p>Dimensiona a importância que as atuais tecnologias e o acúmulo de conhecimento possuem para as futuras inovações, o que implica p.ex. que firmas mais inovadoras hoje possuam maior probabilidade de serem as firmas inovadoras de amanhã.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retornos crescentes do aprendizado: a geração de conhecimento parte da base de conhecimento e da experiência acumulada. Os processos de aprendizado passados e sua natureza cognitiva condicionam a pesquisa atual. • Recursos organizacionais: capacidades presentes na organização que sejam relevantes para a geração de novos conhecimentos e para a capacidade de inovar. • “Sucesso gera sucesso”: o sucesso em inovar no passado pode gerar lucros que, por sua vez, podem ser reinvestidos nas atividades que vão gerar as futuras inovações criando um círculo virtuoso da acumulação do conhecimento.
Características das bases de conhecimento	<p>Refere-se às propriedades do conhecimento no qual estão baseadas as atividades inovadoras e tem relação com algumas dimensões:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genérico x específico. • Tácito x codificado. • Complexo x simples: no sentido de integrar diferentes tipos de conhecimento (engenharia elétrica, química, física de materiais, etc.) e tecnologias. • Independente/individual x sistêmico: se o conhecimento é facilmente identificável e isolado ou parte de um sistema mais amplo de forma que não possa ser retirado desse sistema.

Fonte: elaboração própria a partir de Malerba e Orsenigo (1990, 1993)

Regimes tecnológicos com altos níveis de oportunidades tecnológicas apresentam maior turbulência em termos de novas empresas inovadoras, com frequentes trocas entre as empresas líderes. Porém, se essas empresas tiverem sucesso no estabelecimento de estratégias inovadoras

vencedoras, podem garantir uma vantagem competitiva significativa, eliminando a concorrência e levando à concentração setorial. Por outro lado, regimes com baixas oportunidades tecnológicas podem limitar o crescimento inovador das empresas estabelecidas, reduzindo a diferenciação entre os resultados obtidos por essas, levando a uma estrutura industrial menos concentrada em determinado segmento.

Elevados níveis de apropriação das tecnologias permitem que as empresas inovadoras mantenham as vantagens competitivas obtidas com o sucesso de suas inovações e podem levar a uma estrutura industrial com número limitado de empresas inovadoras. Baixos níveis de apropriação, por outro lado, podem desincentivar a busca por estratégias inovadoras ao mesmo tempo em que permitem uma maior difusão do conhecimento pelas empresas, resultando em um menor nível de concentração na estrutura industrial.

Em relação à acumulação do conhecimento tecnológico, pode-se esperar que maior grau de acumulação determine estruturas industriais com maior prevalência das empresas inovadoras como líderes em seus ramos de atuação e a existência de maiores barreiras à entrada de novas empresas inovadoras. A construção de capacidades dinâmicas e a experiência adquirida nas empresas criam, nesses casos, vantagens competitivas relevantes e duradouras.

Por fim, as bases de conhecimento influenciam a estrutura industrial e os regimes tecnológicos. A predominância do conhecimento tácito pode dificultar a capacidade de imitação das empresas e, com isso, restringir a difusão desse conhecimento. Já o conhecimento codificado pode permitir uma maior especialização, se esse mesmo conhecimento for específico, e uma divisão do trabalho mais ampla e profunda entre empresas. Bases de conhecimento mais complexas demandam capacidades diversas das empresas que permitam a integração dos distintos conhecimentos específicos.

A conjugação dessas dimensões define os regimes tecnológicos. Segundo Malerba e Orsenigo (1997) regimes que contem com uma base de conhecimento altamente complexa, porém separável e codificada, combinada com condições de alta oportunidade e apropriabilidade, podem levar ao desenvolvimento de redes externas compostas por empresas especializadas complementares que coexistem com integradores de sistema.

No caso de um conhecimento separável, mas altamente tácito e apropriável, as empresas podem ser induzidas a desenvolver alianças estratégicas de longo prazo, relacionadas a atividades inovadoras complementares a serem implementadas em conjunto e compartilhadas.

As considerações acima sobre os regimes tecnológicos estão contempladas no terceiro eixo do modelo analítico das políticas industriais sistêmicas. Na presente pesquisa, considera-se que as políticas sistêmicas incorporam, em seus processos de planejamento e implementação, uma análise

sobre as dinâmicas de aprendizado e inovação presentes nas estruturas industriais. Os conceitos aqui apresentados serão utilizados para discutir as dinâmicas presentes na estrutura produtiva da indústria eólica e avaliar se a política industrial eólica buscou compreendê-las.

1.8. Considerações sobre a gestão de conflitos nas políticas industriais

Na presente seção são abordadas algumas considerações sobre a temática da gestão de conflitos nas políticas industriais com o objetivo de complementar as seções anteriores com conceitos que serão incorporados no modelo analítico das políticas industriais sistêmicas.

A forma como as relações de poder influenciam o desenvolvimento de novas tecnologias e a difusão das inovações é um campo de estudos importante para a política industrial. O foco no aprendizado interativo e na cooperação entre os diferentes agentes não deve levar a uma subestimação dos conflitos em torno das disputas por rendas e poder que condicionam os processos de inovação (Lundvall, 2010; Arocena e Sutz, 2002; Arocena, 2017).

Em um contexto global onde o acesso ao conhecimento técnico está se tornando cada vez mais restrito e desigual, é importante considerar que as possibilidades de aprendizado podem ser bloqueadas e as competências existentes destruídas por razões políticas relacionadas à distribuição desigual de poder em esfera local, regional e global (Lundvall, 2010).

Nesse sentido, na dimensão da governança da política, a formulação e a execução das diferentes ações da política devem ser continuamente acompanhadas e ajustadas ao longo do tempo visando prevenir consequências sociais indesejáveis e promover o desenvolvimento coeso, inclusivo e sustentável (Cassiolato e Lastres, 1999).

Na presente seção serão discutidas duas perspectivas que abordam como o poder se conecta com as políticas industriais tanto em uma dimensão externa quanto interna a elas. A primeira aborda a gestão de conflitos externos às políticas e tem relação com a escola institucionalista. A segunda discute como é possível buscar uma melhor representação da sociedade no contexto interno das políticas e utiliza conceitos da teoria do poder público²⁵. Como será argumentado, ambas as perspectivas trazem elementos importantes para a sustentabilidade das políticas em regimes democráticos e podem contribuir para políticas mais efetivas na promoção da inovação.

²⁵ A teoria do poder público (“Public Power Theory”), influenciada pelo filósofo John Dewey, sugere que o poder público é o poder do povo para atingir objetivos coletivos, utilizando o governo como um meio para isso. Nessa visão, a política pública deve ser construída a partir do engajamento democrático e da participação ativa da sociedade, com o objetivo de garantir que o governo reflita os interesses coletivos.

a) A gestão de conflitos como uma dimensão externa das políticas.

A elaboração e a implementação de políticas industriais não devem ser encaradas como uma ciência técnica voltada exclusivamente para alcançar maior eficiência econômica por meio da inovação. Elas constituem, fundamentalmente, um regime politicamente construído.

Dessa forma, enfrentam e estão sujeitas a desafios inerentes aos contextos políticos, onde os conflitos são frequentes e aspectos como a legitimidade para executar as políticas e a existência de controles democráticos desempenham um papel crucial (Chang e Andreoni, 2016).

Chang (1996) define as políticas industriais como “... *uma política voltada para indústrias específicas (e empresas como seus componentes) com o objetivo de alcançar resultados que são percebidos pelo Estado como eficientes para a economia como um todo*” (Chang, 1996, p. 60). Essa é uma definição restrita, uma vez que relaciona as políticas industriais especificamente ao incentivo a determinadas indústrias.

Uma política industrial também pode ser definida, de forma mais abrangente, como o esforço do Estado para incentivar a transformação estrutural de uma economia, visando aumentar a eficiência, o crescimento da produtividade e a competitividade (Chang, 2011). Ou de forma ainda mais ampla, como qualquer tipo de intervenção ou política governamental seletiva que tente alterar a estrutura de produção em favor de setores que se espera oferecerem melhores perspectivas de crescimento econômico, de uma forma tal que não ocorreria na ausência de tal intervenção no equilíbrio de mercado (Pack e Saggi, 2006).

Na presente tese, definiu-se que políticas industriais (sistêmicas) são capazes de articular as políticas explícitas e implícitas e, com isso, mobilizar os diferentes agentes do sistema nacional de inovação em torno de desafios da sociedade, estimulando uma ação coordenada entre eles que seja capaz de influenciar a velocidade e a direção da mudança técnica de diferentes indústrias e atividades, desenvolvendo novas capacidades no subsistema de produção e inovação.

Percebe-se, dessas diferentes definições, que as políticas industriais implicam fazer escolhas em diferentes dimensões, priorizando atividades, setores ou ações transversais; determinadas indústrias internamente aos setores da economia; a implementação de certas combinações de instrumentos, em detrimento de outras (p.ex. política de compras e financiamento vs. incentivos tributários); o incentivo de certas atividades que sejam entendidas como mais nobres (p.ex. P&D e engenharia local em vez da contratação de serviços e importação de tecnologia); a alocação de incentivos e benefícios a determinados grupos de pessoas e empresas (p.ex. pequenas ou grandes empresas, capital nacional ou atração de investimento estrangeiro) com diferentes objetivos de geração de emprego, renda,

desenvolvimento regional que, dentre tantas outras possíveis escolhas, implicam a exclusão de outros objetivos ou o não atendimento de determinados grupos de interesse da sociedade civil.

Fazer essas escolhas implica, necessariamente, a não escolha de outros elementos e, com isso, o benefício (ou prejuízo) de determinados segmentos da sociedade. Logo, as políticas estão suscetíveis ao surgimento de conflitos gerados pelos grupos de interesse não favorecidos por elas – ou mesmo menos favorecidos – e, por isso, precisam ter legitimidade para serem executadas de forma efetiva ao longo do tempo.

Como já exposto na presente tese, a opção pela realização de políticas industriais baseia-se na evidência histórica das experiências de desenvolvimento dos países que, invariavelmente, fizeram suas escolhas e opções que impulsionaram o crescimento, a geração de renda e o bem-estar social em alguns casos (Reinert, 2008). A questão, portanto, não é entre fazer ou não fazer escolhas, mas “como” fazê-las.

A opção pela não estruturação de políticas industriais e por depender, exclusivamente, da alocação de recursos na economia mediada pelo mercado, além de contrapor as evidências históricas das experiências de desenvolvimento, é por si só também uma escolha. Os mercados não são uma entidade natural neutra independente da sociedade, mas uma construção histórica e social (Polanyi, 1980). Uma vez que os mercados dependem de instituições sociais, políticas e legais, que moldam suas operações, e do processo histórico por meio do qual essas instituições foram constituídas, a própria regulação pelo mercado é uma opção pelo favorecimento de determinados grupos de interesse.

Chang e Andreoni (2016) argumentam que quanto maior o foco de determinada política, maior seu potencial de geração de conflitos. Isto porque políticas mais focalizadas permitem uma melhor identificação dos seus beneficiados e não-beneficiados. A partir disso, sugerem que políticas mais focalizadas, como geralmente são, por exemplo, as políticas fiscais, requerem maior gestão de conflitos do que políticas menos focalizadas, como as políticas monetárias.

Alguns autores contestam, todavia, a ideia de que políticas monetárias não requereriam gestão de conflitos, afinal, impactam nos resultados dos conflitos distributivos presentes na sociedade que definem como é distribuída a renda na economia (Rowthorn, 1977; Lindberg e Maier, 1985 *apud* Chang e Andreoni, 2016). Uma política monetária mais restrita, tende a favorecer os capitalistas em relação aos trabalhadores, pelo maior poder que esses possuem em subir seus preços e recompor seus lucros e rendas, ao mesmo tempo que favorece o capital financeiro sobre o industrial, uma vez que maiores taxas de juros encarecem os custos financeiros da indústria e dificultam a tomada de decisão de investimento (Chang e Andreoni, 2016).

Seguindo esse raciocínio, a implementação bem-sucedida de qualquer política exige uma gestão cuidadosa dos conflitos que ela gera, sejam eles conflitos já existentes, sejam os conflitos latentes que são trazidos à tona pela própria política. Esse é o raciocínio por meio do qual Chang e Andreoni (2016) defendem a incorporação no âmbito das políticas industriais de medidas direcionadas à gestão de conflitos (“*conflict management*”).

Para os autores há dois tipos de medidas de gestão de conflitos: as que atuam reativamente aos conflitos existentes (“*reactive measures of conflict management*”) e as que antecipam os conflitos que venham a surgir (“*anticipatory measures of conflict management*”). Embora não seja uma regra, as medidas reativas, em geral, estão mais ligadas à mitigação de dificuldades encontradas em determinadas indústrias não necessariamente como um resultado da política industrial, enquanto as medidas preventivas se relacionam mais com os conflitos gerados pela implementação da política.

As medidas reativas podem ser temporárias ou permanentes. Quando as dificuldades de determinadas indústrias possuem uma natureza temporária, os governos podem reduzir os conflitos nessas indústrias por meio de proteção ou subsídios para que as empresas se reestruturem até a superação da dificuldade encontrada. Um exemplo desse tipo de medida são os incentivos dados às empresas e indústrias durante a pandemia de COVID-19 que compreenderam, no Brasil, desde linhas incentivadas de crédito e garantias, a subsídios fiscais que reduziram os custos com as folhas de pagamento dos trabalhadores nas empresas, embora neste último caso, o benefício temporário persista até os dias de hoje.

Quando a dificuldade encontrada é mais estrutural e de longo prazo, o governo pode intermediar negociações entre os capitalistas que promovam a coordenação das decisões de investimento e visem equilibrar a capacidade produtiva e a demanda por bens e serviços, alocando incentivos para a redução de capacidade (“*capacity scrapping*”), resgatando indústrias em dificuldades financeiras ou mesmo nacionalizando determinados setores industriais²⁶.

Tais medidas devem ser acompanhadas de esforços de reestruturação por parte das empresas visando a retomada de sua capacidade competitiva tão logo quanto possível, evitando a dependência continuada dos incentivos a essas indústrias. Se estiverem inseridas em uma estratégia de retomada da competitividade por parte das empresas, são medidas que, embora tenham impactos negativos no curto prazo – por exemplo, o fechamento de uma fábrica implica a demissão dos empregados que trabalhem nela – podem reduzir custos fixos e operacionais de forma a viabilizar recomposição das

²⁶ Os autores dão como exemplo a atuação do governo japonês junto ao setor naval na década de 1980 articulando a negociação pela redução de capacidade produtiva dos estaleiros; os incentivos alocados pelo governo da Coreia do Sul para promover o sucateamento de máquinas na indústria têxtil também na década de 1980; o resgate junto ao setor automotivo realizado pelo governo americano após a crise de 2008; ou a nacionalização do setor naval na Suécia na década de 1970 (Chang e Andreoni, 2016, p. 30).

margens e retornos que reorientem as empresas e as coloquem novamente em rotas de crescimento no médio e longo prazo.

A falta de coordenação e alocação de incentivos por parte do governo em processos como os acima discutidos – onde situações conjunturais ou estruturais impliquem em uma queda acentuada da demanda ou a elevação de custos de determinado setor – podem levar a um desbalanceamento entre a capacidade produtiva instalada e o tamanho do mercado, gerando conflitos importantes entre as empresas que prejudicam o contínuo desenvolvimento de suas atividades, o que justificaria a intervenção governamental para evitá-los²⁷.

Em relação às medidas preventivas e que antecipam a gestão de conflitos, Chang e Andreoni (2016) citam a definição de prioridades e sua divulgação junto a sociedade, justificando as escolhas definidas pelo governo, como um mecanismo capaz de reduzir conflitos entre os diferentes grupos de interesse. Aqui não se trata apenas de uma boa comunicação por parte do governo, mas sobretudo de sua capacidade de organizar projetos de desenvolvimento coerentes e que coordenem as expectativas e interesses presentes na sociedade.

Uma boa capacidade de definição e divulgação dessas prioridades pode se beneficiar ainda mais se, junto a elas, forem divulgados como serão viabilizadas, por meio de quais mecanismos, em busca de que metas e resultados, e como as medidas adotadas serão avaliadas ao longo do tempo. Planos e estratégias bem elaborados e coerentes com suas metas e etapas, podem ser capazes de coordenar expectativas, antecipando conflitos que venham a surgir. Se não evitam críticas relacionadas ao favorecimento de determinados grupos de interesse, ao menos podem reduzir as acusações de clientelismo, populismo eleitoral e corrupção.

Outro tipo de medida preventiva capaz de gerir conflitos são as relacionadas à mitigação de riscos para os atores que teriam prejuízos (ou mesmo não obteriam vantagens) decorrentes de mudanças benéficas para a sociedade e que atuariam contra as medidas do governo direcionadas a promovê-las, uma espécie de “seguro social” para os capitalistas. Essas seriam medidas que reduziriam os incentivos para que os capitalistas resistam a mudanças. Um exemplo é a lei das companhias limitadas

²⁷ Um exemplo local que pode ser citado, é o caso da indústria automobilística brasileira. Após um ciclo de investimentos em nova capacidade produtiva entre 2007-12, impulsionado pelo crescimento do consumo e do PIB nesse período - que levou essa indústria a praticamente dobrar a capacidade instalada de produção de veículos para cerca de 4,5 milhões de unidades ao ano e a atingir uma produção no pico de 3,7 milhões de veículos em 2013 - a crise econômica e política de 2014-16 gerou uma retração do mercado brasileiro de automóveis, que reduziu a produção nacional para 2,2 milhões de veículos em 2016, não tendo se recuperado desde então (ANFAVEA, 2024). A elevada ociosidade nessa indústria não foi acompanhada de políticas por parte do governo federal visando reequilibrar capacidade instalada e a demanda por veículos, onerando sobremaneira essa indústria, que passou a operar com um nível elevado de custos fixos, não compatível com sua geração de caixa, gerando prejuízos financeiros expressivos. Estabeleceu-se, a partir disso, um regime de elevados preços dos veículos e alta ociosidade na indústria, que segue operando, ainda em 2024, com elevados custos fixos e um nível de emprego próximo ao encontrado no início do ciclo de investimento, em 2007.

que blindou o patrimônio pessoal dos empreendedores em caso de insucesso de suas decisões e prejuízos decorrentes de seus investimentos²⁸. São medidas que não apenas incentivam a tomada de decisão e a assunção de riscos, como reduzem a resistência a eventuais reestruturações decorrentes do processo de desenvolvimento. O estado de bem-estar social e o seguro-desemprego seriam um equivalente desse tipo de medida para os trabalhadores.

Embora estas não sejam medidas “clássicas” de políticas industriais, políticas sistêmicas devem ter essa compreensão sobre seu objeto de análise, qual seja, o processo de desenvolvimento de capacidades que promovam a inovação em determinadas indústrias. Políticas que incorporem um olhar sobre os conflitos existentes em seus processos de formulação e implementação podem ter maior chance de sucesso.

b) A gestão de conflitos como uma dimensão interna das políticas

Outra temática importante, relacionada a como as estruturas de poder influenciam as políticas industriais, é a que trata da governança das políticas e dos mecanismos capazes de mediar os conflitos na esfera interna dessas políticas.

Na presente seção serão explorados alguns conceitos derivados da teoria do poder público²⁹ e do campo do direito administrativo, que tratam dos processos de controle democrático das políticas industriais, reinterpretando-os a partir da perspectiva neoschumpeteriana e dos sistemas de inovação.

Defende-se que a integração dessas abordagens tem o potencial de influenciar no desenho de políticas industriais sistêmicas, que não apenas promovam o aprendizado e a inovação, mas também asseguram a participação democrática e a inclusão social.

Políticas industriais que tenham sucesso em promover o desenvolvimento industrial, tecnológico e a inovação, inevitavelmente, irão acelerar o processo de acumulação capitalista e, com isso, impulsionarão os processos de concentração de renda e de poder em determinados grupos de interesse da sociedade. Marx estava certo sobre o processo de concentração de riqueza e poder gerando desigualdades crescentes no sistema capitalista, como demonstrado por Piketty (2014).

Acelerar o processo de acumulação capitalista é, todavia, um dos objetivos das políticas industriais, pois, justamente por meio desse processo é que inovações podem ser criadas e rendas extraordinárias difundidas por outros setores, por diferentes canais como pelos encadeamentos

²⁸ Lei nº 10.406/2002 – Código Civil brasileiro.

²⁹ A teoria do poder público (“Public Power Theory”), amplamente influenciada pelo filósofo John Dewey, sugere que o poder público é o poder do povo para atingir objetivos coletivos, utilizando o governo como um meio para isso. Nessa visão, a política pública deve ser construída a partir do engajamento democrático e da participação ativa da sociedade, com o objetivo de garantir que o governo reflita os interesses coletivos.

produtivos e o crescimento do consumo, potencializando efeitos sistêmicos de geração de renda em determinada economia, que levem ao crescimento econômico e ao desenvolvimento (Reinert, 2008).

Justamente por conta dessa característica da dinâmica capitalista e sua tendência a concentrar renda e poder é que autores como Carlota Perez (Perez, 2004), ao discutir possíveis estratégias de desenvolvimento e emparelhamento das economias em desenvolvimento, sugerem a adoção de uma estratégia dual, que envolva, por um lado, a implementação de políticas voltadas para o processo de mudança estrutural com foco no desenvolvimento de algumas indústrias, as quais, por meio da especialização e da inovação, disputariam a liderança global.

Por outro lado, haveria uma estratégia focada no desenvolvimento de setores geradores de emprego e renda para uma grande parte da população, nas diferentes regiões geográficas e territórios, que, embora não participem da dinâmica de concorrência global e tampouco visem a liderança internacional em seus segmentos, sejam criadores de capacidades locais e contribuam para a melhoria de vida dos habitantes em nichos de mercado locais e regionais. A primeira parte dessa estratégia dual compreenderia os motores do crescimento, enquanto a segunda parte responderia pelas atividades focadas na redução da pobreza por meio da geração de emprego e renda para o trabalhador.

Kapczynski e Michaels (2024) argumentam que, embora abordagens como a proposta por Perez (2004), que promovam a redução de desigualdades dos diversos tipos por meio de estratégias que impactam nos ambientes externos à política sejam relevantes, não são suficientes para a sustentabilidade das políticas como um processo democrático e inclusivo.

Isto porque o sucesso em acelerar o processo de acumulação capitalista (de rendas crescentes e conhecimentos cumulativos) e o fortalecimento de determinados grupos de interesse pode ter, como resultado das políticas, o aumento da influência que esses grupos possuem na sociedade e no Estado, o que pode levar a um maior risco de captura das futuras medidas de políticas, interferindo no processo político de construção dos projetos de desenvolvimento e das visões de futuro que orientam as políticas.

Portanto, ter um olhar sobre esses processos de retroalimentação que decorrem do processo de acumulação capitalista, que leva ao aumento de renda e poder, e seus potenciais impactos no processo político de construção das políticas industriais, é um dos aspectos relevantes a ser considerado no desenho de políticas sistêmicas. Aqui, a discussão é sobre legitimidade e processos democráticos na esfera interna das políticas.

Kapczynski e Michaels (2024) defendem a construção de novas capacidades administrativas (“poder administrativo”) e de mecanismos que compensem o poder de influência crescente dos grupos favorecidos pelas políticas (“poder compensatório”), não apenas para promover um processo

inclusivo como resultado das políticas, o que por si só já seria uma justificativa mais do que razoável para discutir esses conceitos, mas também como mecanismo essencial para que a política industrial, ao internalizar e gerir seus conflitos internos, tenha legitimidade para se sustentar no longo prazo, atingindo objetivos socialmente determinados.

Os autores definem “(o poder administrativo como a) *capacidade técnica e legal do governo de implementar efetivamente interesses públicos amplamente compartilhados. O poder compensatório, por sua vez, refere-se à capacidade organizada de grupos estruturalmente desfavorecidos de exercer influência coletiva*” - tradução livre (Kapczynski e Michaels, 2024, p. 6).

Ambos os conceitos são importantes para a construção de uma estrutura adequada para implementar a política industrial como uma prática democrática, onde o exercício do poder público – que os autores definem como “*o poder das pessoas, por meio do governo e além dele, para alcançar seus objetivos coletivos*” (Dewey, 1927 *apud* Kapczynski e Michaels, 2024, p. 6) – é aspecto central.

A partir disso, descrevem diferentes mecanismos e intervenções que podem ser feitas nas políticas industriais para a construção do poder administrativo e do poder compensatório. O primeiro compreende, por exemplo, mecanismos para desenvolver informações e o conhecimento necessários para “moldar” atividades setoriais, por exemplo, por meio de iniciativas focadas na geração, compartilhamento e interpretação de dados das indústrias, contribuindo para que as políticas sejam orientadas em direção ao interesse público.

Obtenção dessas informações não é aspecto trivial, uma vez que as empresas muitas vezes não desejam compartilhar informações, de modo a manter segredo sobre suas estratégias de negócios. Os autores defendem o uso de condicionalidades associadas às políticas e seus incentivos como uma das maneiras para obter essas informações.

Junto a essas iniciativas, os autores defendem a prática de “controle contínuo” que permita articular ampla variedade de formas legais de acompanhamento dos gastos, concessões, contratos e investimento público, proporcionando ao governo novas percepções sobre a produção e a inovação.

As intervenções voltadas a viabilizar o poder compensatório, por sua vez, derivam da ideia de que as políticas devem ser construídas com a participação direta dos cidadãos e que a burocracia deve desempenhar um papel central na garantia de que essa participação seja eficaz. Isso significa não apenas criar mecanismos para ouvir as demandas da sociedade, mas também permitir que grupos marginalizados participem ativamente da elaboração das políticas.

A burocracia deve aproximar-se dos interesses de grupos de menor poder político, que sejam sistematicamente desorganizados e marginalizados do processo de construção das políticas, e agir ativamente na sua mobilização, para que exerçam influência tanto sobre o governo quanto sobre os

destinatários dos subsídios e incentivos, e promovam o seu engajamento nas etapas de formulação, implementação e acompanhamento das políticas.

Para isso, podem ser usadas uma série de ferramentas administrativas para combater as disparidades de poder existentes entre esses grupos em relação a demais grupos de interesse organizados e com poder de influência, como, por exemplo, a inclusão de representantes nos diferentes comitês das políticas ou em posições de liderança em agências públicas e a construção de capacidades organizacionais nas redes de representação dos trabalhadores industriais que sejam voltadas a maior participação dessas redes nos processos de construção das políticas industriais, criando e incentivando ambientes qualificados para a discussão dessas políticas.

Essas são abordagens úteis para uma formulação dos poderes compensatórios e das capacidades administrativas a partir da perspectiva neoschumpeteriana e dos sistemas de inovação. Nessa perspectiva, as políticas industriais sistêmicas devem ter como um de seus objetivos a expansão da fronteira de conhecimento que é, como já amplamente discutido na presente tese, um processo dinâmico e de descobertas de novas formas de “aprender e fazer”. Além disso, é objetivo das políticas industriais sistêmicas que as inovações, ao ocorrerem, sejam amplamente difundidas pela sociedade.

Como abordado, políticas industriais que tenham sucesso, potencialmente promoverão o fortalecimento de determinados grupos de interesse na sociedade. Esses grupos, em seus processos de desenvolvimento, podem mudar de uma estratégia “dinâmica” de geração de renda por meio da inovação, para uma estratégia reativa e focada na redução de custos, em especial, pressionando pela redução dos salários dos trabalhadores, aproveitando suas posições políticas fortalecidas para capturar uma maior participação nas rendas por meio de uma inserção “estática” no processo concorrencial entre empresas e setores.

Políticas sistêmicas devem, assim, buscar incentivar a primeira opção de estratégias e evitar a segunda, isto é, devem ser capazes de implementar medidas que viabilizem a revolução contínua de estratégias empresariais dinâmicas baseadas na mudança tecnológica, no conhecimento e na inovação.

Esse movimento de mudança de estratégias por parte das empresas ocorre, muitas vezes, com os objetivos de reduzir as incertezas às quais estariam sujeitas ao continuar adotando uma estratégia baseada em inovação e de viabilizar maior independência das intervenções realizadas pelo Estado. Um movimento que guarda semelhanças com a “relutância dos ‘capitães da indústria’ em aceitar a intervenção do governo”, como enunciado por Kalecki em seu texto de 1943 sobre os aspectos políticos do pleno emprego (Kalecki, 1943), no qual explica as razões dos capitalistas ao optarem por contextos de menor incerteza e intervenção do governo, mesmo que isso implique resultados e

margens de lucro inferiores no longo prazo, a uma alternativa de maior intervenção que promova o pleno emprego e maiores lucros.

Sob essa perspectiva, a incorporação de grupos de interesse desfavorecidos no processo de formulação das políticas industriais pode ser um mecanismo útil para balancear os maiores poderes políticos adquiridos pelos grupos de empresas e setores que se desenvolveram como resultado dessas políticas.

Esse balanceamento de poder pode auxiliar na criação de contextos que reduzam o poder de barganha das empresas em relação ao poder dos governos e abram oportunidades para a continuidade de implementação de políticas por parte desses, contribuindo para manter aberto o “*policy space*” (Chang, 2005) para que os governos desenhem incentivos e estimulem um processo continuado de adoção de estratégias dinâmicas e inovadoras por parte das empresas.

Além disso, a participação desses grupos desfavorecidos na construção da política pode contribuir para que os resultados das políticas sejam amplamente difundidos na economia e não apenas capturados por determinados grupos de interesse. Esses grupos podem ajudar nesse processo ao fazer pressão para a agregação de condicionalidades e contrapartidas associadas aos incentivos e instrumentos de política que impulsionem ou destravem os processos de difusão das inovações pela sociedade.

As dinâmicas descritas acima possuem maior chance de sucesso quanto maior for o engajamento dos trabalhadores e outros grupos desfavorecidos no processo de formulação das políticas e maior seja a sua compreensão sobre as dinâmicas de inovação e sua relação com o desenvolvimento.

Essa lógica não deve, todavia, interferir excessivamente na capacidade da burocracia em ter autonomia para execução das políticas. Se, por um lado, um determinado grau de participação desses grupos pode contribuir para que a burocracia não seja capturada por interesses privados, por outro, uma participação muito significativa e de um número grande de agentes pode tornar o processo de construção das políticas muito custoso e ineficiente, dificultando que se atinja resultados positivos³⁰.

Ponderar o nível de participação que viabilize maior eficiência na política, aqui entendida como um nível adequado de representação dos agentes da sociedade e de eficiência operacional da política, não é tarefa trivial. O conceito de “autonomia enraizada” elaborado por Evans (1995) e abordado na seção 1.6 pode ajudar a que se encontre o balanceamento entre maior ou menor participação desses grupos. Trata-se, todavia, de um processo que deverá ser exploratório e adequado a cada contexto.

³⁰ As metodologias participativas adotadas na atual gestão para a construção de políticas como a NIB representam um esforço pioneiro de promoção de diálogos abrangentes no país. Por outro lado, levaram a um maior prazo para o lançamento da política e, com isso, a um descompasso entre a realização da política e o ciclo eleitoral.

Diante dessa discussão, é possível definir que políticas sistêmicas são aquelas que também incorporam medidas alinhadas a essas considerações e sejam capazes de constituir o “poder administrativo” e o “poder compensatório” no seio das políticas, contribuindo para que as políticas industriais sejam mais democráticas, inclusivas e que reforcem a sustentabilidade dos processos de inovação no longo prazo.

1.9. Conclusão do capítulo: modelo analítico das políticas industriais sistêmicas

Nas seções anteriores foram apresentados os elementos que compõem o referencial teórico da pesquisa, indicando os principais conceitos e abordagens que serão considerados na análise das políticas industriais que desenvolveram a indústria eólica no Brasil.

Os conceitos apresentados podem ser organizados em três eixos que dão forma a um “modelo analítico” que permitirá orientar a análise das políticas industriais. Esses três eixos contemplam:

- (1) a abordagem sistêmica e do SNI para discussão das políticas industriais.
- (2) um olhar evolucionário para a inovação nas políticas e nas organizações públicas.
- (3) os regimes tecnológicos para discussão dos processos de inovação na dinâmica industrial.

Cada um dos eixos possui uma finalidade específica para a avaliação das políticas. O primeiro eixo é o que congrega os principais conceitos da abordagem sistêmica da inovação aplicados às políticas industriais. Pode-se dizer que constitui o “núcleo duro” do modelo analítico desta tese. Tem como objetivo avaliar as características gerais da política. Nele são abordados aspectos como o caráter coletivo do aprendizado; as interações entre diferentes subsistemas; a importância da demanda e do contexto geopolítico, econômico, político e cultural para a execução das políticas; a existência ou não de uma visão do desenvolvimento orientadora da política; a formulação da política a partir de uma ótica das especificidades locais e da resolução de problemas por meio das capacidades locais; dentre outros aspectos.

O segundo eixo tem como foco as organizações públicas executoras das políticas. Como já apresentado na seção 1.6, uma política sistêmica é aquela em que também as organizações públicas são capazes de aprender e se adaptar aos desafios para solucionar os “problemas de política” com vistas a atingir os objetivos definidos pelas políticas industriais. Em outras palavras, em uma política sistêmica, as organizações públicas são agentes capazes de exercer suas funções de política e inovar no âmbito da política.

Nesse sentido, é importante, por exemplo, que as organizações possuam as capacidades para inovar. Capacidades essas que podem estar em seu corpo técnico de profissionais ou na robustez da própria formação da organização social como, por exemplo, seria o caso de contratos e estatutos

sociais bem formulados. No caso das instituições financeiras, se possuem fontes estáveis de financiamento e balanços financeiros que as permitam assumir os riscos presentes nas atividades de fomento em que ela estiver envolvida. Histórico e experiência na realização de políticas são outros aspectos que contribuem para o conhecimento (tácito ou codificado) e, portanto, para as capacidades das organizações públicas executoras das políticas.

Essas organizações precisam estar articuladas com outras organizações públicas e devem ter clareza quanto às suas funções de política nesse espaço institucional. Uma governança que favoreça a execução dessas funções de política deve estar colocada e ser adequada ao contexto da política. Além disso, as organizações precisam ter rotinas e processos de busca e seleção bem estabelecidos e que sejam adequados para a identificação das melhores práticas nas políticas. Esses processos devem ser retroalimentados a partir dos resultados atingidos com vistas a permitir ajustes de rotas e mudanças em práticas e normas internas conforme o processo de desenvolvimento transcorra e a própria política evolua. As organizações inovadoras devem ser capazes de acompanhar e influenciar a trajetória da política. Aprendizado e inovação andam juntos também na esfera interna dessas organizações.

Por fim, o terceiro eixo foca na compreensão sobre os processos inovadores da estrutura industrial objeto da política e tem como referência a perspectiva dos regimes tecnológicos apresentada na seção 1.7. Essa perspectiva permite, por exemplo, avaliar e compreender quais são os elos dinâmicos da indústria em análise; se há oportunidades para a base industrial já estabelecida no país e segmentos com maior potencial inovador ou que podem apresentar uma expansão mais rápida; quais as bases de conhecimento e competências críticas precisam ser mobilizadas e devem estar disponíveis na estrutura industrial para que o adensamento produtivo e inovador ocorra; e se a política considerou esses elementos em sua formulação e execução.

A partir desses conceitos e da proposta de organização do modelo analítico nesses três eixos é possível discutir as políticas sistêmicas considerando seus impactos e interações com o SNI (“o todo da política”); o papel e as funções das organizações públicas inovadoras (“as organizações públicas executoras da política”); e refletir sobre a estrutura industrial a partir dos principais elementos que influenciam seus processos de inovação (“a estrutura produtiva foco da política”).

Cada um desses eixos foi desdobrado em dimensões de análise que contemplam as considerações acima e os diferentes conceitos abordados no referencial teórico da pesquisa. O primeiro eixo contempla cinco dimensões de análise; o segundo eixo possui três dimensões de análise; e o terceiro eixo outras três dimensões. A análise e avaliação da política industrial para o desenvolvimento da indústria eólica no Brasil será realizada tendo como referência esses eixos e suas dimensões. A partir disso será possível avaliar o caráter sistêmico da política. A seguir são definidas as dimensões de cada um dos três eixos.

Eixo analítico 1 (E1) - Sistemas Nacionais de Inovação e a visão sistêmica nas políticas industriais

- E1.D1. **Orientação aos desafios nacionais:** uma política que esteja ancorada em um projeto nacional de desenvolvimento e que seja orientada por missões e desafios nacionais. A política é capaz de articular as políticas explícitas e implícitas. Esses desafios de desenvolvimento definem uma visão de futuro de longo prazo, que é capaz de dar direcionalidade ao investimento e ao processo de inovação.
- E1.D2. **Foco na resolução de problemas por meio das capacidades locais:** dimensão que avalia o caráter específico da política e se a mesma leva em conta a territorialidade e o arranjo institucional local. A política incorpora em sua formulação a análise das características do arranjo institucional e do SNI. A política possui foco nos problemas locais e incentiva a participação ativa dos diferentes atores na resolução desses problemas por meio das capacidades locais. A política contempla o desenvolvimento territorial e impulsiona o desenvolvimento inclusivo e com equidade, para isso promove maior representação da sociedade civil na política (“poder compensatório”).
- E1.D3. **Interação entre atores públicos e privados:** uma política capaz de promover a cooperação entre os diversos atores públicos e privados. Mobiliza atores críticos públicos e privados e fortalece as relações e vínculos entre esses. É capaz de mediar e mitigar conflitos entre os diferentes atores, criando compromissos de longo prazo nas estruturas produtivas e fortalecendo os vínculos produtivos nos subsistemas de produção e inovação. A política promove novas capacidades para lidar com esses conflitos (“poder administrativo”).
- E1.D4. **Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas:** uma política que estimula o aprendizado e a capacitação dos atores do SNI e impulsiona a criação e a disseminação do conhecimento entre esses atores. É efetiva em estabelecer processos de cooperação e em promover o acúmulo de competências e capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas e de inovação. Viabiliza o acúmulo de novas competências e incentiva o transbordamento desse aprendizado para outras atividades e indústrias.
- E1.D5. **Articulação dos diferentes subsistemas do SNI:** a política identifica e dá ênfase aos mecanismos de incentivo mais relevantes para os processos de desenvolvimento. Uma política que articula a demanda e as políticas de financiamento com os demais subsistemas produtivos e de ciência e tecnologia. Articula seus diferentes mecanismos com vistas a alavancar o investimento produtivo e a cooperação entre atores ou grupos de atores. É capaz de alinhar as diferentes ações com as políticas regulatórias, tributárias e de comércio exterior. Considera as características do contexto geopolítico, econômico, político, social, cultural e

local na alocação de incentivos com o objetivo de criar um contexto favorável ao investimento em atividades inovadoras e ao acúmulo de competências-chave nos diferentes subsistemas da política.

Eixo analítico 2 (E2) - Um olhar evolucionário para a inovação nas organizações públicas

- E2.D1. Articulação das organizações públicas e governança da política:** A política possui um processo de planejamento estabelecido e que evolui ao longo do tempo com o desenrolar da política. Esse processo possui etapas bem estabelecidas como a definição de agenda, formulação, adoção, implementação, avaliação e revisões. A política possui uma governança que organiza as funções de política e as distribui pelas diferentes organizações públicas, fortalecendo os efeitos dessas funções e a complementariedade entre as organizações. Implementa mecanismos de diálogo e articulação entre organizações públicas responsáveis pelo desenho das políticas com as demais organizações e instituições públicas responsáveis por outras políticas públicas. A política permite e incentiva uma abordagem intersetorial entre Ministérios e diferentes atores da política.
- E2.D2. Capacidades dinâmicas nas organizações públicas:** As principais organizações públicas executoras da política possuem capacidades (estáticas e dinâmicas) constituídas. Essas organizações públicas possuem rotinas organizacionais estabelecidas que a permitem atuar com eficiência operacional e explorar novas oportunidades ("ambidestria organizacional"). Há, nessas organizações, processos estabelecidos de busca e seleção voltados para identificação ("*sensing*") e aproveitamento ("*seizing*") de oportunidades que orientem a sua atuação e o aprendizado na dimensão da política. Possuem competências técnicas e organizacionais suficientes para o desempenho das suas funções de política e uma burocracia qualificada e com experiência na execução de políticas industriais.
- E2.D3. Inovação nas organizações públicas e nas políticas:** As principais organizações executoras da política têm um mandato bem definido e autonomia para a implementação da política. A governança da política e as capacidades internas das organizações incentivam a inovação no ambiente da política e impulsionam o aprendizado institucional. Esse aprendizado retroalimenta os ambientes de seleção e permite identificar as melhores práticas da política. As organizações públicas são capazes de assumir riscos no processo de execução das políticas e têm liberdade para inovar em seus procedimentos, processos internos e instrumentos operacionais.

Eixo analítico 3 (E3) – Regimes tecnológicos e as estruturas industriais

- E3.D1. **Indústrias estratégicas e estrutura produtiva local:** A política identifica e incentiva indústrias estratégicas de forma articulada à estrutura produtiva do país. Atua nas principais atividades consideradas promissoras e nos objetivos do projeto de desenvolvimento. Possui processos estabelecidos para a seleção das indústrias com possibilidades de expansão e rápido crescimento. Esse processo de seleção e priorização conta com o apoio dos diferentes atores do SNI. O processo de seleção é revisto periodicamente e atualizado quando necessário.
- E3.D2. **Elos dinâmicos e bases de conhecimento habilitadoras:** A política identifica os elos dinâmicos e, a partir disso, os incentivos são desenhados para viabilizar a endogeneização da capacidade inovadora e das competências-chave da atividade industrial foco da política. Os diferentes mecanismos e incentivos são voltados para a criação de capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas que incentivam a inovação e utilizam as bases de conhecimento habilitadoras. A política prioriza o desenvolvimento de empresas nacionais nos elos dinâmicos.
- E3.D3. **Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico:** a política considera as características da indústria que se deseja incentivar e os padrões que determinam suas dinâmicas de inovação. Desenha os incentivos a partir dessa ótica e promove segmentos específicos. A política é capaz de identificar as principais oportunidades tecnológicas e os elementos que influenciam nas condições de apropriação da tecnologia e no fortalecimento das bases de conhecimento. A política considera esses elementos na alocação dos incentivos, mesmo que usando mecanismos não orientados pela perspectiva dos regimes tecnológicos.

As tabelas a seguir organizam as diferentes dimensões de análise (Tabela 2), suas referências bibliográficas discutidas nas seções anteriores (Tabela 3) e seu desdobramento em questões-síntese das políticas industriais sistêmicas que formam a base da pesquisa de campo (Anexos 1 e 2).

Tabela 2 – As dimensões de análise das políticas industriais sistêmicas

EIXOS	Eixo 1 SNI e a visão sistêmica nas políticas industriais	Eixo 2 Inovação nas políticas e organizações públicas	Eixo 3 Regimes tecnológicos e as estruturas industriais
DIMENSÕES	Orientação aos desafios nacionais	Articulação das organizações públicas e governança da política	Indústrias estratégicas e estrutura produtiva local
	Foco na resolução de problemas por meio das capacidades locais	Capacidades dinâmicas nas organizações públicas	Elos dinâmicos e bases de conhecimento
	Interação entre atores públicos e privados	Inovação nas organizações públicas e nas políticas	Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico
	Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas		
	Articulação dos diferentes subsistemas do SNI		

Os eixos analíticos e as dimensões de análise serão utilizados para avaliar o caráter sistêmico da política de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil.

O próximo capítulo apresenta a indústria eólica global.

Tabela 3 – As dimensões de análise e suas referências bibliográficas

Eixo Analítico	Dimensões	Autores e referências
Eixo 1 (E1) SNI e a visão sistêmica nas políticas industriais	D1 - Orientação aos desafios nacionais	Gadelha, 2001, 2016; Herrera, 1995; Coutinho, 2005; Szapiro, 2016; Gadelha, 2011; Mazzucato, 2021.
	D2 - Foco na resolução de problemas por meio das capacidades locais	Lundvall, 1988, 1992; Freeman, 1995; Cassiolato et al, 2005; Lastres, 1999; Dosi, 1982, 1988; Bell, 1991; Bell e Pavitt, 1992.
	D3 - Interação entre atores públicos e privados	Lundvall, 1985, 1988, 1992; Szapiro, 2016; Cassiolato e Lastres, 2005; Winter, 1987; Chang e Andreoni, 2016; Slaughter, 1993; Kapcynski e Michaels, 2024.
	D4 - Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas	Lundvall, 1988, 1992; Freeman, 1982; Dosi, 1982; Lastres, 1999; Orsenigo, 1993; Cassiolato e lastres, 2005, 2014;
	D5 - Articulação dos diferentes subsistemas do SNI	Cassiolato e Lastres, 2005, 2014; Szapiro, 2016; Freeman, 1987, 1995; Nelson, 1982, 1992, 1993; Lundvall, 1988, 1992, 2010; Mansfield, 1991; Nelson e Rosenberg, 1993; Rosenberg, 1990, 1992
Eixo 2 (E2) Inovação nas políticas e nas organizações públicas	D1 - Articulação das organizações e governança da política	Cassiolato e Lastres, 1999; Lundvall, 2010; Freeman, 1987; Chang, 2005; Muchie, Gammeltoft e Lundvall, 2003.
	D2 – Capacidades dinâmicas nas organizações públicas	Nelson e Winter, 1982; Mazzucato, 2014; Teece, 1982, 1986, 1988, 2007, 2012; Wu et al , 2015; Harreld e Tushman, 2009; Ferraz, Ramos, Plattek, 2021, 2022.
	D3 – Inovação nas organizações públicas e nas políticas	Nelson e Winter, 1982; Karo e Kattel, 2018; Wu et al, 2018; Kattel e Mazzucato, 2018; Kattel e Karo, 2016; Kattel et al 2016; Evans, 1995; Kapcynski e Michaels, 2024.
Eixo 3 (E3) Regimes tecnológicos e as estruturas industriais	D1 - Indústrias estratégicas e estrutura produtiva local	Freeman, 1995; Tushmann e Murmann, 1988; Erber, 1992; Takeuchi e Nonaka, 1986;
	D2 - Elos dinâmicos e bases de conhecimento	Cassiolato e Lastres, 2005, 2014; Gertler, 2003; Malerba e Orsenigo, 1997; Perez, 1985, 1989; Polanyi, 2010; Utterback e Albernathy, 1975; Szapiro et al, 2016; Zucoloto e Cassiolato, 2012.
	D3 - Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico	Malerba e Orsenigo, 1990, 1993, 1997; Malerba, 2002; Pavitt, 1984a; OCDE, 2016; Revilla e Fernandez, 2012, 2014; Lee e Noh, 2009; Almudi et al, 2013.

Fonte: elaboração própria

“Quando enunciados matemáticos se referem à realidade, não são exatos. Quando são exatos, não se referem à realidade.” Albert Einstein

2. Indústria de energia eólica

A energia dos ventos tem sido utilizada pelo homem desde a antiguidade. Seu uso para a geração de eletricidade, todavia, teve início no século XIX, período no qual a base técnica associada à engenharia elétrica fez grandes avanços. Desde seu surgimento e por algumas décadas até meados do século XX, sucessivas inovações permitiram avanços no projeto de aerogeradores de pequeno porte evidenciando a viabilidade técnica da geração de eletricidade a partir da energia dos ventos. É nesse período que surge o modelo de aerogerador de três pás e eixo horizontal, que posteriormente se tornaria o padrão tecnológico mais difundido nessa indústria (Podcameni, 2014).

A partir da década de 1970, a busca por novas fontes de energia em razão das duas crises do petróleo impulsiona a estruturação de políticas industriais voltadas ao desenvolvimento científico e tecnológico dos sistemas de geração de energia eólica. A evolução técnica da energia eólica se acelera e inicia-se sua disseminação para o fim de geração de energia elétrica com maior escala³¹.

O desenvolvimento da energia eólica e da cadeia produtiva a ela associada passa a ser objetivo dessas políticas em alguns países em um processo de desenvolvimento complexo moldado pela evolução de fatores técnicos, econômicos, políticos e sociais. São poucos os países que tiveram êxito em impulsionar a adoção da energia eólica em paralelo ao desenvolvimento de uma cadeia produtiva local. Dinamarca, Alemanha, EUA, Espanha, Reino Unido, Índia, Brasil e China são os países onde essa tecnologia se difundiu, uma indústria local se estabeleceu e os desenvolvimentos mais relevantes foram realizados.

Nas últimas duas décadas, os custos de geração de energia eólica caem de maneira mais acelerada e a energia eólica se difunde por novos mercados. Nesse cenário, o Brasil se posiciona como um dos principais mercados de energia eólica no mundo e se destaca tanto pela escala de geração³², quanto pela formação de uma cadeia produtiva de aerogeradores no país.

O presente capítulo aborda a evolução da geração de energia eólica no mundo. Para isso, apresenta-se, na segunda seção, a evolução do mercado de energia eólica até os dias de hoje. Na terceira seção, é feita uma descrição estilizada dos principais aspectos técnicos dos aerogeradores e da organização da cadeia produtiva. Na quarta seção serão discutidas as políticas de energia eólica nos EUA e China,

³¹ A potência nominal dos aerogeradores se eleva gradualmente, mas ainda com potência nominal inferior a 1MW. A Dinamarca foi pioneira no desenvolvimento dessa indústria.

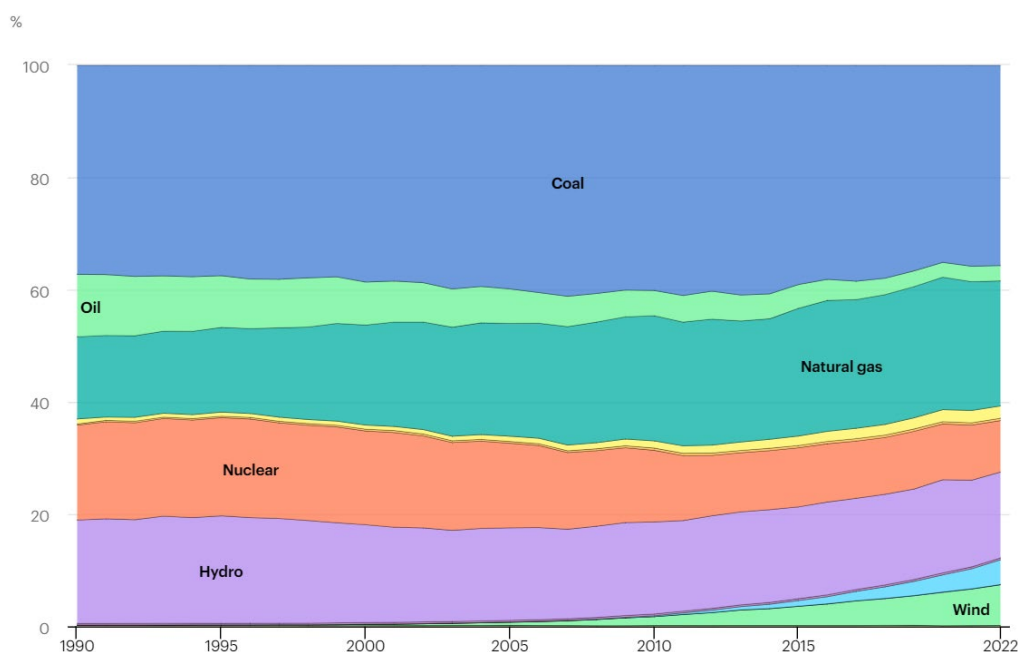
³² O Brasil é um dos 5 maiores mercados de energia eólica – Fonte: GWEC (2024).

os dois maiores mercados globais de aerogeradores. Ao fim, são organizadas as principais conclusões dessas análises para o desenho das políticas industriais sistêmicas de energia eólica no Brasil.

2.1. A energia eólica no mundo

A geração de eletricidade a partir da fonte eólica corresponde a cerca de 7% do consumo de eletricidade global e se posiciona como a 5ª maior fonte geradora de energia elétrica do mundo atrás do Carvão (35%), Gás Natural, (22%), Hidroeletricidade (15%) e Energia Nuclear (9%).

Gráfico 1 – Geração de eletricidade por fonte no mundo, 1990-2022



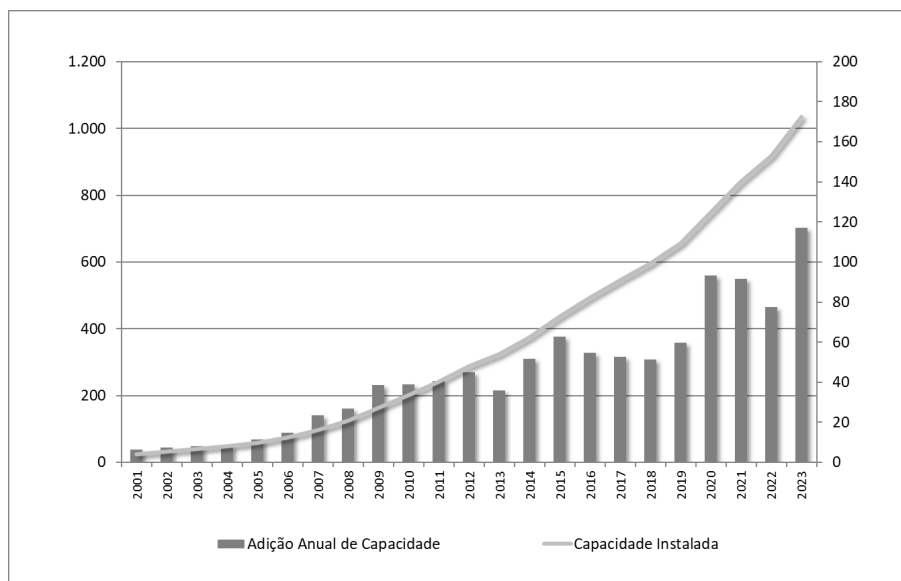
Fonte: IEA, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts>, Acesso em dez/2024³³

A geração de energia eólica é um mercado que movimentou, no ano de 2023, cerca de 172 bilhões de dólares e teve um crescimento próximo a 12,4% ao ano na última década (2013-2023) (GWEC, 2023). A capacidade instalada global atingiu 1.035 GW em 2023. A geração *onshore* (em terra) representa mais de 90% desse total.

Nos últimos 5 anos (2019-23) a energia eólica teve uma expansão de mais de 439 GW, cerca de 42% da capacidade instalada total até o presente. Nesse mesmo período investiu-se globalmente um volume superior a 790 bilhões de dólares. Apenas nos últimos 3 anos investiu-se cerca de 160 bilhões de dólares ao ano, o que corresponde a mais de 1/3 do volume total de investimento global em energias renováveis (GWEC, 2024).

³³ IEA, electricity generation by source 1990 - 2022: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>

Gráfico 2 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade no mundo (GW)



Fonte: elaboração própria a partir de GWEC (2024).

A expansão da energia eólica deve continuar acelerada nos próximos anos. Na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 2023 (COP28 – Dubai), 133 países firmaram compromisso de triplicar a geração de energia renovável até 2030 (IRENA, 2024).

Apesar do seu crescimento recente e perspectiva de expansão, ainda existem incertezas quanto ao ritmo de inserção dessa fonte renovável nos próximos anos. A energia eólica possui custos de geração superiores a outras fontes de energia em alguns importantes mercados. A continuidade de sua expansão vai depender do fortalecimento ou não da estrutura de incentivos e das políticas direcionadas a essa indústria nos seus principais mercados.

Os motivos para a inserção da energia eólica nas matrizes energéticas variam em cada uma das regiões e países. Podem estar relacionados à diversificação na geração necessária à segurança energética, à redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e ao combate à mudança climática, ter foco em reduzir a dependência externa das fontes convencionais, a exemplo da importação do petróleo ou gás natural, ou decorre da própria expansão acelerada da demanda por energia. Projeta-se um crescimento da capacidade de geração eólica superior a 15% ao ano até 2027 (GWEC, 2023) impulsionada nos seus principais mercados por diferentes fatores.

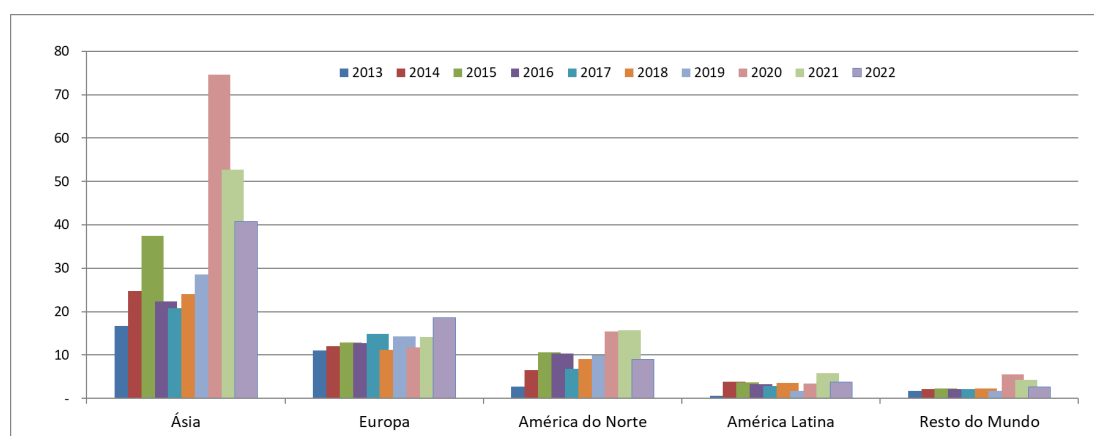
Na Europa, está em processo a reforma do sistema de energia, buscando a substituição dos combustíveis fósseis por energias renováveis para alcançar a segurança energética, especialmente após a invasão Russa na Ucrânia. A guerra levou a uma interrupção abrupta no fornecimento de gás natural e petróleo de origem desse país para os países da União Europeia, com especial impacto na economia mais industrializada da região, a Alemanha³⁴. A China, por sua vez, renovou, em seus

³⁴ <https://hir.harvard.edu/germanys-energy-crisis-europes-leading-economy-is-falling-behind/>

planos quinquenais, o compromisso de promover a expansão das energias renováveis na sua matriz energética. Já nos EUA o impulso para a fonte eólica decorre da aprovação e implementação de políticas relevantes como o *Inflation Reduction Act (IRA)*, que prevê recursos da ordem de 65 bilhões de dólares para o investimento em novas fontes de energia renováveis até 2030³⁵.

Ásia e Europa são os dois principais mercados continentais. A América do Norte também é um mercado relevante, porém com um padrão de crescimento da energia eólica errático, em alguns anos adiciona um volume de capacidade de geração nova muito inferior aos anos de maior crescimento. A América Latina vem apresentando maior dinamismo na última década, em grande parte pela expansão no Brasil, que representa mais de 2/3 desse mercado regional.

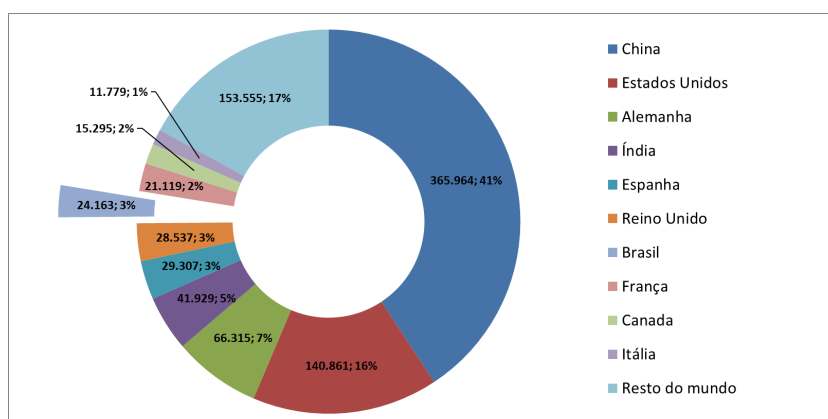
Gráfico 3 – Adição de capacidade de geração de energia eólica por região geográfica global entre 2013 e 2022 (GW)



Fonte: elaboração própria a partir de GWEC (2023)

Com a redução dos custos dos aerogeradores, a energia eólica vem se difundindo por um número maior de países. No entanto, os países com escala na adoção da energia eólica até o presente não são muitos. Em 2022, os cinco países com maior capacidade instalada respondiam por mais de 70% da capacidade instalada global e os dez países com maior capacidade instalada por 83%.

Gráfico 4 – Dez países com maiores capacidades instaladas de geração de energia eólica até 2022 (MW)

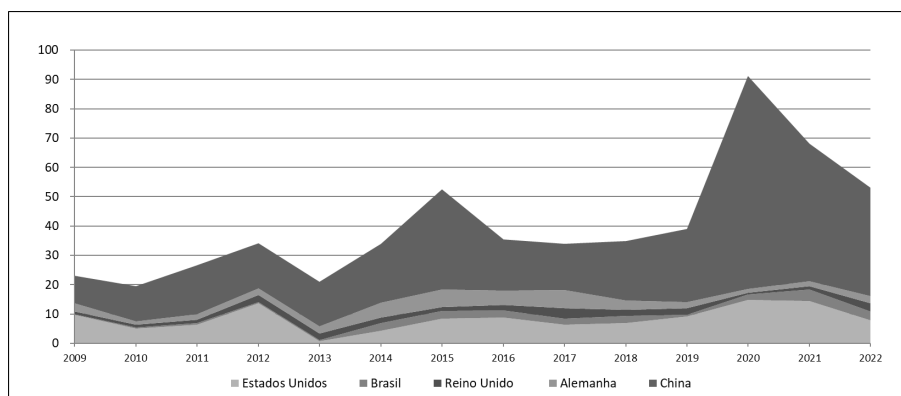


Fonte: elaboração própria a partir de GWEC (2023)

³⁵ No momento da conclusão dessa tese, a eleição americana já tinha sido realizada e o candidato Donal Trump foi eleito. Espera-se uma orientação de política menos expressiva no sentido da descarbonização da matriz energética americana. Esse direcionamento e seus efeitos nas perspectivas de expansão da geração eólica ainda não são claros até o momento.

Dentre esses países alguns apresentam um crescimento continuado, a exemplo da China, Alemanha e Reino Unido, outros um crescimento robusto, porém instável, caso dos EUA, ou ainda, um crescimento anterior relevante e menos dinâmico no período recente, caso da Espanha. Os quatro primeiros, em conjunto com o Brasil, foram os mercados de maior adição de capacidade de geração de energia eólica em 2022. Juntos representaram 71% da capacidade adicionada nesse ano, sendo a China responsável pela metade da adição de capacidade global. Destaca-se a posição do Brasil como um mercado relevante de energia eólica na última década.

Gráfico 5 – Adição anual de capacidade de geração de energia eólica nos cinco maiores mercados em 2022



Fonte: elaboração própria a partir de GWEC (2023)

Para atingir a meta de triplicar a geração de energia renovável até 2030 e se alinhar à trajetória de 1,5°C prevista nos acordos climáticos, a indústria eólica precisa acelerar significativamente o seu ritmo de expansão. Até 2050, a capacidade eólica global deve ser oito vezes maior que a atual, atingindo 8.000 GW de capacidade instalada. Isso exigirá um aumento drástico e sustentado no investimento na cadeia de suprimentos para construir instalações de produção, na infraestrutura, no estabelecimento de parcerias, em inovação e na qualificação e treinamento da força de trabalho.

Na cadeia produtiva, os investimentos em fábricas de turbinas eólicas (*onshore e offshore*) cresceram quatro vezes entre 2018 e 2023, subindo de menos de USD 0,7 bilhão em 2018 para USD 2,8 bilhões em 2023. Foram investidos pelo menos USD 8 bilhões desde 2018, com a energia eólica *onshore* recebendo um pouco mais da metade, dominada principalmente pela China, que devido ao seu mercado interno significativo é a líder global na produção de aerogeradores (IRENA, 2024).

A União Europeia, segunda maior fabricante de aerogeradores do mundo, não apresentou crescimento de capacidade fabril entre 2022 e 2023. As perspectivas de investimento nessa indústria são promissoras nos EUA após o lançamento do *IRA*. A Índia está emergindo como um centro industrial relevante, juntamente com regiões como a América Latina - particularmente o Brasil.

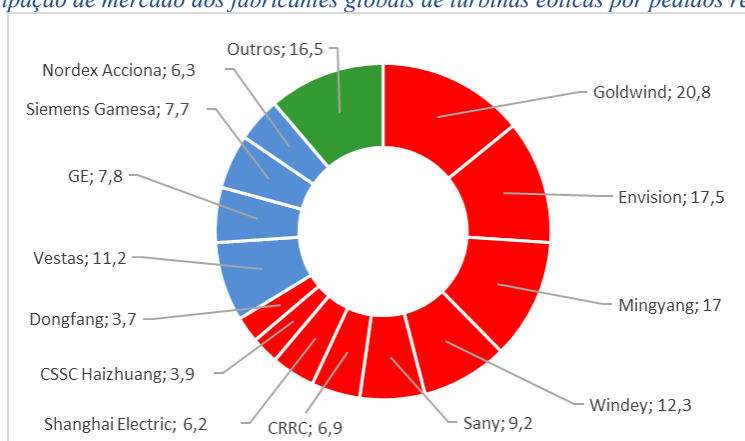
Se as perspectivas de crescimento apontam uma necessidade de investimentos relevantes, quando se olha o histórico dessa indústria, percebe-se que todos os principais mercados de energia eólica foram desenvolvidos paralelamente à formação de uma cadeia produtiva local.

Os países onde a energia eólica mais se desenvolveu aproveitaram a oportunidade da expansão dessa fonte de energia para o desenvolvimento de uma indústria que absorvesse parte dessa demanda. Os dez maiores fabricantes globais de aerogeradores têm origem nos países onde o mercado de energia eólica mais se desenvolveu no mundo: China, EUA, Alemanha, Índia e Espanha (Gráfico 6).

A única exceção é a dinamarquesa Vestas, pelo menor tamanho do seu mercado doméstico, e que tem uma história muito particular relacionada ao início do desenvolvimento da energia eólica e à busca por fontes alternativas de energia, por uma necessidade estratégica do seu país de origem. Mesmo para a Vestas, seu mercado doméstico e a proximidade do principal mercado Europeu, a Alemanha, representaram importante impulso no início de sua trajetória de desenvolvimento (Hopkins, 2013).

Os dez maiores fabricantes possuíam uma participação de mercado próxima a 80% do total de encomendas de aerogeradores em 2022. Os fabricantes chineses respondiam, nesse mesmo ano, por cerca de 66% dessas encomendas (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Participação de mercado dos fabricantes globais de turbinas eólicas por pedidos recebidos (GW, 2022)



Fonte: Enerdata - <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/wind-market-share.html> - acesso em 17/02/2025.
Fabricantes chineses em vermelho. Fabricantes dos países ocidentais em azul

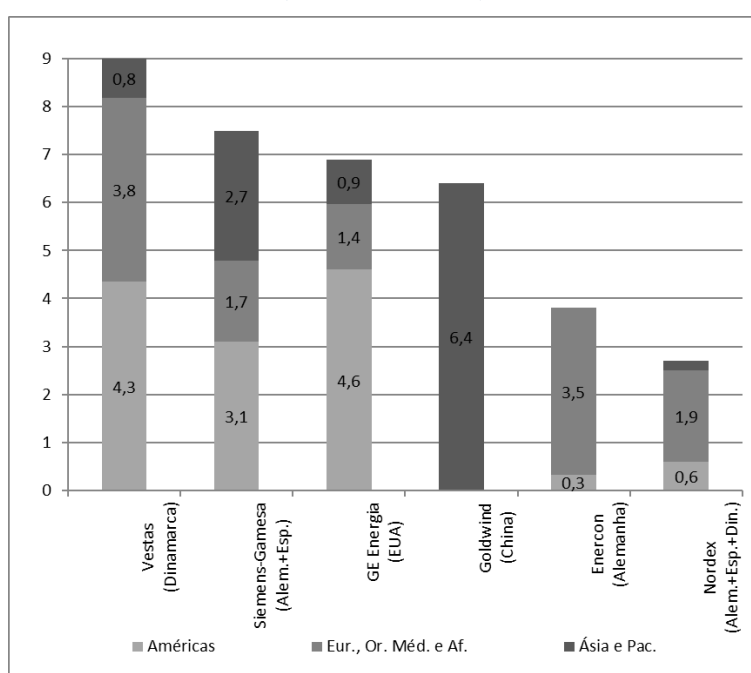
Há espaço para consolidação nesse mercado. Entre as empresas líderes, Godwind, Envision, Mingyang, Windey e Vestas, apenas a Goldwind possui uma participação superior a 1/5 do mercado global. Esse processo de consolidação já vem ocorrendo, tanto horizontalmente, com parcerias e fusões entre os fabricantes, quanto verticalmente, com alguns fabricantes realizando aquisições estratégicas na cadeia de fornecedores (*ibid.*). As empresas buscam, com isso, aumentar sua participação de mercado, enfrentar a concorrência em um mercado em rápida expansão e se posicionar nos elos mais relevantes da cadeia produtiva.

Fusões relevantes como as das divisões de energia da GE e da Alstom, criando a GE Energy, ou entre a Siemens e a espanhola Gamesa, são exemplos de consolidação horizontal. Na cadeia produtiva a aquisição da LM-Wind, empresa dinamarquesa líder mundial na fabricação de pás, pela GE, ocorrida em 2017, é um exemplo de consolidação vertical.

Para todos os grandes fabricantes, suas economias domésticas ou continentais representam seus principais mercados ou tiveram papel muito relevante para o ganho de escala inicial que viabilizou o posterior acesso aos mercados externos. A partir desses mercados locais é que esses fabricantes constituíram competências técnicas e passaram pela curva de aprendizado, permitindo que se tornassem competitivos e participassem da dinâmica de concorrência global (*ibid.*).

Ainda hoje, é nos mercados locais ou próximos às suas zonas de influência onde se origina a maior parcela da demanda por seus aerogeradores. A indústria eólica é global com fortes raízes locais e regionais.

Gráfico 7 – Adição anual de capacidade de geração de energia eólica dos principais fabricantes de aerogeradores (GW no ano de 2016)



Fonte: elaboração própria a partir de www.windpowermonthly.com e about.bnef.com

Os principais fabricantes de aerogeradores de países cujos mercados já vêm sendo desenvolvidos há mais tempo, casos das europeias Vestas e da Enercon, construíram suas trajetórias a partir de intensa atividade de P&D. As tecnologias eólicas de maior escala de geração simplesmente não existiam até o início da expansão desses mercados (Hopkins, 2013; Lewis e Wiser, 2005).

Os fabricantes com origem em mercados mais recentes, casos da Suzlon na Índia, das empresas Chinesas, ou mesmo da Gamesa na Espanha, utilizaram diferentes estratégias para acelerar o emparelhamento tecnológico, dentre as quais destacam-se o estabelecimento de parcerias estratégicas, fusões e aquisições, transferência de *know-how* ou licenciamento de projetos e tecnologias (Lewis e Wiser, 2005)³⁶.

³⁶ A indiana Suzlon instalou seu centro de P,D&I na Alemanha. A espanhola Gamesa estabeleceu parceria com a dinamarquesa Vestas.

O desenvolvimento da cadeia produtiva no mercado norte-americano possui um perfil híbrido e distinto dos demais. Contou com fabricantes locais de menor porte no início do desenvolvimento da energia eólica até as décadas de 1960-70 e consolidou seu *player* global apenas no início do século XXI, com a entrada da GE por meio de aquisições estratégicas (Hopkins, 2013).

Uma vez que as barreiras técnicas e econômicas à entrada são relevantes, grande mobilização de capital e significativos investimentos foram necessários em todos esses casos e receberam apoio de políticas industriais definidas pelos diferentes países (*ibid.*).

Na próxima seção será abordada a organização da cadeia produtiva em conjunto com uma análise sobre as tecnologias e conhecimentos utilizados no desenvolvimento e fabricação dos aerogeradores.

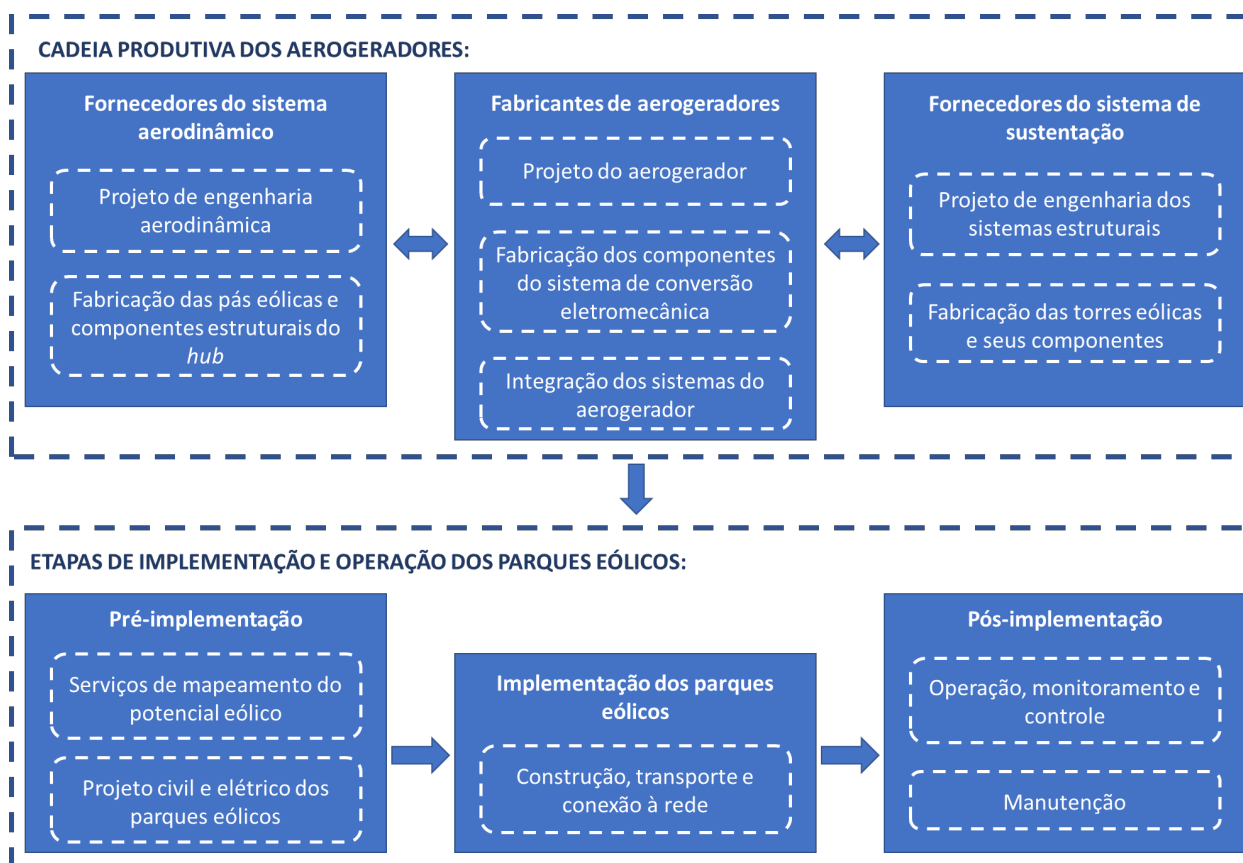
2.2. Engenharia, tecnologia e a cadeia produtiva de aerogeradores

A indústria eólica pode ser representada por dois grandes grupos de atividades. O primeiro é composto pela cadeia produtiva de aerogeradores com os fabricantes desses equipamentos e os fornecedores de partes, peças e componentes relacionados aos sistemas aerodinâmicos e de sustentação dos aerogeradores. O segundo grupo contempla as etapas de projeto, implantação e operação dos parques eólicos.

Na presente tese, o termo “indústria eólica” deve ser compreendido como o conjunto de atores que conformam, por um lado, toda a cadeia produtiva que fabrica os aerogeradores, como também o grupo de agentes envolvidos com a atividade de geração de energia, desde as atividades de projeto dos parques eólicos, sua implementação e posterior operação.

A Figura 2, adaptada de Lema (2011), sintetiza os principais elos da indústria eólica e propõe uma representação das etapas relacionadas à implementação e operação dos parques eólicos.

Figura 2 – Indústria eólica



Fonte: elaboração própria a partir de Lema (2011); as setas indicam fluxo de bens e serviços entre as funções da cadeia.

As turbinas eólicas, mais comumente chamadas de aerogeradores, são o elemento central da geração de eletricidade a partir da energia dos ventos. Seu funcionamento consiste na conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica por meio de um sistema de conversão eletromecânica de energia³⁷. O aerogerador, portanto, consiste em um sistema integrado e formado por diferentes componentes que viabilizam essa conversão mecânica-elétrica.

O investimento na aquisição dos aerogeradores representa cerca de 70% do investimento total dos parques eólicos *onshore*. Uma possível abordagem para a caracterização da cadeia produtiva de aerogeradores, foco da análise da presente pesquisa, consiste em partir da avaliação desse equipamento como elemento central da organização das estratégias de produção.

Os fabricantes de aerogeradores são empresas especializadas na integração e fabricação dos seus principais componentes e possuem capacidade e poder de mercado para estabelecer suas estratégias de coordenação das cadeias de fornecimento.

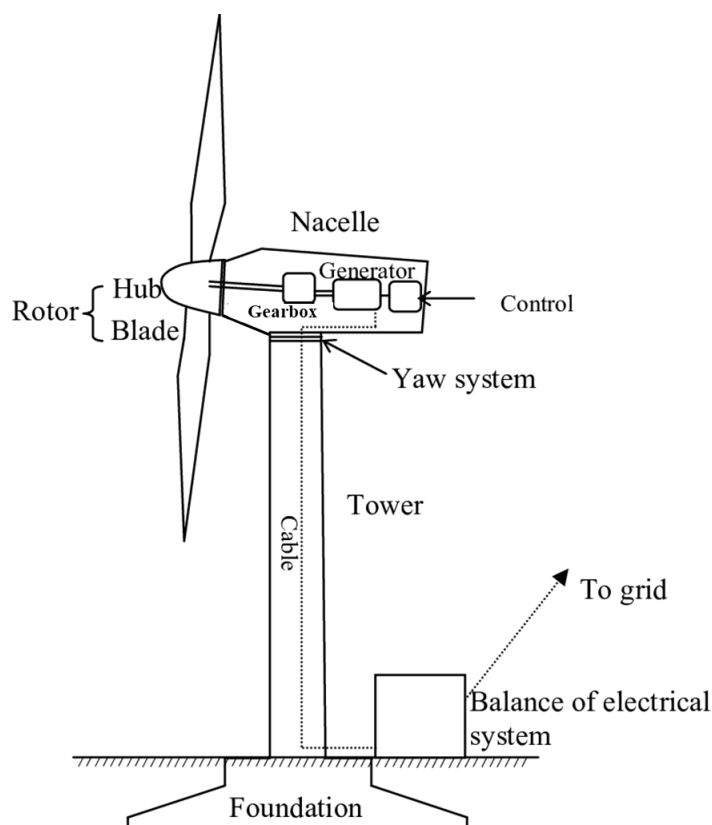
³⁷ Um sistema eletromecânico de conversão de energia é um conjunto de componentes e dispositivos que convertem energia elétrica em energia mecânica (ou vice-versa) por meio da interação entre campos magnéticos e correntes elétricas. Esse tipo de sistema é utilizado em várias aplicações, como motores elétricos, geradores, transformadores e dispositivos de armazenamento de energia, como baterias e capacitores.

A análise focalizará os aerogeradores de eixo horizontal de três pás, de médio e grande porte, padrão tecnológico dominante na indústria eólica ao redor do mundo e que vêm sendo largamente adotados no Brasil.

Os aerogeradores de eixo horizontal de três pás para instalação *onshore* possuem vários componentes essenciais para o seu funcionamento. Cada um desempenha um papel específico para garantir a operacionalização do aerogerador, desde a captação do vento até a geração de eletricidade.

A seguir, apresentam-se os principais componentes e suas funções:

Figura 3 – Principais componentes do aerogerador de eixo horizontal.



Fonte: Peng et al (2023)

- **Rotor:** é composto pelas pás e cubo da hélice (*hub*). Seu principal objetivo é capturar a energia do vento. As pás são projetadas para girar quando o vento as atinge, convertendo a energia cinética do vento em energia mecânica.
- **Cubo da hélice (*hub*):** é a estrutura central onde as pás são fixadas. Ele transfere o movimento rotativo das pás para o eixo principal.
- **Eixo principal (*drive train*):** é responsável por transmitir a energia mecânica gerada pelas pás para os demais componentes internos do aerogerador.

- **Caixa multiplicadora (*gearbox*):** tem como função aumentar a velocidade de rotação do eixo principal para um nível adequado para acionar o gerador elétrico. Isso é alcançado por meio de um conjunto de engrenagens de diferentes tamanhos. Alguns modelos de aerogerador não utilizam esse componente em uma rota tecnológica alternativa.
- **Gerador elétrico (*generator*):** converte a energia mecânica rotacional do eixo principal em eletricidade. Ele é responsável por gerar a corrente elétrica que será enviada para a rede elétrica ou utilizada localmente.
- **Torre (*tower*):** é a estrutura que sustenta o rotor e os demais componentes. Ela eleva o rotor a uma altura onde o vento é mais constante e mais forte, permitindo uma captura eficiente da energia eólica.
- **Controlador e sistema de controle:** monitora e controla o funcionamento do aerogerador, garantindo a otimização da produção de energia eólica, a proteção contra condições adversas e a segurança operacional.

Esses componentes podem ser agrupados em três grandes sistemas que possuem lógicas distintas de produção desempenhadas pelas empresas da cadeia produtiva e aspectos tecnológicos específicos.

- a) sistema de conversão eletromecânica e componentes estruturais da *nacele*³⁸;
- b) sistema aerodinâmico, composto pelo conjunto de pás e componentes do *hub*³⁹;
- c) sistema de sustentação do aerogerador com a torre e seus elementos estruturais.

A Tabela 4 apresenta a quebra dos custos do aerogerador *onshore* nesses três grandes sistemas.

Tabela 4 – Participação nos custos dos aerogeradores *onshore*

sistema de conversão eletromecânica de energia	45 a 65%
sistema aerodinâmico (pás e elementos estruturais do rotor)	18 a 25%
sistema de sustentação (torres e elementos estruturais)	23 a 27%

Fonte: Elaboração própria com base nos aerogeradores credenciados no BNDES.

³⁸ A *nacele* de um aerogerador é a estrutura que abriga componentes como o rotor, o gerador, o sistema de controle e outros dispositivos auxiliares. A principal função da *nacele* é permitir o movimento livre das lâminas do rotor em direção ao vento e converter a energia cinética do vento em energia elétrica. Ela também abriga os mecanismos de orientação e controle para otimizar o desempenho da turbina eólica.

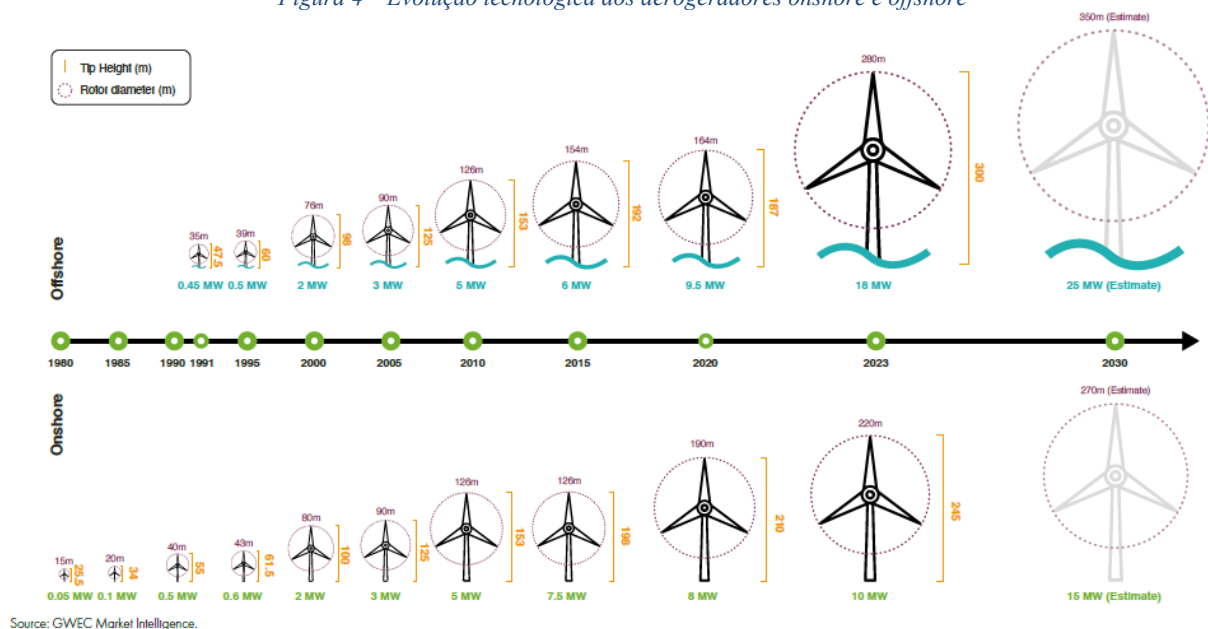
³⁹ Estrutura onde as pás são fixadas.

O sistema de conversão eletromecânica de energia e os fabricantes de aerogeradores

O sistema de conversão eletromecânica da energia dos ventos é o de maior sofisticação tecnológica e onde os maiores avanços de engenharia foram realizados. Os sistemas de geração, controle e conversão de energia que o compõem são intensivos em tecnologias da eletrônica, elétrica, controle e automação, novos materiais e da engenharia mecânica.

Os principais vetores de desenvolvimento técnico desses sistemas são o aumento da capacidade de geração e maior eficiência na conversão de energia de forma a viabilizar tanto técnica- como economicamente novos modelos de aerogeradores da maior potência nominal de geração. Busca-se tanto o desenvolvimento de novos componentes e equipamentos, como novas configurações do sistema de conversão de energia.

Figura 4 – Evolução tecnológica dos aerogeradores onshore e offshore



Fonte: GWEC (2024)

Um vetor secundário de desenvolvimento é a redução do tamanho e do peso dos componentes, uma vez que a busca pela maior capacidade de geração demanda o uso de equipamentos de maior potência elétrica que possuem estruturas maiores e são mais pesados. Essas inovações podem estar associadas a novos projetos de engenharia dos sistemas de conversão de energia.

Há duas principais rotas tecnológicas nos sistemas de conversão eletromecânica de energia utilizados nos aerogeradores de eixo horizontal de 3 pás: os sistemas com e sem caixa multiplicadora (*gearbox*). A caixa multiplicadora é um componente central do aerogerador, localizado entre o rotor e o gerador elétrico. Sua função principal é aumentar a velocidade de rotação do rotor para atingir uma velocidade adequada para gerar eletricidade de forma eficiente. O rotor é conectado à caixa multiplicadora através de uma série de engrenagens, geralmente de diferentes tamanhos, que aumentam a velocidade de rotação conforme a energia do vento é capturada.

Em geral, aerogeradores com caixa multiplicadora são mais adequados para aplicações de grande escala, onde a potência gerada é significativa. A caixa multiplicadora permite que o gerador elétrico opere em velocidades mais altas, otimizando a eficiência da conversão de energia.

No entanto, o uso de uma caixa multiplicadora também introduz certos desafios. As engrenagens estão sujeitas a altas cargas e estresse mecânico, o que pode resultar em desgaste e falhas ao longo do tempo. Além disso, a caixa multiplicadora adiciona complexidade e custo ao sistema, devido à necessidade de manutenção e substituição periódicas das engrenagens.

Nos últimos anos, tem havido um avanço em tecnologias de aerogeradores sem caixa multiplicadora. Esses sistemas utilizam geradores diretos (*direct-drive*), eliminando a necessidade da caixa multiplicadora e reduzindo a complexidade e os custos associados. No entanto, aerogeradores com caixa multiplicadora ainda são amplamente utilizados pelas menores dimensões de seus componentes internos e devido à sua capacidade de proporcionar um desempenho confiável em aplicações de maior escala de geração. Elevados investimentos em P&D são necessários para o desenvolvimento dessas duas principais rotas tecnológicas.

O domínio sobre essas tecnologias constitui importante diferencial estratégico na indústria eólica. Os fabricantes de aerogeradores se especializam na capacidade de engenharia de projeto do aerogerador e no desenvolvimento do sistema de conversão eletromecânica de energia. É comum que a fabricação dos demais sistemas aerodinâmico e de sustentação sejam terceirizados, em especial o segundo que possui menor complexidade técnica. A gestão das cadeias de fornecimento é, assim, aspecto crítico da atividade dessas empresas.

De modo geral, os principais fabricantes de aerogeradores no mundo são empresas especializadas na integração dos diferentes componentes (*OEMs – original equipment manufacturers*). Algumas delas já nasceram na indústria eólica e construíram uma trajetória ligada à engenharia mecânica e aerodinâmica, absorvendo o conhecimento necessário ao desenvolvimento dos componentes elétricos, como nos casos da empresa dinamarquesa Vestas e da alemã Enercon. Outras possuem histórico ligado às atividades e competências da engenharia elétrica de potência e de conversão de energia e diversificaram suas atividades para a indústria eólica, como as grandes corporações transnacionais Siemens e GE.

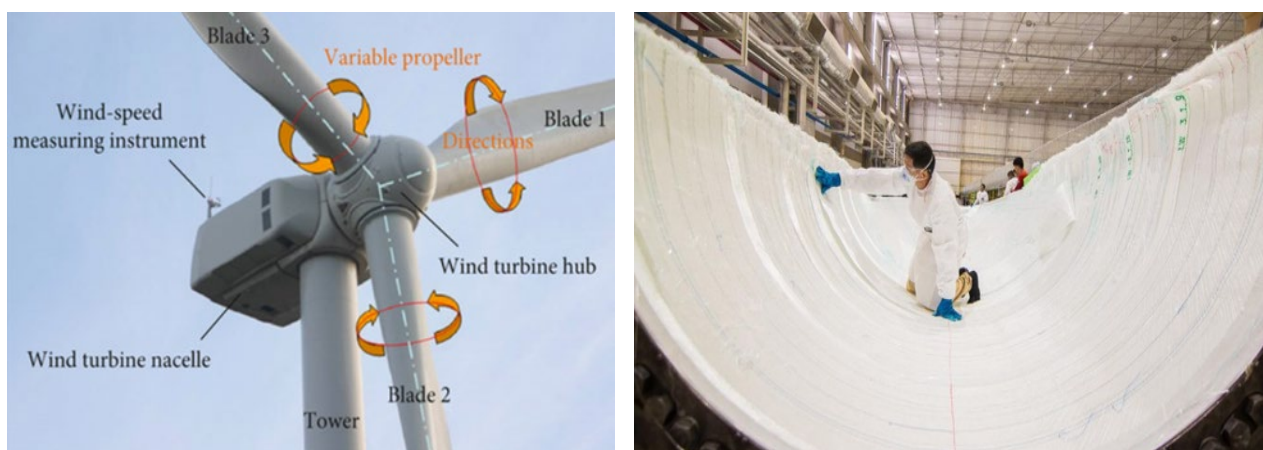
As empresas líderes deste segmento costumam ser empresas multinacionais (EMNs) que dominam as bases de conhecimento a ele relacionadas e assumem posição proeminente frente aos fornecedores de componentes e muitas vezes frente aos investidores dos parques de geração. São as responsáveis pela organização das suas cadeias produtivas e impactam diretamente a definição da trajetória tecnológica dessa indústria.

Assim, o domínio da engenharia relacionada ao sistema de conversão eletromecânica de energia e à capacidade de projeto dos aerogeradores constitui o elo mais relevante da cadeia produtiva do ponto de vista da sofisticação tecnológica, da agregação de valor, da evolução dos aerogeradores e da coordenação das cadeias de suprimentos. Por todos esses motivos, dispensa-se grande atenção a este segmento na estruturação das políticas industriais.

O sistema aerodinâmico (pás e elementos estruturais do rotor)

O segundo sistema mais relevante do ponto de vista da sofisticação tecnológica e do valor agregado dos aerogeradores é o sistema aerodinâmico. Este é composto pelas pás (três nos modelos mais adotados) e o cubo onde estas são fixadas ao sistema de acionamento das pás (*pitch*)⁴⁰. O sistema aerodinâmico tem relação direta com a eficiência e capacidade de geração dos aerogeradores, uma vez que é o responsável pelo aproveitamento da energia mecânica dos ventos.

Figura 5 – Sistema aerodinâmico dos aerogeradores



Fonte: GWEC (2024)

O desenvolvimento de um sistema aerodinâmico capaz de se adaptar aos distintos regimes de vento (constantes ou em rajadas, fortes ou fracos, mais direcionados em um sentido ou com grande variabilidade direcional) exige das empresas capacidade de engenharia para projeto das pás e competências em engenharia mecânica e de cálculo estrutural, da ciência dos materiais, técnicas avançadas de modelagem e simulação de regimes turbulentos e de controle e automação para o movimento do sistema de *pitch*.

Os principais vetores do desenvolvimento tecnológico neste segmento são: o aumento da “área de vela”⁴¹ do aerogerador a partir do aumento no comprimento das pás de forma a fazer uso de maior volume de força mecânica dos ventos; a busca por materiais mais leves e resistentes para a redução do peso das pás e aumento da capacidade de arraste do vento; melhorias das características

⁴⁰ Sistemas de acionamento ou de passo que movimentam as pás para o melhor aproveitamento das condições de vento.

⁴¹ Área coberta na rotação das pás.

aerodinâmicas das pás e do cubo a partir da capacidade de projeto, modelagem e simulação e do avanço nos sistemas de sensoriamento das condições do vento para reposicionamento do sistema; e novos projetos para facilitar o transporte das pás uma vez que estas podem atingir comprimentos de quase 100 metros⁴², tornando a logística uma questão relevante.

Não há uma estratégia predominante entre os fabricantes de aerogeradores em relação à internalização ou terceirização da atividade de projeto de engenharia do sistema aerodinâmico. Algumas dessas empresas constituíram capacidade relevante de projeto do sistema aerodinâmico e terceirizam a fabricação das pás ou mesmo verticalizam a produção, como há fabricantes de pás que, ao se posicionarem como referência técnica no projeto de sistemas aerodinâmicos, tornaram-se fornecedores especializados que influenciam, inclusive, na adaptação do projeto dos aerogeradores por parte dos grandes fabricantes desses. Há, portanto, uma intensa dinâmica de cooperação e concorrência entre os fabricantes de aerogeradores e os fornecedores especializados de pás eólicas.

A fabricante de aerogerador alemã Enercon-Wobben é um exemplo do primeiro caso ao optar por uma estratégia de verticalização da fabricação de pás. A GE seria, por sua vez, um caso híbrido ao definir o projeto das pás e terceirizar sua produção para empresas especializadas no processo produtivo desses equipamentos. Já a fabricante de pás dinamarquesa LM-Wind⁴³ um exemplo de empresa especializada no desenvolvimento e fabricação de pás capaz de influenciar a adaptação dos projetos dos aerogeradores desenvolvidos por outras empresas.

Os requisitos técnicos e de qualidade das pás são elevados. São sistemas que operam por décadas sob estresse mecânico⁴⁴. Há proximidade deste segmento aos requisitos técnicos de confiabilidade e às bases de conhecimento da indústria aeronáutica. A segurança na operação e o longo tempo de vida útil das pás exigem elevado controle de qualidade no processo fabril⁴⁵.

Portanto, mesmo as empresas da cadeia produtiva que recebem o projeto dos fabricantes de aerogeradores para a produção das pás e/ou dos cubos e rotores possuem significativa capacidade de gestão e controle de qualidade do processo produtivo.

Cabe destacar, ainda, que a fabricação dos cubos e dos sistemas de *pitch* demanda etapas de fundição, caldeiraria, usinagem e pintura que são custosas e relevantes para a formação do preço final dos aerogeradores.

⁴² As pás eólicas *onshore* atingem, no presente, um comprimento superior a 90m – Fonte: DoE, <https://www.energy.gov/eere/articles/wind-turbines-bigger-better>, acesso em 20.08.2023.

⁴³ Adquirida pela GE em 2017.

⁴⁴ A vida útil de um aerogerador é de cerca de 20 a 25 anos.

⁴⁵ O segmento de pás eólica é importante gerador de emprego no “chão-de-fábrica” por conta do processo manual de colocação dos materiais compósitos (resinas epóxi, fibra de vidro ou de carbono) que dão forma às pás.

Todos esses aspectos relativos ao sistema aerodinâmico conferem importância ao segmento composto pelos fornecedores especializados na fabricação desses componentes e o tornam um alvo natural das políticas industriais.

O sistema de sustentação (torres e elementos estruturais)

O terceiro e último grande grupo constituinte dos aerogeradores é o sistema de sustentação com a torre e seus elementos estruturais. As torres eólicas têm a função de sustentar e posicionar o *hub*, a *nacele* e as pás na altura correta para o melhor aproveitamento do regime de ventos onde serão instalados os parques eólicos. Com o crescimento da capacidade de geração dos aerogeradores e a busca por ventos mais fortes e de melhor qualidade localizados em maiores altitudes, há uma busca por projetos de torres de maior comprimento⁴⁶.

O desenvolvimento de sistemas de sustentação que atinjam maiores alturas é, portanto, o principal vetor de desenvolvimento das torres eólicas. O uso de novos materiais mais resistentes e novas técnicas de projeto para o cálculo estrutural e para a modelagem e simulação do comportamento desses materiais em operação, são exemplos das técnicas e insumos envolvidos no aperfeiçoamento das torres eólicas. A redução dos custos das fundações e técnicas para a instalação mais ágil são vetores adicionais do desenvolvimento desses equipamentos.

A despeito da menor sofisticação tecnológica em relação aos dois segmentos já analisados, este seria o responsável pelas maiores oportunidades de redução dos custos de geração ao viabilizar o acesso a melhores condições de vento (IRENA, 2016). Portanto, embora correspondam por uma parcela menor do custo final dos aerogeradores, seus fabricantes possuem grande interesse no desenvolvimento do segmento de torres eólicas e interagem continuamente com as suas fornecedoras na busca por soluções que viabilizem a operação dos aerogeradores em maiores alturas.

Pelas menores barreiras à entrada, as empresas fornecedoras desses sistemas atuam, em geral, também em outras atividades econômicas não relacionadas à indústria de energia. Entre os fabricantes de torres de concreto, há empresas da construção civil. Empresas da indústria metalmeccânica costumam entrar no segmento de torres metálicas. Já nas torres treliçadas, empresas do segmento de transmissão de energia elétrica são comuns.

As políticas direcionadas a este segmento buscam aproveitar as menores barreiras técnicas a entrada de forma a qualificar fornecedores locais e incentivar inovações de produto e processo que auxiliem na redução dos custos de geração e nos preços de energia.

⁴⁶ As torres eólicas *onshore* podem atingir até 135m (modelo de torre utilizada no aerogerador Enercon E-126). Os modelos mais comuns são as torres metálicas, de concreto ou híbridas que utilizam concreto e componentes estruturais metálicos.

2.3. Políticas industriais: os casos dos EUA e China

Após a análise do mercado de energia eólica e dos principais vetores que definem a organização industrial da cadeia produtiva de aerogeradores, é importante analisar as políticas que sustentaram a evolução dessa indústria.

O estágio atual de desenvolvimento da energia eólica no mundo é fruto de um longo e complexo processo que contou com a estruturação de políticas para a promoção dessa fonte de energia. O desenvolvimento tecnológico e a difusão das inovações pelos diferentes mercados ocorreram com grande apoio dos governos por meio de políticas industriais (Lewis e Wiser, 2005).

Incentivar fontes de energia alternativas reduz a dependência de importação de energia. Reduzir o risco geopolítico relacionado à segurança energética é aspecto central das estratégias de desenvolvimento dos países visando garantir a segurança energética de longo prazo.

Em linha com esse objetivo, elevar a resiliência das cadeias produtivas locais reduz os efeitos de choques externos que afetam o comércio internacional, podendo acarretar dificuldades no fornecimento de componentes críticos e estratégicos. Garantia de fornecimento desses equipamentos e domínio sobre o desenvolvimento tecnológico, em especial, quando há planos robustos de inserção dessa fonte na matriz energética, são razões para se buscar o adensamento local da cadeia produtiva e que se alinham ao desenvolvimento da indústria de energia nas diversas economias. Autonomia tecnológica e evitar gargalos no fornecimento são aspectos relevantes para o planejamento energético no longo prazo.

A “localização” da indústria eólica dá maior flexibilidade à inserção dessa fonte na matriz energética ao reduzir o *lead-time*⁴⁷ necessário para o fornecimento dos aerogeradores aos projetos dos parques eólicos. Parques eólicos são alternativas de rápida implementação quando comparados a outros investimentos em geração de energia⁴⁸.

Reduzir a exposição ao risco cambial derivado da importação de equipamentos e manter uma balança comercial de bens manufaturados equilibrada, mitigando os riscos de restrições externas relacionadas à balança de pagamentos, são razões adicionais que sustentam as iniciativas de adensamento industrial (Platzer, 2012).

A geração de empregos qualificados na indústria e evitar o “vazamento” de renda são outros motivos que levaram os países a articularem suas políticas energéticas a políticas industriais para o

⁴⁷ *Lead-time* é o tempo necessário para que um processo ou atividade seja concluído. É um conceito amplamente utilizado em logística, gestão de projetos, manufatura e outras áreas operacionais.

⁴⁸ A geração hidrelétrica é um exemplo. Os investimentos em exploração e produção local de petróleo e gás natural, outro.

desenvolvimento de uma indústria eólica. Busca-se com isso os efeitos multiplicadores de emprego e renda na economia que são impulsionados pelo adensamento produtivo local.

Fortalecer o Sistema Nacional de Inovação e os encadeamentos nas atividades produtivas e de P&D, alinhando política energética, industrial e de inovação também são aspectos considerados pelos países na formulação da estratégia de desenvolvimento e que compreendem o adensamento produtivo relacionado à energia eólica como uma oportunidade.

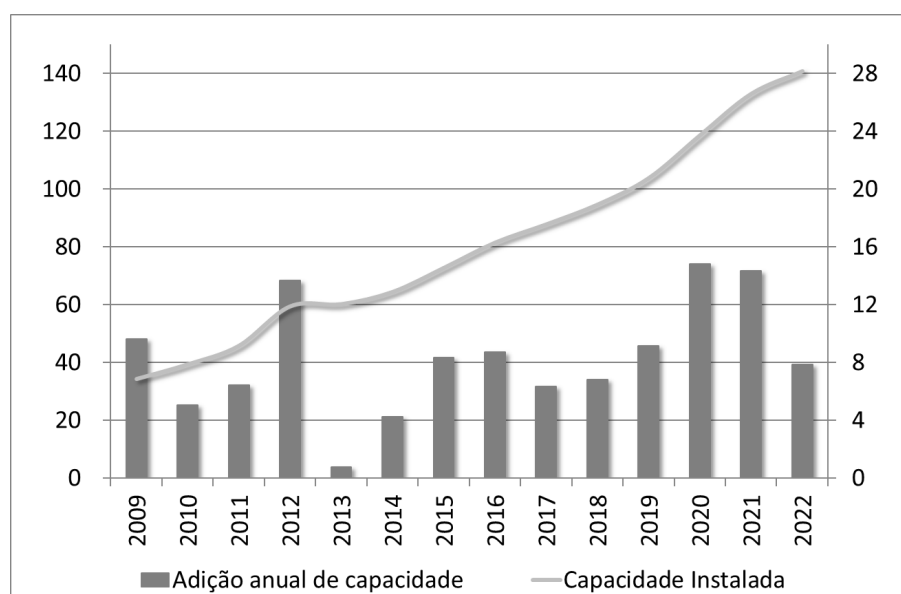
Todos esses são elementos motivadores da estruturação das políticas industriais que se alinham aos objetivos de transição energética e sustentabilidade relacionados à emergência climática. Na presente seção serão apresentadas as políticas industriais implementadas por EUA e China, os dois principais mercados de energia eólica global.

Esses países tiveram êxito em desenvolver uma indústria eólica local. Estudar esses dois casos permitirá identificar as diferentes estratégias e instrumentos de política que foram usados para o desenvolvimento da indústria eólica nesses países.

Políticas industriais de energia eólica nos EUA

Os EUA possuem o segundo maior parque de geração eólica mundial, atrás da China, com uma capacidade instalada de 140 GW, em 2022, uma participação de 16% da capacidade instalada mundial. Desse total mais de 80 GW de capacidade de geração foi adicionada entre 2013 e 2022, uma adição anual média de 8GW/ano e que gerou investimentos anuais da ordem de 10-12 bilhões de dólares (IRENA, 2016; Wiser *et al*, 2023)⁴⁹.

Gráfico 8 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade nos EUA (GW)



Fonte: elaboração própria a partir de GWEC (2023)

⁴⁹ IRENA (2016) e Wiser *et al* (2023) estimam investimento de cerca de USD 1,5 bilhão por GW nos EUA.

Nos EUA, o governo federal e os Estados da Federação ditaram o ritmo da incorporação da energia eólica ao direcionar incentivos a essa fonte de energia (Lazonick, 2013). Diferentes mecanismos foram utilizados para esse fim. *Grants*, créditos tributários e incentivos fiscais como contrapartidas à geração de emprego na manufatura foram largamente utilizados.

Encomendas tecnológicas pelo Departamento de Energia (*DoE*) (*ibid.*) e por outras agências federais e estaduais, programas de *net metering*⁵⁰, exigências mínimas de participação das fontes renováveis na geração em esfera estadual (*Renewable Portfolio Standards*), mercado de créditos de geração de energia limpa (*Renewable Energy Credits*), são exemplos de políticas adotadas nos EUA.

Estas iniciativas permitiram que os custos dos aerogeradores e da geração da energia eólica caíssem no país. Até 2014-15 eram superiores apenas aos encontrados na China. Esta queda ocorreu em paralelo à elevação do fator de capacidade⁵¹ dos aerogeradores instalados (IRENA, 2016). A geração de energia eólica atingiu cerca de 10% da geração elétrica nos EUA em 2021.

Um importante adensamento industrial foi obtido. A indústria eólica nos EUA possuía em 2011 cerca de 470 fabricantes, frente a poucas dezenas em 2004 (Wiser e Bolinger, 2011). Empregava, em 2021, cerca de 120 mil pessoas (DoE, 2022). Alguns dos principais fabricantes globais de aerogeradores possuem capacidade produtiva estabelecida nos EUA. GE, Vestas e Siemens-Gamesa, nessa ordem, são os fabricantes de aerogeradores mais relevantes e possuem, em conjunto, uma participação de mercado superior a 80% na última década. A participação de fabricantes chineses no país é irrisória, apenas a Goldwind possui uma participação de mercado superior a 1% (*ibid.*).

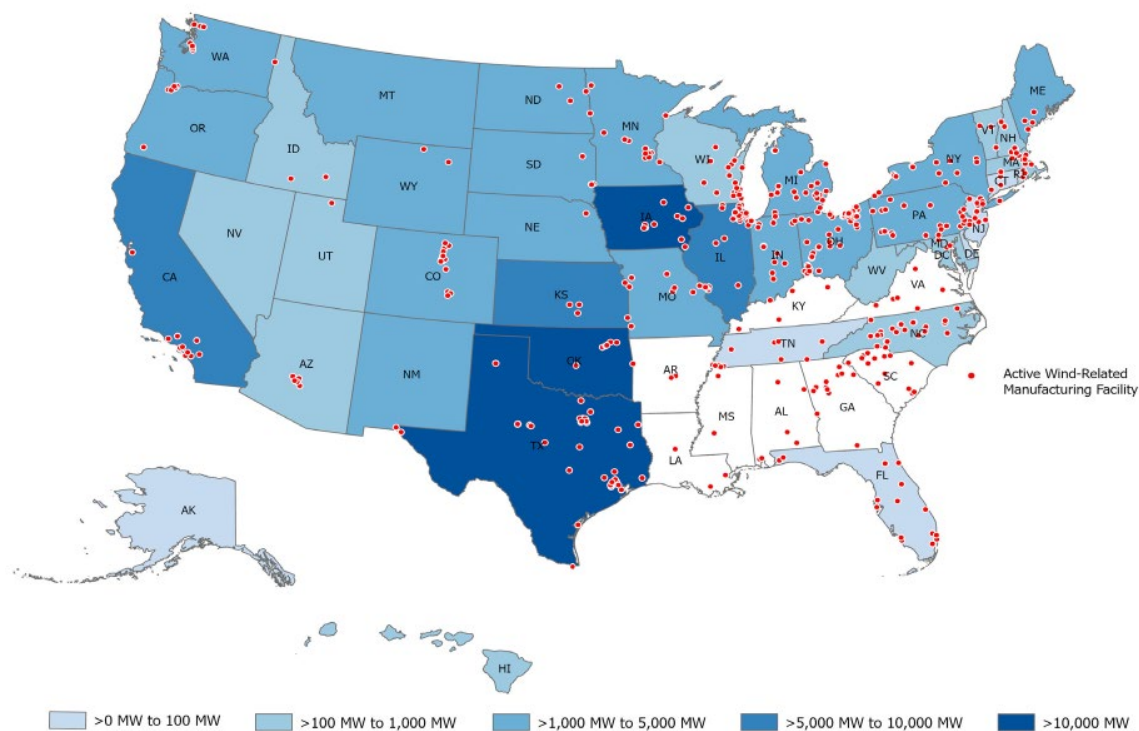
A capacidade de produção de aerogeradores da indústria eólica nos EUA cresceu de menos de 1,5 GW em 2006 para mais de 13 GW em 2012, reduziu para cerca de 10 GW em 2015 como decorrência da queda na demanda em anos anteriores, e se elevou para 15 GW em 2020.

O crescimento da cadeia produtiva, incentivado pelas políticas públicas, viabilizou que, em média, 70% dos componentes dos aerogeradores instalados nos EUA tenham sido manufaturados localmente em 2011, ano de elevada demanda, frente a 35% no biênio 2005-06. O conteúdo doméstico permaneceu relativamente elevado na última década para componentes maiores (como torres) e também para a montagem de naceles. O conteúdo de fabricação doméstica de pás eólicas, por outro lado, caiu nos últimos anos (*ibid.*). A Figura 6 identifica as unidades industriais da cadeia de suprimentos de componentes de aerogeradores operando nos EUA no final de 2021.

⁵⁰ Sistema de compensação de energia no qual o consumidor-gerador de energia abate dos seus próprios custos o excedente despachado na rede elétrica.

⁵¹ O fator de capacidade na energia eólica é uma medida que expressa a eficiência e a utilização de uma usina eólica em relação à sua capacidade máxima de geração de energia. Ele é calculado como a relação entre a quantidade real de energia produzida pela usina durante um período de tempo e a quantidade máxima de energia que a usina seria capaz de gerar continuamente em sua capacidade máxima.

Figura 6 – Geração de energia eólica nos estados da federação dos EUA e a localização da cadeia produtiva



Fonte: Land-based wind market report 2022 - DoE (2022)

Apesar da amplitude da cadeia de suprimentos, a indústria eólica dos EUA depende da importação de equipamentos. O nível de importação varia de acordo com os componentes: alguns têm uma produção doméstica relativamente alta, enquanto outros permanecem em grande parte importados. Os principais componentes importados nos últimos anos foram as pás eólicas e partes e peças do sistema de conversão eletromecânica de energia (*nacelle e hub*) (*ibid.*).

Além disso, os EUA possuem apenas um fabricante nacional de grande porte com participação relevante no mercado internacional, a GE, e obteve apenas relativo sucesso em desenvolver outros *players* com presença internacional nos demais elos da cadeia produtiva.

A volatilidade e intermitência dos mecanismos de incentivo nos EUA, a despeito dos relevantes recursos já canalizados com o fim de viabilizar o investimento produtivo e a expansão da geração de energia, são as principais razões para as fragilidades ainda encontradas na cadeia produtiva local americana (Lewis e Wisner 2005, 2005b; Lazonick, 2013; DoE, 2022).

Esse perfil de *stop-and-go* das políticas é apontado como uma das principais dificuldades enfrentadas pela indústria eólica no país e seria responsável por um adensamento industrial caracterizado por algumas vulnerabilidades em elos críticos da cadeia produtiva, que poderia ter sido mais efetivo considerando a escala já atingida do mercado americano (Lazonick, 2013).

O incentivo mais duradouro e responsável pelo maior volume de recursos é um mecanismo de crédito tributário para a geração de energia renovável, o PTC (*Production Tax Credit*) da esfera

Federal. Este mecanismo sofreu com as renovações periódicas no Congresso e em alguns anos enfrentou dificuldades para a destinação de orçamento⁵².

O mercado de capitais, que poderia funcionar como alternativa ao viabilizar a captação de recursos tanto pelos fabricantes quanto pelos investidores em energia, tem sido responsável, historicamente, por um volume de recursos muito inferior aos destinados à indústria eólica por meio dos outros incentivos estabelecidos (*ibid.*).

O maior desafio para o desenvolvimento da indústria eólica nos EUA continua sendo a expansão do apoio público e uma maior sustentabilidade das políticas. O Governo Biden pretendeu ser um ponto de inflexão nesse sentido. Em agosto de 2022, aprovou o *Inflation Reduction Act* (IRA) que, além de outros objetivos, tomou medidas diretas para incentivar a fabricação doméstica dos aerogeradores e seus componentes e impulsionar a geração de empregos na sua cadeia produtiva⁵³.

A lei estende os créditos fiscais para projetos de energia limpa (incluindo o crédito fiscal de investimento de 30% aplicável à energia eólica *offshore*). Também oferece créditos extraordinários para projetos que atendam limites mínimos de conteúdo local e/ou estão localizados em “comunidades de energia” (comunidades anteriormente dependentes de emprego ou infraestrutura de combustíveis fósseis). Uma série de outros incentivos estão incluídos no IRA e a expectativa é que até 2030 cerca de 30GW estejam operacionais considerando apenas a geração *offshore*⁵⁴.

O Laboratório Nacional de Energias Renováveis (*NREL* na sigla em inglês), associado ao *DoE*, publicou extenso mapeamento da necessidade de investimentos na cadeia produtiva com *roadmaps* indicativos para os principais componentes e serviços que serão demandados (Shields *et al*, 2023). Nesse estudo, o *NREL* estima uma necessidade de investimento de 22 bilhões de dólares na cadeia produtiva. Projeta-se, assim, um novo ciclo de investimento na cadeia produtiva nos EUA nos próximos anos, embora os investimentos anunciados como decorrência do *IRA* ainda sejam baixos⁵⁵.

Importante ressaltar o papel estratégico desse laboratório nacional para o desenvolvimento da indústria eólica nos EUA. O *NREL* tem atuação ampla e cobre desde atividades de pesquisa e desenvolvimento, testes, certificação e homologação de produtos e serviços de energia até a elaboração de análises de mercado e estudos sobre o planejamento do setor de energia e de sua cadeia de suprimentos. Seu orçamento superou USD 130 milhões no ano de 2022 (*DoE*, 2022a).

⁵² O PTC expirou em 2012 e foi renovado em 2013, o que levou à antecipação de projetos em 2012 e uma baixa adição de capacidade em 2013. Ver gráfico 8 e Lazonick (2013). O *IRA* renovou o PTC até 2024 dando maior previsibilidade a esse incentivo.

⁵³ H.R. 5376, 117th Congress 2021-2022: <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376>

⁵⁴ A recente eleição de Donald Trump para presidente dos EUA pode impactar a alocação dos incentivos para a energia eólica. Todavia, esse impacto ainda não pode ser mensurado.

⁵⁵ O acompanhamento feito pelo governo federal indica um volume de investimentos de USD 500 milhões até o momento – consulta feita a <https://www.energy.gov/invest> em 24/10/2024.

Os EUA possuem uma relevante infraestrutura de ciência e tecnologia (C&T) para dar suporte à indústria eólica, com inúmeras universidades, laboratórios nacionais e associações de representação da indústria e dos trabalhadores desempenhando papéis importantes na inovação e no desenvolvimento da força de trabalho.

O citado NREL, por meio de seu *National Wind Technology Center* (NWTC), é um ator central dessa rede juntamente com laboratórios como o *Sandia National Laboratories*, o *Pacific Northwest National Laboratory* (PNNL) e o *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), que realizam P&D em um amplo espectro de tecnologias de energia eólica, desde mecânica de turbinas até segurança ambiental em energia eólica *offshore*.

Universidades como a Texas Tech, a University of Massachusetts Amherst e a University of Iowa, entre outras, são exemplos de instituições que atuam no treinamento e qualificação de novos pesquisadores e engenheiros, oferecendo programas especializados que se concentram nas diferentes áreas do conhecimento de engenharia associada à energia eólica, à fabricação dos aerogeradores e à modelagem de sistemas de energia.

Financeiramente, o governo federal aloca fundos substanciais para o avanço do setor de energia. O orçamento do DoE para o ano fiscal de 2024 é de USD 52 bilhões, distribuído em diferentes iniciativas para a redução de custos de energia para famílias americanas, sustentação da liderança em ciência e inovação, investimento em soluções inclusivas de energia limpa e na garantia da segurança energética e segurança nacional. Do seu orçamento total, cerca de USD 8,8 bilhões é direcionado para as diversas atividades de C&T, o segundo maior orçamento alocado pelo DoE, atrás apenas do programa de energia nuclear americano com USD 23,8 bilhões⁵⁶.

O portfólio de pesquisa básica da secretaria de ciência do governo federal americano inclui bolsas e contratos que dão suporte a quase 29.000 pesquisadores em mais de 300 instituições e nos 17 laboratórios nacionais, abrangendo os cinquenta estados e o Distrito de Columbia (DoE, 2022a).

Essa infraestrutura de C&T e suas fontes de financiamento foram fundamentais na redução do custo de geração de energia eólica, que caiu quase 70% na última década, tornando-a uma das fontes de energia mais acessíveis nos EUA. Essa redução reflete os resultados dos esforços contínuos de P&D, particularmente na melhoria do *design* das pás e das turbinas, da ciência de materiais e na eficiência operacional dos parques eólicos.

⁵⁶ <https://www.energy.gov/articles/statement-energy-secretary-granholm-presidents-fiscal-year-2024-budget>

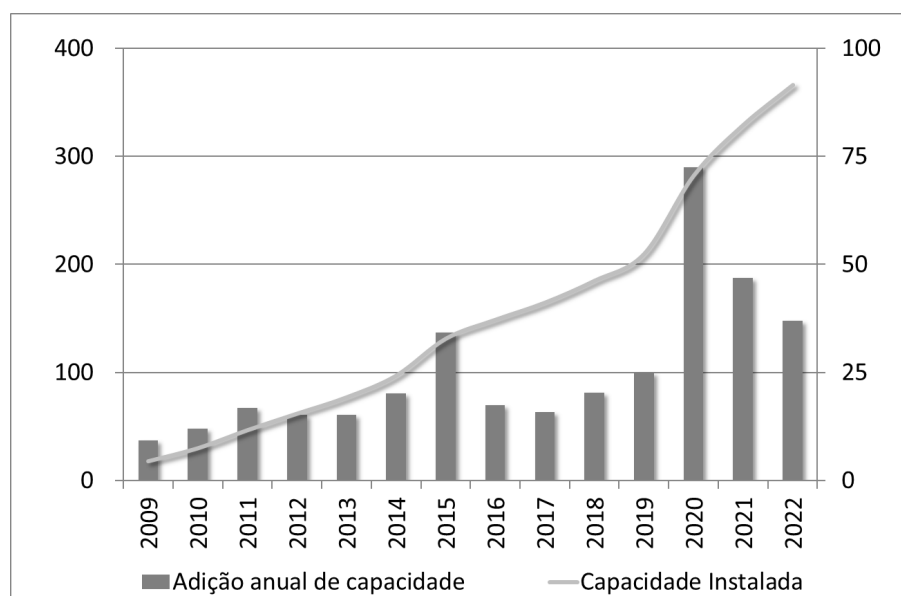
Políticas industriais de energia eólica na China

Em um contexto de elevado crescimento interno e taxas de investimento superiores a 40% do PIB, o crescimento da demanda por energia na China impulsionou as fontes renováveis de energia. A energia solar e eólica são as duas principais fontes renováveis nesse país.

A China é a líder global na geração eólica e atingiu cerca de 366 GW de capacidade instalada em 2022, uma participação de 41% da capacidade instalada global. Junto com os EUA responde por mais de 57% da capacidade instalada no mundo (GWEC, 2023).

Desse total mais de 200 GW de capacidade de geração foi adicionada no quinquênio 2018-22, uma adição anual média de cerca de 40 GW/ano e que gerou um investimento anual da ordem de 60 bilhões de dólares ao ano (IRENA, 2016)⁵⁷.

Gráfico 9 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade na China (GW)



Fonte: elaboração própria a partir de GWEC (2023)

Desde 2020, a China foi responsável por pelo menos a metade da adição anual de capacidade de geração eólica no mundo. Os planos quinquenais indicativos do Partido Comunista Chinês priorizam, em suas diretrizes, o desenvolvimento das energias renováveis de forma que se espera que a geração eólica siga em rápida expansão nos próximos anos⁵⁸.

⁵⁷ IRENA (2016) estima um investimento de 1,5 bilhão por GW na China.

⁵⁸ O 14º plano quinquenal 2021-25 projeta um aumento de 50% na geração de energia renovável (de 2,2 trilhões de kWh em 2020 para 3,3 trilhões de kWh em 2025) e estabelece uma parcela de consumo de eletricidade renovável em 2025 de 33% frente 28,8% em 2020. Além disso, planeja que 50% do consumo incremental de eletricidade e energia da China virá de fontes renováveis durante o período de 2021-2025, Fonte: 14º Plano Quinquenal 2021-25 aprovado na 19ª reunião do Comitê Central que ocorreu entre 26 a 29/10/2020.

De forma distinta dos EUA, onde a expansão da energia eólica se deu, em parte, com o objetivo de conversão da infraestrutura de energia existente, mesmo caso da Alemanha com a política *Energiewende*⁵⁹, na China, a crescente demanda por nova geração de energia foi o principal vetor da expansão da energia eólica (IEA, 2017)⁶⁰.

A política industrial recebeu imensa importância do governo chinês desde o início do desenvolvimento da energia eólica. Diferentes mecanismos foram estabelecidos com o objetivo de viabilizar o adensamento produtivo local e a criação de uma cadeia de fornecedores de bens e serviços ligada à energia eólica. Estes mecanismos foram articulados com incentivos para inserção dessa fonte na matriz energética desde a década de 90.

Um exemplo é o “*Ride the Wind Program*”, de 1995, que tinha como visão induzir a demanda por geração eólica a ser contratada pelo Governo, estabelecer parcerias produtivas entre empresas chinesas e fabricantes internacionais e incentivar a concorrência local na cadeia produtiva (Liao, 2016).

À criação da demanda por geração eólica combinou-se uma política agressiva de formação de parcerias estratégicas (*joint ventures*) como forma de viabilizar a absorção de novas competências pelas empresas nacionais que muitas vezes foram associadas a acordos de transferência de tecnologia, ao licenciamento de patentes e articuladas com o desenvolvimento e adaptação dos sistemas para fabricação local (*ibid*).

Na virada do século a inserção da energia eólica na matriz acelera e o uso de incentivos expande. A partir de 2003, programas de concessão de energia (*Wind Concession Programs*) foram criados para a aquisição de maior escala dessa fonte a preços que viabilizaram os projetos de geração. Esses programas foram combinados a requisitos de compras locais de aerogeradores de forma a direcionar essa demanda para a indústria nascente (Surana e Anadon, 2015).

Esses programas de concessão de energia possuíam garantias de conexão ao *grid* e foram complementados pelo estabelecimento de *feed-in tariffs*⁶¹ de forma a pulverizar a demanda e incentivar projetos de geração de menor porte nas diferentes províncias.

Na primeira década do séculos XXI, os projetos ganharam escala e atingiram centenas de megawatts de capacidade de geração. Um aerogerador nesse momento tinha uma potência média de 1 MW. A escala dos investimentos de algumas centenas de MW viabilizava, portanto, a aquisição de

⁵⁹ Iniciativa do Governo Alemão que visa a transição para uma economia de baixo carbono. *Energiewende* significa transição energética em uma tradução livre.

⁶⁰ O consumo elétrico *per capita* mais que quadruplicou no período 2000-14.

⁶¹ Mecanismo por meio do qual garante-se aos geradores de energia renovável um preço fixo e garantido por cada unidade de eletricidade que eles geram e injetam na rede elétrica.

centenas de aerogeradores. Já na primeira década do século XXI o mercado chinês atingiu o nível de alguns GW, elevando o volume de encomendas de aerogeradores para a escala de milhares.

Outra medida importante foi a Lei de Energia Renovável (*REL*), criada em 2005, e aprimorada em 2009. De acordo com essa regulamentação, as empresas responsáveis pela distribuição de energia foram obrigadas a celebrar contratos para aquisição de toda a eletricidade gerada com fontes em energias renováveis. A lei exigiu que as distribuidoras de energia fornecessem os serviços de conexão necessários, facilitando a integração das energias renováveis à rede elétrica nacional.

Exigências de conteúdo local mínimo e que se elevavam gradualmente foram combinadas a créditos subsidiados ao investimento e *grants* para as atividades de P&D foram utilizadas tanto na cadeia produtiva quanto para a implantação dos parques eólicos (Zhang *et al* 2013; 2016)⁶².

Em conjunto com esses mecanismos, políticas comerciais, barreiras técnicas e tarifárias foram estabelecidas conforme a indústria eólica se estabelecia e incidiam sobre a importação de aerogeradores e os principais pacotes que o integram.

Em 2009, a China ultrapassa os EUA e passa a ser o país que mais adiciona capacidade de geração eólica no mundo anualmente. De forma distinta dos EUA, isenções fiscais e créditos tributários foram menos utilizados e tiveram um papel secundário.

A maior parte do *funding* para os projetos de geração e transmissão de energia provinha do Governo, principalmente, via investimento das empresas estatais e por meio de programas estruturados pelo *China Development Bank* (CDB) e outros grandes bancos estatais chineses. O financiamento público teve papel relevante para a viabilização dos parques de geração e para o desenvolvimento da cadeia produtiva. As energias renováveis foram seguidamente priorizadas nos sucessivos planos quinquenais.

Como resultado dessas políticas a capacidade instalada de energia eólica aumentou muito além das metas planejadas nos planos quinquenais, embora a proporção da eletricidade gerada por essa fonte no consumo de eletricidade do país ainda seja baixa em relação ao consumo total de energia.

O investimento estrangeiro direto (IED), em conjunto com o suporte às empresas nacionais nascentes, teve papel relevante na criação de capacidade na manufatura no início da trajetória de desenvolvimento dessa indústria. O governo incentivou projetos de demonstração com tecnologia de fabricantes estrangeiros como a Vestas (Surana e Anadon, 2015).

⁶² As políticas de conteúdo local foram executadas na China até a sua entrada na OMC em 2009, quando foram descontinuadas.

A fabricação local por parte dos fabricantes estrangeiros foi incentivada junto com o estabelecimento de parcerias com empresas chinesas. Contratos de transferência e licenciamento de tecnologia foram amplamente utilizados. Com o tempo e o aprendizado na indústria local, os fabricantes chineses passaram a desenvolver seus próprios aerogeradores.

Nos últimos 5 anos, a China foi responsável por 70% da expansão de capacidade fabril de aerogeradores no mundo. Aproximadamente, USD 6 bilhões foram investidos entre 2019 e 2023 com esse fim (IRENA, 2024). Os custos de geração de energia eólica decresceram de maneira acelerada na China⁶³. A escala do mercado doméstico foi determinante nesse processo e acelerou a queda dos custos dos aerogeradores no mercado global.

Os elevados investimentos na indústria, buscando os ganhos de escala, geraram ociosidade em alguns períodos, o que incentivou o processo de consolidação entre empresas, marca do desenvolvimento chinês também em outras indústrias.

Outros dois pontos de atenção devem ser destacados. A baixa potência média dos aerogeradores fabricados no país, que atingiu apenas 1,7 MW em 2014⁶⁴, e o fator de capacidade médio dos novos projetos, que não chegava a 25% nesse mesmo ano (IRENA, 2016). Ambos os aspectos possuem relação com o desenvolvimento acelerado dessa indústria que passou por um processo de emparelhamento tecnológico dos fabricantes nos aerogeradores de menor potência e pelas condições de operação dos parques eólicos *onshore* junto com o regime de ventos. Os aerogeradores de menor complexidade técnica e produtiva são justamente os modelos de menor potência e fator de capacidade.

No presente os principais fabricantes chineses possuem modelos de maior potência como os demais fabricantes de outros países e disputam a liderança tecnológica do setor⁶⁵. A China possui 5 fabricantes nacionais entre os dez maiores do mundo. A Goldwind e a Envision são as duas maiores fabricantes no mercado doméstico e lideraram as instalações de aerogeradores também no mercado global em 2023. Ambas disputam a liderança de mercado com a dinamarquesa Vestas nos últimos anos. Em 2016, mais de meio milhão de pessoas estavam empregadas na indústria eólica chinesa (GWEC, 2016).

A infraestrutura de ciência e tecnologia é um componente essencial para o sucesso do país. A *Chinese Academy of Sciences* (CAS) coordena uma rede com mais de 100 institutos, 70 mil pesquisadores e conta com um orçamento anual da ordem de USD 5 bilhões. Atua em áreas relacionadas às energias renováveis como no desenvolvimento de materiais avançados, tecnologias

⁶³ IRENA: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>

⁶⁴ Dinamarca ≈ 3 MW, Alemanha ≈ 2,7 MW, Brasil ≈ 2 MW e EUA ≈ 1,9 MW.

⁶⁵ A Goldwind já possui modelos de potência superior a 5MW - <https://www.goldwindamericas.com/gw5s>

para a otimização, durabilidade e eficiência dos aerogeradores, inteligência artificial e sistemas computacionais aplicados ao setor eólico.

Destaca-se, nessa rede, o *National Wind Power Engineering Technology Research Center*, um dos laboratórios nacionais mais importantes para o desenvolvimento e testes de aerogeradores. Localizado em Pequim, esse instituto é responsável por conduzir pesquisas avançadas em aerodinâmica de turbinas, novos materiais, melhoria da eficiência energética tanto para os aerogeradores *onshore* quanto *offshore*.

Universidades como a Tsinghua University e a Shanghai Jiao Tong University, são exemplos de universidades que atuam na formação de profissionais para o setor e no desenvolvimento de tecnologias. Possuem cursos relacionados à engenharia de energia e realizam pesquisas em eficiência energética e sustentabilidade em energia eólica. O sistema educacional chinês formou mais de 9,6 milhões de alunos de graduação em 2022 em 1239 universidades e 1489 instituições de formação profissional⁶⁶.

Na indústria, empresas como Goldwind, Envision e Myngyang, as três maiores fabricantes de aerogeradores, possuem centros de P&D próprios e colaboram com universidades e centros de pesquisa para o desenvolvimento de novos produtos.

O financiamento às atividades de pesquisa e desenvolvimento na China é sustentado principalmente por três fontes: o governo central, as províncias e governos locais e o investimento das estatais e empresas privadas nacionais. O país teve uma taxa de investimento em P&D de 2,54% do PIB em 2022. Desse total, mais de 80% realizado por empresas estatais e/ou privadas nacionais⁶⁷.

A política energética chinesa associada à política industrial e de ciência e tecnologia obteve sucesso em criar o maior mercado mundial de energia eólica e a mais extensa cadeia produtiva de aerogeradores entre os países de maior capacidade de geração eólica. Capacitou a indústria chinesa para o desenvolvimento dos aerogeradores e seus componentes. A posição de liderança global de grandes fabricantes de aerogeradores chineses comprova o êxito desse processo.

⁶⁶ Fonte: China Statistical Yearbook 2023 - <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/indexeh.htm>, acessado em 25/10/2024. Não foi possível obter dados desagregados sobre o investimento em P&D para o setor eólico.

⁶⁷ Fonte: China Statistical Yearbook 2023 - <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/indexeh.htm>, acessado em 25/10/2024. Não foi possível obter dados desagregados sobre o investimento em P&D para o setor eólico.

2.4. Conclusão do capítulo

Este capítulo analisou a evolução do mercado global de energia eólica, a organização da cadeia produtiva e as políticas dos países com as maiores capacidades instaladas de geração de energia eólica do mundo, EUA e China. É importante fazer alguns comentários a partir dessas análises.

Um primeiro aspecto trata do ritmo de expansão da energia eólica no mundo. Apesar do significativo crescimento dessa fonte de energia nas duas últimas décadas, é importante notar que a maior parte desse crescimento se deu de forma concentrada em poucos mercados.

Difundir a geração eólica por mais países e acelerar seu ritmo de expansão em mercados já desenvolvidos será um desafio nos próximos anos. Junto a isso é necessária uma boa coordenação desse processo de expansão com o desenvolvimento da indústria para evitar gargalos de fornecimento. Políticas industriais serão necessárias nos diversos países para viabilizar a coordenação da expansão da geração de energia com os investimentos na cadeia produtiva.

GWEC (2024) realizou um levantamento sobre a capacidade global de fornecimento de aerogeradores, seus componentes e insumos para a geração *onshore e offshore* e apontou os gargalos produtivos nos próximos anos, caso a expansão projetada da energia eólica se concretize (Figura 7).

Figura 7 – Gargalos na cadeia global de suprimentos de aerogeradores

Theme	Critical materials					Key components								Assembly		Offshore wind enablers			
Subject	Rare Earths*	Steel Plate*	Copper	Concrete	Carbon Fiber*	Gearboxes*	Generators*	Blades*	Power Converters*	Castings*	Towers*	Foundations*	Cables*	Onshore nacelles*	Offshore nacelles*	Installation vessels*	Ports*	Workforce	
Global level criticality																			
Time to action **	Europe	2023	-	-	-	2025	2024	2024	2024	2024	2023	2025	2025	2025	2024	2024	2025	2023	2023***
	North America	2023	-	-	-	2025	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2024	2023	2023	2023	2023	2023***
	China	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***
Key findings	<ul style="list-style-type: none"> General availability of needed materials at the global level, with copper mining/refining and concrete production available for all major regions Major centralisation for refining of rare earth materials, with close to no capacity outside of China today. First alternate refineries expected to be ready by 2028 Carbon fiber production currently experiencing undercapacity; major capacity expansion has been announced in particular in China, with Europe and North America likely becoming reliant upon imports 					<ul style="list-style-type: none"> Risk of manufacturing bottlenecks before 2030 for multiple components at regional level, in particular gearboxes, generators, blades as well as offshore wind size compatible metal castings, towers and foundations Strong centralisation for some key components, especially gearboxes and castings. North America is generally fully dependent on imported components and is already today experiencing undersupply of especially components for offshore wind including offshore towers, foundations and subsea cables Supply chains will generally benefit from building out regional manufacturing hubs to ensure more resilient access to needed components while ensuring continued trade and global interlinkages to enable flexibility and address demand volatility 					<ul style="list-style-type: none"> Onshore challenge expected only if trade exports from India/China are restricted Offshore assembly risks undersupply as uncertain industry outlook may lead to plant cancellations 			<ul style="list-style-type: none"> Offshore wind needs to scale both port capacity and wind turbine installation vessels with sufficiently large crane capacity US critically lacks vessels and ports while announced expansion plans and orders in other markets can address need to 2030; any cancellations will pose risks 					
Recommendations	Address basic barriers to wind industry growth in land, grids and permitting to increase volume and predictability					Regionalisation will be needed to support growth and resilience, while maintaining a globalised supply chain					Trade policy should build competitive industries, not push higher costs onto end users			Fundamental reform of the power market underpins further wind growth					
	The wind industry must standardise and industrialise					The market must provide clear and bankable demand signals													

Fonte: GWEC (2024)

Segundo esse levantamento, há riscos significativos relacionados à baixa disponibilidade de mão de obra e a gargalos de fornecimento de uma série de componentes e insumos, com destaque para as terras raras, as caixas multiplicadoras e a atividade de fundição de grande porte. Além disso, aponta-

se a concentração dessas atividades em poucos países e empresas como um desafio adicional para o desenvolvimento dessas indústrias. A localização da cadeia produtiva é citada como aspecto crítico para a resiliência e sustentabilidade da expansão da energia eólica nos seus diferentes mercados.

Importante destacar, como discutido, que essas cadeias produtivas possuem um importante componente regional. Os custos logísticos são relevantes para alguns dos componentes dos aerogeradores (pás, cubos/*hubs*, anéis forjados e de rolamento, dentre outros).

Há um fato estilizado no desenvolvimento da energia eólica que aponta para uma forte correlação entre a expansão dessa fonte de energia e o desenvolvimento de uma indústria local a ela associada. Como visto, esse processo ocorreu em um número limitado de países que concentram maior parcela da capacidade de geração eólica no mundo.

A respeito da organização da cadeia produtiva, é importante notar que os fabricantes de aerogeradores foram identificados como o elo dinâmico dessa indústria por desenvolverem as atividades mais intensivas em conhecimento e por ser o elo que coordena a cadeia de fornecimento de insumos e componentes. Países com importantes mercados domésticos de energia eólica têm a oportunidade de desenvolver empresas nesse segmento, que costuma ser alvo preferencial das políticas industriais.

Além disso, há oportunidades para a capacitação da indústria local nos demais segmentos dessa cadeia produtiva. Tanto a fabricação do pacote aerodinâmico (pás e componentes), quanto do pacote de sustentação (torres e elementos estruturais), demandam um nível elevado de qualidade e confiabilidade em seus processos produtivos e de seus insumos, que podem promover a qualificação desses fornecedores e os encadeamentos à montante na cadeia produtiva.

Sobre o desenvolvimento da indústria eólica nos EUA e China, é importante notar as diferenças nas abordagens adotadas para implementação das políticas industriais nesses países. Enquanto nos EUA predominaram políticas de incentivo fiscal e tributário, na China predominaram instrumentos de incentivo diretamente relacionados à constituição de nova capacidade produtiva e de geração de energia, a exemplo do uso do investimento público das estatais e do financiamento público.

Em comum, a predominância de políticas *demand-led* auxiliadas pela sua articulação com os mecanismos de incentivo à indústria. A sustentabilidade da demanda para o mercado local no caso chinês, ou a incerteza quanto a ela nos EUA por conta da suspensão dos incentivos fiscais em determinados anos, pode ser um dos elementos que explique os diferentes resultados obtidos por ambos os países em sua cadeia produtiva. A China teve êxito em capacitar um número relevante de fabricantes de aerogeradores, enquanto nos EUA, mesmo sendo o segundo mercado global de geração eólica, apenas a GE está entre os maiores fabricantes do mundo.

O investimento recente em expansão de capacidade produtiva na China, que corresponde por 70% dos investimentos realizados nos últimos 5 anos nessa indústria (IRENA, 2024), e a demora na retomada dos investimentos na indústria nos EUA, mesmo após o lançamento do *IRA*, sugerem que, em linha com a discussão apresentada neste capítulo, a existência de uma visão de longo prazo capaz de alinhar o desenvolvimento do setor de energia ao fortalecimento de sua base produtiva, aliada a objetivos de soberania tecnológica, à continuidade das políticas industriais e à previsibilidade dos incentivos, são fatores relevantes para o desenvolvimento industrial e a promoção da inovação.

A Tabela 5 apresenta um resumo com os principais instrumentos de política industrial identificados na pesquisa e que foram utilizados por EUA e China para o desenvolvimento de suas indústrias eólicas.

Tabela 5 – Mecanismos de incentivo à indústria eólica

Políticas para a cadeia produtiva e inovação	Políticas de formação de mercado
Requisitos de conteúdo local. Financiamento público à expansão de capacidade fabril. Créditos tributários e incentivos fiscais. Encomendas tecnológicas. Programas de certificação e testes. <i>Grants</i> e créditos equalizados. Políticas comerciais, barreiras técnicas e tarifárias. Parcerias estratégicas, transferência e licenciamento de tecnologias.	Investimento público em geração de energia. Metas de participação em energia eólica. Garantia de compra de energia gerada. Financiamento público e incentivos à geração de energia. Créditos tributários e incentivos fiscais. <i>Feed-in tariffs</i> ⁶⁸ e <i>net metering</i> . Incentivos à compra voluntária de energia.

Fonte: elaboração própria

O próximo capítulo abordará as políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil.

⁶⁸ Mecanismo no qual se remunera a uma taxa incentivada a geração de energia despachada na rede elétrica.

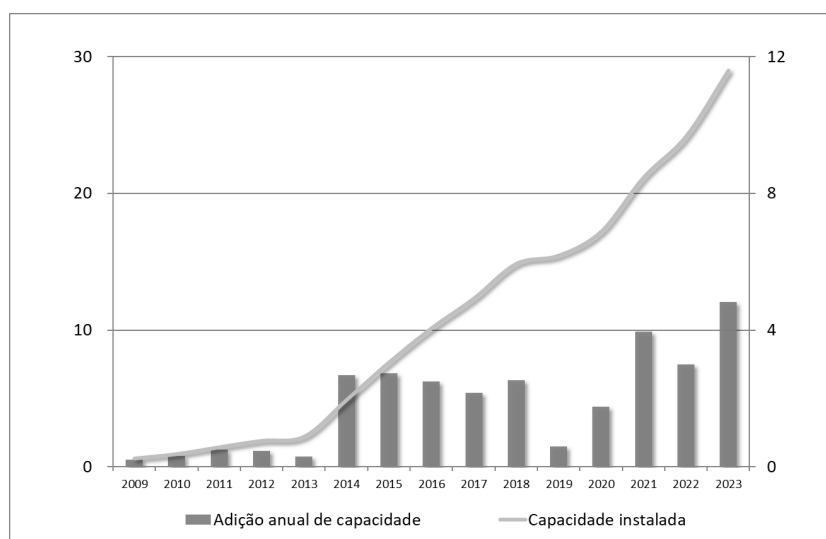
3. Políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil

O setor de energia elétrica no Brasil passou por um relevante ciclo de investimento em nova capacidade de geração de energia a partir da virada para o século XXI, após a crise de racionamento de energia de 2001. Essa expansão foi viabilizada pela atuação do Estado Brasileiro que, com o apoio e mobilização da sociedade civil, implementou medidas emergenciais de curto prazo para o enfrentamento à crise energética⁶⁹ e promoveu a reforma da estrutura institucional do setor de energia, o que resultou na fundação de um novo modelo do setor elétrico brasileiro.

Esse importante rearranjo institucional criou as condições para a expansão posterior do setor elétrico. A matriz elétrica brasileira passou de uma capacidade instalada de geração de cerca de 73GW em 2000 para 150 GW em 2016, uma expansão significativa realizada em uma década e meia que supera, por exemplo, duas vezes a capacidade instalada de geração elétrica da Argentina⁷⁰. Em 2022 a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil atingiu 206 GW.

A indústria eólica foi desenvolvida em meio a esse robusto ciclo de investimento e teve êxito em posicionar o Brasil entre os principais mercados globais de energia eólica⁷¹. Em 2022, a energia eólica tinha uma capacidade instalada de 24 GW, tornando o Brasil o 7º maior país do mundo em capacidade instalada de geração eólica⁷². Em 2023 essa capacidade atingiu 29 GW⁷³.

Gráfico 10 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e adição anual de capacidade no Brasil (GW)



Fonte: elaboração própria a partir de GWEC (2024)

⁶⁹ O governo federal estabeleceu medidas como a definição de metas de redução do consumo (racionamento), expansão da oferta por meio da construção de usinas termelétricas, revisão de contratos de concessão e campanhas de conscientização para a racionalização do consumo de energia.

⁷⁰ A capacidade instalada de geração de energia na Argentina era de 35GW em 2012 e 46GW em 2022. Fonte: DataMacro <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-generacion/argentina>, Acesso: 31/10/2024.

⁷¹ Em 2023, o Brasil foi o 3º mercado mundial com uma adição anual de capacidade de 4,8GW (GWEC, 2024).

⁷² Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024 – EPE - <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/> - Acesso em: 28/10/2024.

⁷³ Fonte: ABEEólica, <https://abeeolica.org.br/>, acesso em 20.08.2023

As “jazidas de vento” brasileiras têm enorme potencial de geração *onshore* (no território continental) e *offshore* (junto à costa brasileira). MME (2007; 2007b) estima um potencial de 300GW de capacidade de geração *onshore* no Brasil, mais que uma vez e meia a capacidade total instalada de geração de energia elétrica no país (206 GW em 2022)⁷⁴. Embora ainda não mapeado em sua totalidade, o potencial *offshore* também é significativo. Há uma carteira de projetos de geração eólica *offshore* em licenciamento no IBAMA de aproximadamente 170 GW⁷⁵.

Esses são volumes que posicionam a energia eólica, junto à energia solar, como uma das duas fontes de energia alternativas e renováveis mais promissoras para a geração de eletricidade no processo de transição energética para uma economia de baixo carbono no Brasil.

No quinquênio 2014-18 a geração eólica foi responsável, em média, por mais de um quinto da adição anual de capacidade na matriz elétrica brasileira. O Brasil passou a estar entre os dez países com maior capacidade instalada de geração eólica e entre os cinco maiores mercados nos últimos quatro anos (2020-2023).

Três regiões geográficas concentram maior potencial de geração eólica no Brasil, o litoral da região nordeste, em especial sua porção norte, o interior da Bahia e o litoral do Rio Grande do Sul. Os ventos na região nordeste são constantes, estáveis, direcionais e regulares viabilizando maior eficiência na geração. O vento “Classe Brasil” atinge um fator de capacidade médio superior a 40%, muito superior ao dos quatro maiores mercados de geração eólica do mundo (IRENA, 2016)⁷⁶.

Além disso, a geração eólica possui perfil complementar ao da geração solar e hídrica em algumas regiões do país. Na Região Nordeste, os melhores ventos ocorrem no final da tarde e à noite, fora do período de maior insolação, e estão distribuídos entre julho e novembro, período de menor intensidade pluviométrica. Essas são características que permitem uma melhor eficiência no uso dos recursos energéticos, inclusive em regiões de maior escassez na geração hidrelétrica.

Todas essas potencialidades beneficiaram a adoção da energia eólica no país, que foi realizada com o apoio de uma política robusta. Essa política articulou, por meio de diferentes organizações públicas, diversos mecanismos de incentivo, viabilizando a expansão da capacidade de geração e da cadeia produtiva de aerogeradores. A Tabela 6 apresenta os principais mecanismos utilizados no Brasil.

⁷⁴ Fonte: EPE em 20.08.2023.

⁷⁵ Fonte: Painel de Dados sobre Eólicas *Offshore* da Empresa de Planejamento Energético (EPE): <https://gisepeprd2.epe.gov.br/arcgisportal/apps/webappviewer/index.html?id=61f75ef2930540ee962c26d3acfe41e1>, acessado em 16.08.2023.

⁷⁶ EUA ≈ 35%; Alemanha ≈ 25%; China ≈ 24% e Índia ≈ 19%.

Tabela 6 – Políticas de incentivo à indústria eólica no Brasil

Políticas para a cadeia produtiva e inovação	Políticas de formação do mercado de energia
Exigência de conteúdo local no financiamento público. (BNDES)	Planejamento Energético. (PDE - EPE)
Financiamento à inovação e à cadeia produtiva. (BNDES e FINEP)	Contratação de energia incentivada. (PROINFA)
Fundos setoriais e subvenção para inovação. (FINEP).	Leilões e Mercado Livre de energia. (ACR e ACL)
Cláusulas regulatórias de apoio à inovação. (P&D Aneel).	Financiamento público à geração de energia. (FAT/BNDES; FNE/BNB)
Participação acionária via bancos públicos (BNDES)	

Fonte: elaboração própria.

Uma alternativa para compreender o desenvolvimento da indústria eólica no Brasil consiste em analisar como esses mecanismos foram articulados no processo de formação do mercado de geração eólica e sustentaram o investimento na cadeia produtiva.

O presente capítulo adota essa abordagem e analisa, na primeira seção, a formação do mercado de energia eólica por meio, primeiramente, do Proinfa, e posteriormente, dos leilões de energia e a expansão do mercado livre de energia; na segunda seção, o financiamento público aos parques de geração eólica associado às contrapartidas de conteúdo local no BNDES, que foi capaz de direcionar a demanda por aerogeradores para a indústria local; na terceira seção, as políticas de promoção à inovação e apoio ao investimento na cadeia produtiva, que fomentaram novas capacidades produtivas locais para o atendimento da demanda por aerogeradores. A última seção conclusiva apresenta a linha do tempo das políticas e considerações adicionais às seções anteriores.

3.1. Políticas de formação do mercado de geração eólica

As principais políticas responsáveis pela formação do mercado de geração eólica foram três: o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), os leilões de energia e a contratação de energia eólica no mercado livre.

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa

A crise energética de 2001 abriu o espaço político para o incentivo à novas fontes de energia visando diversificar a matriz elétrica e garantir a segurança energética. Nesse contexto, o Brasil organiza o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa, instituído pela Lei nº 10.438/2002, que tinha como finalidade aumentar a participação da energia elétrica produzida

com base em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)⁷⁷ e biomassa no Sistema Interligado Nacional (SIN).

O Proinfa foi a primeira política pública a ter sucesso em viabilizar projetos de geração de energia eólica no país⁷⁸. A coordenação do Programa esteve a cargo do Ministério de Minas e Energia (MME), a quem competia a definição das diretrizes, a elaboração do planejamento, a fixação do valor econômico de cada fonte e o monitoramento do programa, enquanto a sua execução ficava a cargo da Eletrobras, responsável pela compra da energia.

Tarifas incentivadas mais elevadas foram definidas para cada uma das fontes como forma de viabilizar os projetos de geração⁷⁹. Tal mecanismo era essencial para incentivar novos projetos de fontes de energia que possuíam, potencialmente, maiores custos associados.

O programa estabeleceu a previsão de contratação de capacidade instalada de geração de energia de até 3,3 GW distribuídas pelas 3 fontes, eólica, PCHs e biomassa. Os projetos eram recebidos por chamamento público e contratados via Eletrobras.

Os contratos foram firmados para o fornecimento de energia por até 20 anos após a entrada em operação. Os custos incorridos pela Eletrobras na contratação da energia a preços mais elevados dessas fontes seriam rateados pelas diferentes classes de consumo, à exceção da baixa renda. A data limite para a entrada em operação dos projetos era, inicialmente, dezembro de 2006 e foi prorrogada, mais de uma vez, até dezembro de 2011.

Segundo Dutra e Szklo (2018, *apud* Oliveira, 2019), o Proinfa seria um mecanismo híbrido combinando a lógica de *feed-in tariff*, por estabelecer um preço pré-definido para a compra da energia, a um sistema de cotas para as diferentes fontes.

O programa teve maior êxito nas fontes hídrica (PCHs) e eólica, tendo essa sido a de maior interesse por parte dos investidores gerando uma carteira de projetos de 1,4 GW⁸⁰. Representa, assim, uma mudança de paradigma na contratação de energia renovável alternativa no Brasil. Criava a demanda por projetos de geração em contratos de longo prazo, diferenciava a tarifa de contratação de forma a viabilizar economicamente estes projetos e dava visibilidade ao processo ao realizar a seleção via chamamento público.

⁷⁷ Usinas de geração de energia hidrelétrica com capacidade instalada entre 5 MW e 30 MW e reservatório de até 13 km².

⁷⁸ Uma experiência anterior foi o Proeólica que não teve contratação de geração eólica por ter determinado um preço de compra da energia em um nível muito baixo (Wachsman e Tolmasquim, 2003 *apud* Oliveira, 2019) e pelo curto espaço de tempo dado para a habilitação dos projetos (Dutra, 2007 *apud* Oliveira, 2019).

⁷⁹ A tarifa estipulada se situava entre 180 e 204 R\$/MWh.

⁸⁰ A geração a partir da biomassa não atingiu 1,1 GW e abriu espaço para a eólica que contratou 1,4 GW.

Tabela 7 – Resultados do Proinfa

	Chamada Pública (MW)	Contratação Efetiva (MW)	Nº de Projetos
Eólica	1.100	1.422,24	54
PCH	1.100	1.191,92	63
Biomassa	1.100	685,24	27
Total	3.300	3.299,40	144

Fonte: Oliveira (2019)

Os projetos eólicos foram contratados em 8 estados e em 3 regiões (NE, SE e SUL).

Tabela 8 – Resultados do Proinfa por estado e para a fonte eólica

	Contratação Efetiva (MW)	Nº de Projetos
Nordeste	805,6	36
Sudeste	163,1	2
Sul	454,3	16
Total	1423,0	54

Fonte: Oliveira (2019)

O primeiro parque de geração eólica entrou em operação em 2006 e dos 54 projetos contratados, apenas 2 não estão operacionais por terem seus contratos rescindidos pela Eletrobras (Oliveira, 2019). De modo geral, o Proinfa pode ser considerado um programa que teve êxito. No que tange a fonte eólica teve um importante efeito de demonstração da sua viabilidade técnica e financeira. Foi capaz de atrair os investidores de energia a despeito dos riscos existentes na instalação e operação de uma fonte de energia ainda desconhecida no país.

O Novo Modelo do Setor Elétrico e os leilões de energia

Em paralelo ao processo de formulação e implementação do Proinfa, foi empreendido um relevante esforço para a criação de um novo marco regulatório do setor elétrico com vistas a recuperar as funções de planejamento do Estado e sua capacidade de formular e executar a política de energia no país (Tolmasquim, 2011).

Tal iniciativa foi tratada como prioridade pelo governo federal em um contexto de crise energética recente. Logo após a mudança de governo, no início de 2003, cria-se Grupo de Trabalho (Portaria MME nº 40/2003) responsável por elaborar a “Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico”, que é apresentada em julho e aprovada em dezembro de 2003 por meio da Resolução CNPE nº 09/03.

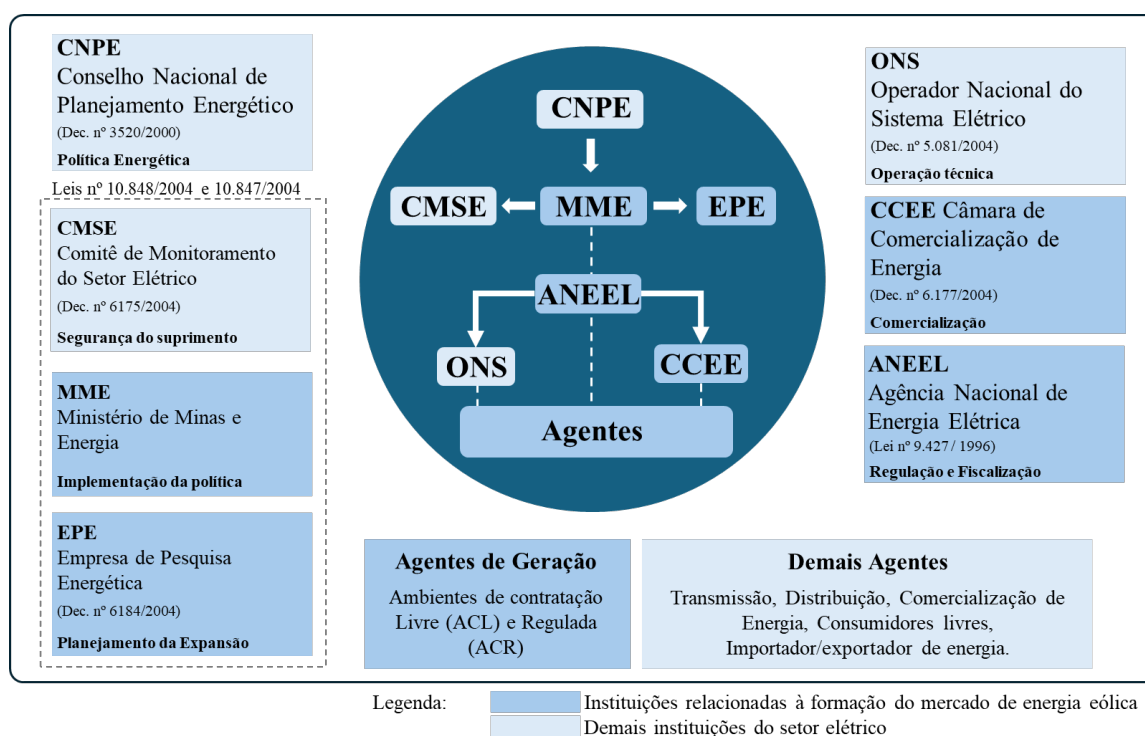
Na mesma data de aprovação dessa proposta são editadas duas medidas provisórias. A primeira (MP nº 145/2003) abordava o modelo de comercialização de energia e a segunda (MP nº 145/2003) autorizava a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). As medidas provisórias foram

posteriormente convertidas nas Leis 10.848/2004 e 10.847/2004 que foram regulamentadas por meio de Decretos⁸¹.

Segundo Tolmasquim (2011), o Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro representou um importante aperfeiçoamento do marco regulatório do setor elétrico, destacando-se:

1. Modificações na comercialização de energia no Sistema Integrado Nacional, com a criação do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), para a contratação de energia pelas distribuidoras de energia, e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), para a contratação de energia na forma direta pelos consumidores livres e especiais⁸²;
2. Modificações institucionais com a reorganização de competências das instituições do setor elétrico e a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE);
3. Retomada do planejamento setorial a partir da contratação regulada de energia por meio de leilões e com a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE);
4. Retomada dos programas de universalização; e
5. Segurança jurídica e regulatória, premissa para atrair investimentos, reduzir riscos e expandir o mercado.

Figura 8 – Sistema Elétrico Brasileiro



Fonte: elaboração própria

⁸¹ A exemplo dos Decretos nº 5.163/2004 (regulamenta a comercialização de energia), nº 5.184/2004 (cria a EPE) e nº 5.195/2004 (institui o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico).

⁸² Consumidores Livres são aqueles com demanda contratada igual ou superior a 2 megawatts (MW). Especiais são aqueles com demanda entre 500 kilowatts (kW) e 2 MW.

Na Figura 8 estão destacadas as instituições que possuem relação direta com a formação do mercado de energia eólica objeto da presente análise. De forma resumida essas instituições possuem os seguintes papéis no processo de expansão do setor elétrico e execução dos leilões de energia:

- **MME - Ministério de Minas e Energia:** órgão formulador e coordenador da Política Energética Nacional.
 - Define as diretrizes para o setor energético brasileiro, considerando metas de crescimento, segurança no fornecimento, diversificação da matriz energética e sustentabilidade ambiental.
 - Coordena a elaboração de planos como o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia (PNE) elaborados pela EPE.
 - Define as regras e modalidades dos leilões, incluindo a periodicidade, o volume de energia a ser contratado, o tipo de contrato (se de energia nova ou existente, por exemplo) e participa da decisão sobre as fontes a serem incluídas nos leilões (hidrelétrica, solar, eólica, biomassa etc.), priorizando aquelas que atendam às metas estratégicas e ambientais do país.
 - Supervisiona a implementação dos projetos contratados, monitorando seu andamento e o cumprimento dos cronogramas estabelecidos nos contratos.
 - Articula as atividades de outras instituições como a Aneel (que regula o setor elétrico), a EPE (que realiza os estudos técnicos e de viabilidade) e a CCEE (que organiza a comercialização de energia).
- **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica:** agência reguladora e de fiscalização do setor elétrico.
 - Como órgão regulador, tem como função definir as regras para os leilões, assegurar que os contratos sejam cumpridos e supervisionar o comportamento dos agentes envolvidos.
 - Habilitação dos Agentes: antes de cada leilão, avalia a habilitação jurídica, financeira e regulatória dos participantes.
 - Definição de Tarifas e Condições Contratuais: estabelece as condições contratuais para os contratos de comercialização no ambiente regulado (ACR) firmados nos leilões.
 - Supervisão e Aplicação de Penalidades: fiscaliza a execução dos contratos e pode aplicar penalidades se houver descumprimentos, como atrasos na construção dos projetos de geração de energia.

- **EPE - Empresa de Pesquisa Energética:** vinculada ao MME desempenha funções de planejamento de longo prazo para o desenvolvimento do setor energético brasileiro.
 - Elabora estudos e planos para o setor energético, incluindo o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia (PNE).
 - Responsável pela habilitação técnica e estudos de viabilidade dos projetos que participam dos leilões de energia organizados pela Aneel.
 - Realiza levantamentos e estudos sobre o potencial das diversas fontes de energia renováveis.
 - Publica regularmente dados, relatórios e estudos sobre o setor energético brasileiro, fornecendo informações essenciais para investidores, reguladores e para a sociedade.
- **CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica):**
 - Organiza e operacionaliza os leilões.
 - Administra os contratos e cuida dos fluxos financeiros entre geradores, distribuidores e consumidores.
 - Responsável pela coleta, processamento e divulgação de dados do mercado de energia, como preços e volumes negociados.
 - Em caso de disputas ou descumprimento de obrigações financeiras entre os agentes, a CCEE desempenha o papel de mediadora.

A partir desse novo marco regulatório, essas instituições do Sistema Elétrico Brasileiro iniciam o processo de execução dos leilões de energia já em 2005. Importante destacar que são leilões “reversos” onde são definidos volumes de contratação de energia e “preços-teto” que determinam o limite das tarifas. As propostas vencedoras são aquelas que oferecem os menores preços de energia⁸³.

Estabelecem-se, a partir disso, contratos de longo prazo (*PPAs – power purchase agreements*)⁸⁴ com as tarifas determinadas nos leilões e reajustadas pela inflação. Essa é uma estrutura de contratos que assegura a contratação da energia gerada por um longo período e mitiga o risco associado à elevação dos preços na economia. Uma estruturação de contratos que se demonstrou capaz de viabilizar os investimentos em geração.

⁸³ Há diferentes modalidades de leilão: Leilões de Energia Nova (LEN) para a expansão do parque de geração; (Leilões de Energia Existente (LEE) com foco no curto prazo; Leilões de Energia de Reserva (LER) para reforçar a garantia de suprimento de energia; e o Leilão de Fontes Alternativas (LFA) destinado exclusivamente à contratação dessas fontes.

⁸⁴ Esses contratos possuem prazos entre 15 e 30 anos e garantem determinado nível de demanda por energia a preços definidos.

Foram realizados 14 leilões de energia entre 2005 e 2009 sem resultar em contratos de geração da fonte eólica por conta de seus preços mais elevados, incapazes de competir com as demais fontes de energia, em especial a hidráulica. Mesmo o Leilão de Fontes Alternativas (LFA) de 2007 contratou apenas geração de PCHs e biomassa.

Em 2008, ocorre uma preocupação crescente no país com a possibilidade de falta de energia, principalmente devido ao regime de chuvas abaixo do usual e a atrasos na construção de usinas e limitações no fornecimento de gás natural, que era fundamental para o funcionamento das usinas termelétricas⁸⁵.

Diante disso, o governo federal acelera a organização de leilões de energia e estrutura o 2º Leilão de Energia de Reserva (LER), em 2009, exclusivamente para a fonte eólica. Este foi o primeiro leilão em que a fonte eólica teve projetos contratados. Até então, os projetos de geração eólica participaram dos leilões, mas sem sucesso nas disputas por conta de seus preços mais elevados.

O leilão tem grande sucesso e contrata 1,8GW de capacidade de geração a um preço de energia próximo ao das térmicas naquele momento⁸⁶. Essa é uma escala significativa de energia que implica uma demanda por cerca de 900 aerogeradores⁸⁷.

Inaugura-se, assim, um período de leilões sucessivos onde a energia eólica apresenta excelentes resultados. Em 2012 a energia eólica atinge o menor preço de geração entre as fontes renováveis. A competitividade de preço da energia eólica permite a sua participação nos leilões não exclusivos a essa fonte de energia, concorrendo com as demais fontes nos leilões de energia nova (LEN). Entre 2009 e 2014, foram realizados 13 leilões que resultaram em uma contratação de 13,5GW de nova capacidade instalada de geração eólica.

No biênio 2011-12, o Brasil adiciona patamares superiores a 1GW/ano de energia eólica em sua matriz elétrica, e no biênio seguinte 2013-14, supera 2GW/ano. A geração eólica se expandia e esse ritmo de expansão era crescente e ocorria com certa previsibilidade nesses sucessivos anos. Esse processo ocorreu com a redução dos preços da geração eólica.

A crise econômica e política do biênio 2015-16 e a consequente queda na atividade econômica desse período interrompem esse processo. Observa-se um recuo na contratação de energia eólica em 2015. No ano de 2016 a energia eólica não é contratada por meio de leilão. O único leilão que chegou a ser anunciado, foi cancelado neste ano.

⁸⁵ <https://www.camara.leg.br/noticias/111515-especialista-alerta-para-risco-de-falta-de-energia-em-2008/>

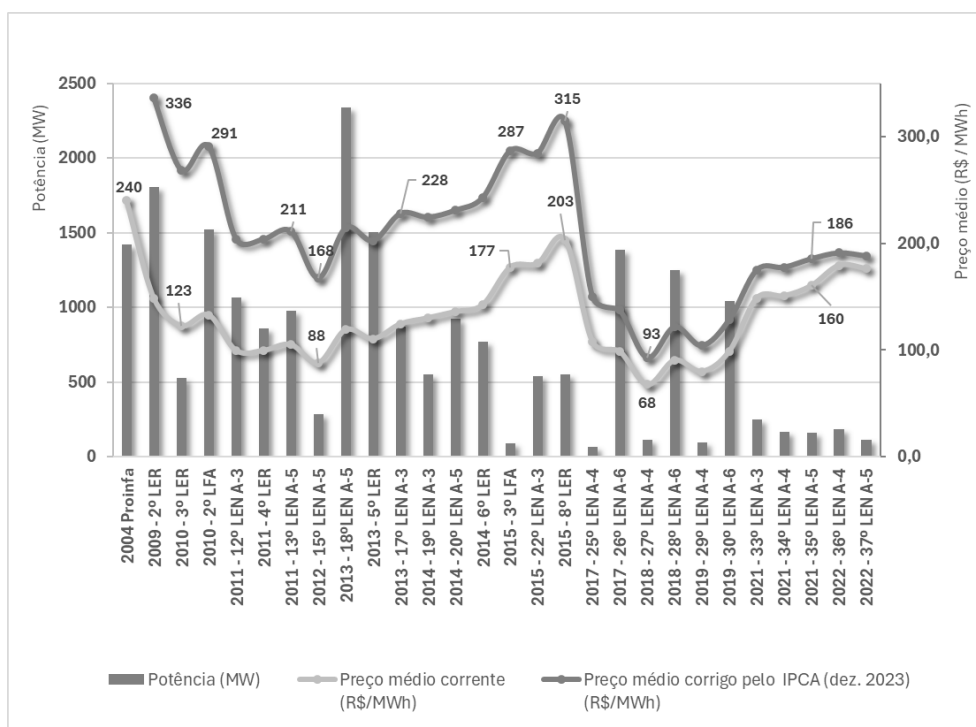
⁸⁶ Preço médio de energia alcançou R\$ 148,39/MWh (preços correntes) e um deságio de 21,5%.

⁸⁷ Considerando a potência nominal média de 2 MW dos aerogeradores naquele momento – Fonte: EPE (2018).

Nos anos de 2017, 2018 e 2019 novos leilões são realizados e a energia eólica é contratada com uma demanda anual superior a 1GW, porém com um prazo mais longo para a entrada em operação dos empreendimentos. Esses eram leilões A-6, isto é, previam entrega de energia em 6 anos. Considerando que um parque eólico tem um período de instalação inferior a 2 anos, a demanda gerada por aerogeradores nos leilões realizados nesses 3 anos foi diluída no tempo. Na prática, esses leilões com prazos mais estendidos significavam uma queda nas encomendas de aerogeradores.

Após um período em que os preços da energia eólica sobem entre 2013 e 2016, a queda abrupta na demanda de 2017 e 2018, leva a uma queda relevante nos preços da energia eólica contratada nos leilões realizados nesses anos. Isso ocorre, em parte, por conta de um movimento defensivo dos fabricantes de aerogeradores. Em meio a uma menor demanda, os fabricantes de aerogeradores que realizaram investimentos expressivos nos anos anteriores, ofertam preços mais baixos para os investidores de energia com o objetivo de absorver a baixa demanda existente e manter suas plantas produtivas ocupadas, diluindo os elevados custos fixos de suas unidades industriais.

Gráfico 11 – Capacidade instalada de geração de energia eólica e preço de contratação no Proinfa e nos leilões



Fonte: elaboração própria a partir de informações da Aneel⁸⁸

Em 2020 não ocorre contratação de geração eólica por meio de leilões e, desde então, a energia eólica contrata níveis muito baixos por meio desse mecanismo. Em 2021 e 2022 são realizados 4 leilões de energia, porém com uma contratação anual próxima a 300MW, um nível bem inferior ao apresentado até então.

⁸⁸ <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/leiloes>, acesso em 15/11/2024.

No total os leilões viabilizaram um volume de contratação de 20GW entre 2009 e 2022, sendo 15GW até 2015, uma demanda expressiva por aerogeradores⁸⁹. Na segunda metade da década passada, a demanda por aerogeradores desloca-se do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e dos leilões de energia para o Ambiente de Contratação Livre (ACL), como será abordado a seguir.

Expansão eólica por meio do mercado livre

O Ambiente de Contratação Livre (ACL) ganhou relevância para a contratação de energia eólica nos últimos anos. Na análise das políticas industriais é importante compreender como se deu esse processo e suas implicações para o volume e perfil dessa demanda por aerogeradores.

No ACL, também conhecido como mercado livre de energia, os consumidores de maior porte têm a liberdade de negociar diretamente contratos de compra de energia com geradores ou comercializadores, o que significa maior flexibilidade para escolher o fornecedor de energia, definir as condições do contrato (preço, prazos e volume de energia) e selecionar a fonte da energia.

Em geral, a procura por esse mercado se deve aos preços de energia inferiores aos oferecidos pelas distribuidoras de energia. A energia ofertada no mercado livre não é onerada por alguns dos encargos e tributos que incidem sobre a energia contratada no ambiente regulado e comercializada pelas distribuidoras⁹⁰. Além disso, no caso de energias incentivadas, como a energia eólica, há a possibilidade de descontos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).

Podem participar do mercado livre os consumidores livres, aqueles que possuem uma demanda contratada de pelo menos 2MW, os consumidores especiais, com demanda contratada entre 500KW e 2MW junto a fontes alternativas, e os autoprodutores e produtores independentes de energia⁹¹.

Historicamente, embora o ACL tenha sido um mecanismo importante do mercado de energia brasileiro⁹², a fonte eólica não costumava ser comercializada com volumes relevantes e em anos sucessivos nesse ambiente. Em um período de demanda aquecida por meio dos leilões, as condições encontradas no mercado livre não foram atrativas para os investidores em geração eólica. Isto porque os contratos no mercado livre possuem prazos mais curtos e exigem que o fornecimento de energia

⁸⁹ A título de ilustração, se considerada uma potência nominal média de 2,5MW dos aerogeradores (EPE, 2020) durante o período de maior demanda dos leilões entre 2009-15, a demanda gerada de 15GW consistiria na aquisição de 6.000 aerogeradores (mais de 850/ano).

⁹⁰ Exemplos de encargos: Encargos de serviço do sistema (ESS), encargo de energia de reserva (EER), conta de desenvolvimento energético (CDE); Tributos: PIS/COFINS incide apenas sobre o serviço de transmissão.

⁹¹ Decreto nº 2003/1996: Autoprodutor de Energia Elétrica, a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo. Produtor Independente de Energia Elétrica é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

⁹² Representava 38,5% do consumo de energia em setembro de 2024 e uma participação inferior, porém relevante em anos anteriores - Fonte: CCEE <https://www.ccee.org.br/mercado-livre-acl>, acessado em 29/10/2024

acompanhe a curva de carga do comprador, o que eleva o risco para uma fonte variável como a eólica (Oliveira, 2019).

Esse cenário vem se alterando nos últimos anos por uma série de fatores. Em primeiro lugar, há um crescimento do interesse pela fonte eólica por parte dos consumidores habilitados a participar do mercado livre, por conta dos preços dessa fonte de energia que se tornaram competitivos com o tempo. A queda da demanda nos leilões, muito atrelada à baixa demanda agregada por energia decorrente do menor crescimento da economia, impacta também nos fabricantes de aerogeradores, que passam a direcionar seus esforços de venda para o mercado livre se aproximando dos clientes desse ambiente de contratação (*ibid*).

Esses foram elementos importantes, mas que até 2018 não foram suficientes para alavancar a contratação da fonte eólica no mercado livre. Nesse ano, o BNDES fez uma alteração na sua metodologia de financiamento aos parques eólicos que destravou esse processo. A alteração implementada pelo BNDES será abordada na próxima seção que analisa as políticas de financiamento a geração de energia. A partir de então o mercado livre ganha rapidamente escala de contratação de projetos de geração de energia eólica.

Muitos geradores de energia adotavam uma estratégia que combinava a comercialização de uma parte menor da energia gerada junto aos leilões, que contrataram nesse período um volume pouco expressivo, deixando o restante da capacidade de geração para a venda no mercado livre (*ibid*). Com isso buscavam maiores retornos aos projetos de geração.

Os contratos firmados desde 2019 em novos projetos de geração eólica, tanto por meio dos leilões, quanto, principalmente, no mercado livre, levaram o Brasil a adicionar um nível de capacidade instalada de geração de energia eólica próxima a 4GW/ano nos últimos dois anos - um patamar não atingido anteriormente na trajetória de desenvolvimento dessa fonte. A demanda por aerogeradores se manteve, portanto, aquecida nesse período.

No presente, 2024, há uma reversão importante desse processo pela maior competitividade da fonte solar. Os preços da energia solar fotovoltaica e da geração eólica são concorrentes entre si junto aos investidores em geração. Como os custos dos painéis fotovoltaicos vêm caindo continuamente⁹³, os investimentos em geração de energia fotovoltaica têm permitido um retorno superior aos projetos de eólica. Essa diferença vem aumentando com a contínua queda dos custos desses equipamentos. Sendo assim, a demanda do mercado livre por geração eólica vem se deslocando para a fonte solar.

⁹³ Os preços dos painéis solares caíram cerca de 20% sempre que a capacidade global duplicou. <https://ourworldindata.org/data-insights/solar-panel-prices-have-fallen-by-around-20-every-time-global-capacity-doubled>

No atual momento, o volume de contratação de geração eólica no mercado livre é muito baixo. Isso, aliado ao volume de contratação também baixo por meio dos leilões, leva a uma queda abrupta na demanda por aerogeradores.

A próxima seção irá analisar as políticas de financiamento que tiveram o êxito de direcionar a demanda por aerogeradores decorrente do crescimento do mercado de geração eólica descrito nesta seção para os fabricantes instalados no país.

3.2. Políticas de financiamento ao investimento em geração eólica

O financiamento público foi essencial para viabilizar o investimento nos parques de geração eólica no Brasil. Os bancos públicos que prestaram apoio aos projetos de geração eólica foram o BNDES e o BNB⁹⁴, sendo que o BNDES operou uma escala muito superior de recursos e foi o principal agente financiador do desenvolvimento da energia eólica no país durante as duas décadas da política.

Mesmo no período após 2016, caracterizado por uma maior importância do mercado livre na definição da demanda por geração de energia eólica e por maiores volumes de financiamento ao investimento em parques eólicos por meio do BNB e de debêntures incentivadas, o BNDES continuou sendo o principal agente financiador dos projetos de geração eólica no país⁹⁵.

Nesta seção serão analisados o padrão de captação e financiamento do BNDES, e como este se relaciona com o apoio aos parques de geração eólica, bem como, com a política de conteúdo local de aerogeradores associada aos financiamentos dessa instituição.

Padrão de captação e financiamento do BNDES e o apoio à geração eólica

Um primeiro aspecto a ser abordado na avaliação das políticas de financiamento é a disponibilidade de fontes de recursos que tenham as características adequadas aos projetos de infraestrutura de energia, que possuem longos prazos de maturação.

Financiamentos de longo prazo implicam riscos relevantes na concessão de crédito. Para as instituições financeiras (IFs), o acesso a fontes de recursos que atendam às necessidades dos projetos é fundamental para que possam oferecer linhas de financiamento capazes de viabilizar esses empreendimentos economicamente, ao mesmo tempo em que ajudam a mitigar os riscos associados

⁹⁴ Banco do Brasil (BB) e Caixa Econômica Federal (CEF) foram também agentes repassadores dos recursos do BNDES.

⁹⁵ Vieira e Paula (2024) demonstram como o BNDES financiou mais da metade dos investimentos em geração de energia eólica no período 2016-2023. O BNB teve um papel relevante nesse período, financiando cerca de R\$ 26 bilhões entre 2017 e 2023 (36% do investimento total), valor superior ao financiamento por meio das debêntures incentivadas, que viabilizou a captação de cerca de R\$ 10 bilhões por parte dos investidores em geração de energia eólica nesse mesmo período. Em conjunto, BNDES e BNB foram responsáveis por 87% do volume do total de financiamentos no período 2016-2023 (Vieira e Paula, 2024).

à concessão de crédito. O padrão de captação e financiamento das instituições financeiras públicas é um dos aspectos centrais das políticas de financiamento.

No caso do BNDES, desde a década de 80, suas principais fontes de financiamento têm sido os recursos do PIS/PASEP-FAT (Fundo de Amparo ao Trabalhador)⁹⁶, os retornos dos empréstimos concedidos, investimentos em capital e empréstimos de instituições multilaterais. Dentre essas o FAT é a fonte majoritária de recursos. Em 2023, o BNDES possuía em seu balanço patrimonial aproximadamente R\$ 390 bilhões em dívidas subordinadas referente às captações anuais acumuladas junto ao FAT ao longo do tempo⁹⁷.

O padrão de financiamento FAT-BNDES tem uma característica particular porque os recursos do FAT são aportados no BNDES como empréstimos que o banco público não tem a obrigação de amortizar o principal⁹⁸, pagando anualmente apenas o serviço da dívida sobre o volume total de recursos captados. Isso cria um padrão de financiamento que alavancou a capacidade de concessão de crédito do BNDES ao longo do tempo até os níveis atuais⁹⁹.

Em adição aos recursos do FAT, o Tesouro Nacional forneceu empréstimos de longo prazo e baixo custo para o BNDES, entre 2009 e 2014, totalizando R\$ 440 bilhões em preços correntes. Esses aportes realizados pelo Tesouro Nacional tiveram, inicialmente, o objetivo de sustentar a atuação contracíclica do BNDES após a crise financeira de 2008.

Do ponto de vista da concessão de crédito para os projetos de infraestrutura, a robustez desse padrão de captação e financiamento baseada no FAT e, posteriormente, complementado com os recursos do Tesouro Nacional, tem 3 impactos diretos positivos na política de financiamento dos parques de geração eólica.

O primeiro é que permitiu ao BNDES atuar de uma forma ampla no financiamento ao investimento na economia brasileira constituindo uma carteira abrangente de projetos financiados em diversos setores. Tal aspecto é importante para a mitigação dos riscos setoriais presentes no financiamento a determinada atividade que passe por um ciclo de investimento significativo como o ocorrido no setor de energia no Brasil entre 2005 e 2016.

⁹⁶ O BNDES inicia captação de recursos do Programa de Integração Social (PIS) e do Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) em 1974 e o FAT é instituído em 1990 (Lei nº 7.998/1990). O FAT tem como principal fonte de recursos as contribuições do PIS/PASEP - tributos pagos pelas empresas e destinados ao financiamento de programas sociais que são recolhidos sobre o faturamento das empresas e outras receitas.

⁹⁷ <https://ri.bndes.gov.br/informacoes-financeiras/central-de-resultados/bndes/> Acessado em: 29/10/2024.

⁹⁸ O BNDES pode amortizar esses recursos mediante solicitação do Conselho Deliberativo do Fundo de Amparo ao Trabalhador (CODEFAT). O CODEFAT foi criado pela Lei nº 7.998/1990.

⁹⁹ Considerando um prazo médio de financiamento de 7 a 8 anos, os recursos do FAT permitiriam ao BNDES financiar, anualmente, uma carteira de crédito de aproximadamente R\$ 60 bilhões/ano aplicados em novos projetos de investimento.

Nesse sentido, é importante ressaltar que o BNDES, como instituição financeira inserida no Sistema Financeiro Nacional, precisa respeitar normas prudenciais de risco de crédito, mantendo determinados níveis de concentração de risco setorial¹⁰⁰. Do ponto de vista das políticas de financiamento, é importante compreender que essa institucionalidade pode limitar o raio de atuação das IFs. Ciclos de investimento relevantes demandam recursos e financiamentos em dimensões também relevantes. A diversificação da carteira de crédito do BNDES contribuiu para a mitigação do risco setorial decorrente do apoio ao ciclo de investimento em infraestrutura de energia e permitiu que a instituição financiasse o ciclo de investimento em energia em curso no país.

No caso da expansão da geração eólica, essa discussão ganha um contorno adicional, afinal, por ser uma atividade nascente para a qual não era possível dimensionar os riscos envolvidos com base em experiências de financiamento prévias, a gestão de riscos tornava-se mais complexa. A robustez do padrão de financiamento do BNDES e a diversificação de sua carteira de crédito viabilizaram o apoio com escala a uma indústria eólica nascente.

O segundo é que o padrão de financiamento FAT-BNDES, ao possibilitar que os recursos do FAT permaneçam no BNDES por um longo período, sem uma definição prévia do momento de amortização do principal, permite que o banco alongue significativamente os prazos de suas linhas de financiamento. Isso é importante para viabilizar projetos de infraestrutura que possuem maiores prazos de maturação.

Esses são projetos financiados na modalidade *project finance*, que se baseia nos fluxos de caixa futuros que o projeto irá gerar, em vez de depender, exclusivamente, do balanço da empresa tomadora do crédito. Isso significa que o projeto em si é a garantia para o empréstimo, e os ativos do projeto são isolados das demais operações do tomador do crédito pela constituição de sociedades de propósito específico (SPE)¹⁰¹. No financiamento aos projetos de energia, os fluxos de receitas são determinados pelos contratos de compra e venda de energia (PPAs), que, no caso da geração eólica, possuem prazos de até 20 anos. Essas são características que permitem que o BNDES seja o principal financiador do investimento de longo prazo para os projetos de infraestrutura de energia no país.

O terceiro é o diferencial das condições de juros concedidos pelo BNDES. O padrão de financiamento estabelecido permitiu que o BNDES concedesse crédito a taxas incentivadas e com

¹⁰⁰ O conjunto de normas prudenciais do sistema financeiro internacional é conhecido como as regras de Basileia. Em seu marco de regulação mais recente, Basileia III, foram introduzidas medidas para monitorar a concentração de risco setorial, visando evitar que os bancos fiquem excessivamente expostos a determinados setores econômicos. Isso é feito por meio de limites e requisitos de capital adicionais para exposições significativas em setores específicos.

¹⁰¹ A Sociedade de Propósito Específico (SPE) funciona como uma entidade legal criada exclusivamente para desenvolver, financiar, construir e operar um projeto específico de geração de energia. A SPE limita os riscos financeiros e jurídicos dos *stakeholders* (investidores e empresas) ao projeto específico, protegendo o restante dos ativos dos envolvidos.

diferenciais de custo expressivos frente às demais fontes disponíveis no mercado de crédito brasileiro. Em 2016, a taxa de juros média do BNDES (Taxa de Juros de Longo Prazo - TJLP) foi de 7,8% a.a., em comparação com a taxa de 11,5% a.a. de um título do Tesouro Brasileiro de 10 anos (NTN-B) e de 14% a.a. da taxa básica de juros da economia brasileira (SELIC) (Ferraz, Ramos, Plattek, 2022).

O diferencial de taxa de juros nas linhas do BNDES, além de auxiliar na tomada de decisão de investimento em geração de energia ao viabilizar projetos que não sairiam do papel sem tal incentivo, reforça o poder de barganha do banco em definir as contrapartidas ao financiamento. O BNDES exige diversas contrapartidas ao financiamento público, como a aquisição de insumos no país, o investimento em atividades de mitigação do impacto socioambiental e, no caso da aquisição de bens de capital, que eles sejam fabricados localmente.

Duas outras medidas reforçaram sobremaneira o poder de barganha do BNDES junto aos investidores de energia e o setor produtivo. Em 2009, o governo federal lança o Programa de Sustentação do Investimento (PSI). O PSI oferecia condições especiais de financiamento, com juros subsidiados e prazos de pagamento estendidos, visando principalmente o fortalecimento da indústria, a inovação tecnológica e a modernização da infraestrutura. Foi estabelecido inicialmente como uma medida de contenção dos impactos no Brasil da crise econômica global do ano anterior. Os juros subsidiados eram viabilizados por equalização do Tesouro Nacional. O PSI chegou a ter taxas entre 4,5% e 5,5% ao ano para o financiamento a bens de capital nos primeiros anos do programa. O programa foi encerrado em 2015.

Adicionalmente, o governo federal decidiu, em 2011, centralizar o apoio aos investimentos em geração eólica no BNDES¹⁰². Com isso, o BNB deixa de financiar os projetos eólicos na Região Nordeste. Os empreendimentos que estavam na carteira dessa instituição foram transferidos para o BNDES. O banco, que já era o principal agente financiador do investimento em geração de energia eólica, passa a ser a única instituição pública a liderar esse processo (Podcameni, 2014). Isso reforça sua posição na definição das políticas de financiamento e das contrapartidas exigidas na concessão de crédito junto aos investidores em energia e aos fabricantes de aerogeradores.

As condições apresentadas acima, quais sejam, fontes de recursos estáveis e em volume de recursos significativos, contando inclusive com aportes e equalizações do Tesouro Nacional, e linhas de financiamento com taxas de juros inferiores às praticadas no mercado de crédito, estiveram presentes na maior parte do ciclo de investimento em geração eólica, em especial, no período de maior adição de capacidade por meio dos leilões de energia.

¹⁰² A Portaria nº 823, de 17 de novembro de 2011, vedou a concessão de crédito do BNB para projetos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (Oliveira, 2019, p. 4).

Com o *impeachment* da Presidente Dilma em agosto de 2016, após dois anos de crise econômica e severa crise política, as políticas do governo federal ficaram mais restritivas e o processo de ajuste fiscal, já iniciado em 2015, durante o segundo governo Dilma, foi ampliado para novas áreas da economia.

No BNDES isso se refletiu em duas diretrizes de políticas de financiamento, a redução do balanço do banco por meio da antecipação de pagamentos dos empréstimos ao Tesouro Nacional e aumentos nos custos dos empréstimos com a criação, em 2017, da Taxa de Longo Prazo – TLP, em substituição à TJLP¹⁰³. A partir dessas medidas, o BNDES reduziu a concessão de financiamento a todos os setores de R\$ 88 bilhões em 2016 em desembolso de recursos para R\$ 55 bilhões em 2019¹⁰⁴.

Em meio a essa mudança de cenário, que encontrava também no contexto do investimento em energia eólica uma transição do modelo de leilões para uma maior preponderância da contratação no mercado livre, a equipe técnica do BNDES fez uma importante inovação financeira em 2019 criando o conceito de PLD de Suporte (Preço das Liquidações das Diferenças de Suporte), ou “preço suporte”, para viabilizar o apoio aos projetos de geração eólica com demanda no mercado livre.

Essa alteração de metodologia tinha relação com a característica do setor nesse momento. Com a queda da demanda dos leilões de energia a partir de 2016, tornou-se mais comum que os investidores em energia reservassem uma parcela da capacidade de geração dos projetos para ofertá-la no mercado livre, onde a referência de preços para o financiamento era dada pelo Preço das Liquidações das Diferenças - PLD. O PLD é uma *proxy* do Custo Marginal de Operação (CMO) muito utilizada no mercado de energia para remunerar a geração em excesso ou abaixo do nível esperado. Ocorre que o nível de preço do PLD era insuficiente para viabilizar o financiamento aos projetos de geração eólica com contratos no mercado livre.

O “preço suporte”, criado pelo BNDES, muda o conceito de custo marginal de operação, passando a usar como referência o risco pelo qual o banco está disposto a correr no longo prazo pela energia não contratada de um empreendimento, isto é, aquela parcela excedente ao volume de energia nos contratos firmados por meio dos leilões. Essa alteração na abordagem da concessão do financiamento leva a uma referência de preço de energia superior ao PLD, o que na análise de crédito permite uma maior alavancagem dos projetos, viabilizando o seu financiamento. A partir de então, o BNDES volta a apoiar de forma importante os projetos de geração eólica até os dias de hoje.

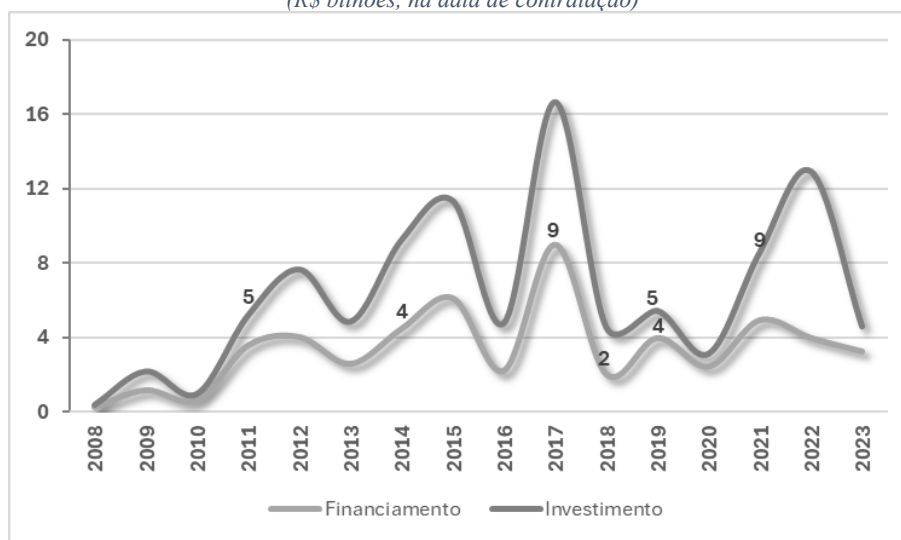
A trajetória descrita nesta seção ilustra como a política de financiamento do BNDES se alterou ao longo do tempo e como foram desenhadas as soluções para o financiamento aos parques de geração

¹⁰³ Lei nº 13.483/2017 que institui a Taxa de Longo Prazo (TLP).

¹⁰⁴ Preços correntes.

eólica em cada momento. O gráfico 12 apresenta o volume anual de contratação de novos financiamentos aos parques de geração eólica no BNDES.

Gráfico 12 – Financiamento à geração eólica pelo BNDES e investimento total nos projetos financiados (R\$ bilhões, na data de contratação)



Fonte: elaboração própria.

Percebe-se um crescimento na contratação dos financiamentos no período 2010-2015, quando o volume de contratos atinge R\$ 6 bilhões. Há uma queda em 2016 e um pico em 2017 com R\$ 9 bilhões em novas contratações. Segue-se, posteriormente, nova relevante queda e uma manutenção em patamares de contratação anual de R\$ 4 bilhões nos últimos anos. Importante ressaltar que a contratação de financiamentos no BNDES tem um atraso de 2 a 3 anos do momento da realização do leilão. O pico de contratações de 2017 tem relação com os leilões realizados no período 2013-15.

A Tabela 9 ilustra a relevância do financiamento do BNDES para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil.

Tabela 9 – Geração eólica 2005-24: capacidade instalada, investimentos e apoio do BNDES

	GW e R\$ bilhões	Observações
Capacidade instalada no Brasil	29 GW	Proinfra, leilões, mercado livre
Capacidade instalada em projetos financiados pelo BNDES	19,2 GW	BNDES financiou aproximadamente 66% dos parques eólicos entre 2005 e 2024.
Investimento total nos parques de geração financiados pelo BNDES	R\$ 104 bi	Inclui a aquisição de aerogeradores e demais investimentos (projeto do parque eólico, implantação, obra civil, serviços, etc.)
Financiamento do BNDES	R\$ 56 bi	Cerca de 54% do investimento total é financiado pelo BNDES. A maior parcela desse valor é direcionada à aquisição de aerogeradores.

Fonte: elaboração própria, com base em informações do BNDES, Abeeólica e EPE

Importante destacar que o financiamento aos parques eólicos consiste, em grande parte, no apoio à aquisição dos aerogeradores, que respondem por cerca de 70% do investimento total. Nos financiamentos concedidos pelo BNDES, esses aerogeradores devem ter determinado nível de conteúdo local e ser fabricados no país. A próxima seção abordará como a política de conteúdo local do BNDES foi capaz de direcionar a demanda por aerogeradores para a indústria local.

Contrapartidas de conteúdo local associadas ao financiamento público

A Agência Especial de Financiamento Industrial (Finame)¹⁰⁵ foi criada como uma subsidiária do BNDES em 1966, incorporando o Fundo de Financiamento para Aquisição de Máquinas e Equipamentos Industriais¹⁰⁶. Trata-se de um mecanismo de crédito à comercialização de bens de capital (*supplier credit*) de produção nacional, que é operacionalizado por intermédio de agentes financeiros públicos e privados cadastrados no BNDES. Historicamente, a Finame foi relevante para o desenvolvimento da indústria de bens de capital no país (Miguez, 2020).

A política de conteúdo local que vincula critérios de avaliação sobre a produção nacional ao financiamento à comercialização de bens de capital, criada para viabilizar a operacionalização da Finame, ainda permanece vigente. Para o financiamento pela Finame, quando o crédito é concedido por intermédio dos agentes financeiros, ou pelo BNDES, quando o crédito é concedido diretamente às empresas e projetos, os bens de capital devem estar credenciados no Cadastro de Fornecedores Informatizado (CFI).

O processo de credenciamento no CFI é que define se determinado bem de capital é considerado de produção nacional ou não. Basicamente, avalia-se se o fabricante possui planta instalada no país e se o produto que ele deseja credenciar atende a alguns critérios que buscam avaliar as atividades de produção realizadas no país e o valor agregado localmente.

Bens de capital credenciados no CFI recebem um “código CFI” e podem ser comercializados com financiamento pelas linhas da Finame ou, alternativamente, apoiados diretamente pelo BNDES nos projetos de investimento, caso em que se prescinde da intermediação de agentes financeiros. Esse é o caso dos aerogeradores, que são financiados como um dos itens apoiados do plano de investimentos dos parques de geração eólica mediante assinatura de contrato de financiamento entre o BNDES e os investidores de energia. O BNDES define um certo nível de participação do financiamento no total do investimento previsto nesses empreendimentos.

No processo de financiamento aos projetos do Proinfa, o BNDES encontrou grande dificuldade em credenciar os aerogeradores usando a metodologia vigente à época, que consistia em avaliar um

¹⁰⁵ A Finame foi instituída pelo Decreto nº 59.170.

¹⁰⁶ Decreto número 55.275, de 22 de dezembro de 1964.

determinado índice de nacionalização (IN), calculado como a relação entre o custo dos insumos adquiridos no país e o preço de venda dos equipamentos (IN em valor) e entre o peso dos insumos nacionais e o peso total do equipamento (IN em peso).

A partir dessa dificuldade nos projetos do Proinfa e, diante do anúncio de realização do 2º LER exclusivamente para a fonte eólica, realizado em 2009, o BNDES estrutura uma nova metodologia para o credenciamento dos fabricantes de aerogeradores e seus produtos, com base nas etapas produtivas realizadas no país e na aquisição local de determinados insumos e componentes, e não mais nos índices de nacionalização em peso e valor.

Essa abordagem, denominada Planos de Nacionalização Progressiva individuais (PNPi), foi implementada para cada um dos fabricantes de aerogeradores. Ela consistia na definição de regras de localização adaptadas às características específicas de cada fabricante de aerogerador, considerando seu desenvolvimento no país e o nível de estruturação de sua cadeia de fornecedores.

A lógica subjacente aos PNPi's tinha como objetivo incentivar um esforço adicional por parte dos fabricantes de aerogeradores em agregar maior valor localmente, seja internamente, em suas próprias unidades industriais, ou por meio de aquisição de insumos e componentes junto à cadeia de fornecedores. As empresas deviam avançar em relação ao que já faziam no país, tanto nos casos em que já tivessem se estabelecido no país, como para aquelas com planos futuros de implantação de unidade industrial. Os PNPi's já haviam sido usados em outros setores¹⁰⁷.

Como contrapartida ao estabelecimento dos PNPi's, que na prática significavam uma alternativa à regra de credenciamento vigente, algumas das fabricantes que tinham encomendas junto aos investidores de energia, mas ainda não possuíam fabricas implantadas no país, comprometeram-se a realizar investimentos em novas unidades industriais¹⁰⁸.

Além disso, maior agregação de valor mediante o cumprimento das etapas acordadas entre o BNDES e os fabricantes de aerogeradores implicava maior participação no financiamento aos parques de geração, o que incentivou a localização do processo produtivo.

No entanto, também foram encontradas dificuldades. Alguns fabricantes não cumpriram os acordos firmados com o BNDES e foram descredenciados. Tal medida, quando tomada, gera um impacto relevante nos projetos de geração que tinham encomendas junto a esses fabricantes e financiamentos do BNDES contratados. Em alguns casos, os PNPi's foram ajustados, junto com a

¹⁰⁷ A exemplo do programa de nacionalização progressiva no setor aeronáutico.

¹⁰⁸ 11 fabricantes de aerogeradores firmaram PNPi's com o BNDES (Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon, Führländer). À exceção da brasileira WEG, todas tinham histórico no setor eólico. Posteriormente, alguns destes foram descredenciados por não cumprirem os marcos estabelecidos.

negociação de novas contrapartidas, de forma a viabilizar os financiamentos e a agregação de valor possível naquele momento.

A sustentação do ciclo de expansão da energia eólica nos anos seguintes (2009-2012), e o aprendizado obtido com os PNPI's, motivaram o BNDES a uma inovação interna na metodologia de credenciamento. Em 2012, foi lançada a Nova Metodologia de Credenciamento de Aerogeradores (NMCA), o primeiro conjunto de regras para o credenciamento de equipamentos de um setor específico. Muda-se o foco em um fabricante de aerogerador específico dos PNPI's para o segmento como um todo. Esta foi uma mudança relevante e inédita de metodologia.

Na nova metodologia, foram definidas as etapas produtivas a serem realizadas localmente e o nível mínimo de localização para alguns dos componentes críticos do aerogerador. A localização das etapas do processo produtivo foi distribuída no tempo de forma a viabilizar o adensamento da cadeia de fornecedores e teve como base a avaliação da equipe técnica do BNDES junto a inúmeros fornecedores, fabricantes do setor eólico e de setores relacionados, bem como em contatos com associações de representação da indústria.

Para as etapas e elementos que contavam com uma base industrial já estabelecida, ficou definido um ritmo de localização mais acelerado, caso das torres e seus principais componentes. Nos componentes mais complexos que, no entanto, poderiam passar a ser fabricados localmente em períodos não muito longos, exigiu-se, primeiramente, a fabricação local com insumos importados e, posteriormente, a aquisição de insumos localmente. Este foi o caso das pás. Nos pacotes de maior complexidade e sem uma base industrial já existente, níveis inferiores de localização foram estabelecidos, que também se elevariam gradualmente com o tempo, permitindo a fabricação local de itens de maior valor-agregado e conteúdo tecnológico, como feito para alguns dos componentes do pacote de conversão eletromecânica de energia, que deveriam passar a ser montados no país.

A adesão dos fabricantes à nova metodologia se dava por meio de assinatura de um termo de responsabilidade e compromisso com o BNDES e da prestação de informações detalhadas sobre suas capacidades industriais e relações comerciais com a cadeia de fornecedores. O termo de responsabilidade firmado entre as partes compreendia, além dos compromissos de localização, as possíveis penalidades em caso de descumprimento, que iam desde a suspensão dos produtos e dos fabricantes no CFI até o desc credenciamento desses.

Importante ressaltar que essas eram penalidades relevantes, uma vez que os fabricantes de aerogeradores possuíam contratos de fornecimento com os investidores de energia. Eventual suspensão pelo BNDES implicava a não liberação de recursos aos investidores de energia para a aquisição dos aerogeradores, mesmo para os casos em que os aerogeradores já tivessem sido

entregues e instalados nos parques eólicos. Dessa forma, a suspensão e/ou descredenciamento dos fabricantes de aerogeradores poderia, no limite, levar a uma redução no valor total do financiamento dos projetos de geração eólica, o que impactaria de forma significativa os investidores em energia.

A metodologia previa um cronograma progressivo de localização que se iniciou em janeiro de 2013 e tinha previsão de ser concluído em janeiro de 2016. Entre 2013 e 2014, algumas etapas exigidas como critério de localização evidenciaram barreiras técnicas ou econômicas, de modo que foram postergadas pelo período de seis meses, dando maior tempo para adequação dos fabricantes e seus fornecedores. Novos ajustes foram realizados na metodologia em 2015.

Todos esses ajustes tiveram que ser feitos de maneira muito cuidadosa para que as flexibilizações de regras e prazos não comprometessem aqueles fabricantes que já haviam cumprido com suas etapas e compromissos. Muitas vezes, acelerar o processo de localização implicava maiores custos para os fabricantes, uma vez que investimentos e esforços tinham que ser realizados para a qualificação dos fornecedores locais, a homologação dos componentes fabricados por esses fornecedores, no treinamento de mão de obra especializada na cadeia produtiva, dentre outros. Uma eventual flexibilização da regra poderia, portanto, propiciar uma vantagem competitiva decorrente da importação de componentes justamente para aqueles fabricantes que não conseguiram cumprir seus compromissos de localização. Além disso, como já citado, os volumes de financiamento e investimentos envolvidos eram relevantes e as regras de credenciamento os impactavam diretamente. Ainda assim, a execução dos ajustes foi necessária para viabilizar o sucesso da metodologia.

A partir dos aprendizados com a metodologia de credenciamento de aerogeradores e de discussões internas relacionadas ao processo de credenciamento dos demais produtos e setores da economia, o BNDES estrutura a Nova Metodologia de Credenciamento Geral (NMCG), que é lançada em 2018. Essa nova metodologia foi lançada com regras para todos os setores da economia e não apenas para o setor eólico, que manteve as regras previstas na NMCA.

A NMCG alterou a regra geral de credenciamento que considerava o índice de nacionalização de valor e peso já citados, substituindo-os pelo Índice de Credenciamento (IC). O IC é contabilizado pela soma de dois outros indicadores, o índice de estrutura do produto (IEP) e os qualificadores (Q). O IEP é obtido a partir da razão entre os custos diretos de produção local e os custos diretos totais de produção. Assim, considerava os insumos e serviços adquiridos no país e a mão de obra local frente a todos os custos dos insumos, serviços e mão de obra necessários para a fabricação do bem.

Diferentemente da metodologia usual de credenciamento, o preço de venda não era mais considerado para o cálculo do índice de credenciamento, evitando a incorporação da margem de lucro dos fabricantes, que gerava distorções na aferição do conteúdo local.

Além disso, por meio dos qualificadores, passou-se a bonificar empresas que desempenhassem atividades consideradas mais nobres como, por exemplo, as atividades intensivas em conhecimento e tecnologia, exportações, contratação de mão de obra qualificada ou maior nível de valor adicionado em seu processo produtivo¹⁰⁹. Os qualificadores são opcionais e ajudam o atingimento dos requisitos mínimo índice de credenciamento (IC), complementando o índice de estrutura de produtos (IEP).

Essa lógica foi incorporada na metodologia de aerogeradores, que foi atualizada e relançada em 2020, e permanece vigente. Desde então a metodologia define os níveis mínimos exigidos para o IEP e o IC, que são obtidos a partir da nacionalização dos componentes dos aerogeradores¹¹⁰.

3.3. Políticas de financiamento à inovação e à cadeia produtiva

O Brasil possui um universo diversificado de políticas de financiamento à inovação e para o financiamento dos investimentos da indústria. A presente seção focaliza os instrumentos que foram mais relevantes para o financiamento à inovação na indústria eólica e para o financiamento dos investimentos em capacidade industrial da cadeia produtiva de aerogeradores.

São eles: o Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Aneel (P&D Aneel)¹¹¹; o Programa de Subvenção Econômica para Inovação Nacional¹¹² e o Fundo Setorial de Energia¹¹³, ambos operacionalizados pela Finep, que também apoia a indústria eólica por meio de linhas de financiamento com recursos do FNDCT; e o apoio do BNDES à cadeia produtiva por meio de linhas de financiamento ou instrumentos de mercado de capitais.

O Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Aneel (P&D Aneel)

O Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D Aneel) é uma iniciativa voltada para incentivar o desenvolvimento de tecnologias inovadoras no setor elétrico brasileiro. O programa foi concebido em um contexto de mudanças no padrão regulatório do setor elétrico na década de 1990 para um modelo com menor participação do Estado, marcado pela privatização das empresas públicas de energia e pela criação de agência reguladora.

Diante desse cenário, entendeu-se ser relevante disponibilizar uma fonte de financiamento às atividades P&D do setor elétrico para que esses investimentos não sofressem uma queda substancial. O programa P&D Aneel foi criado em conformidade com a Lei nº 9.991/2000, que exige que

¹⁰⁹<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/servicos-online/credenciamento-de-equipamentos/regulamentos-geral-metodologias-especificas>

¹¹⁰<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/88477a07-50bd-4dc4-9834-374bbdb9bdb3/Regulamento+E%C3%B3lico+site.docx.pdf?MOD=AJPERES&CVID=ogPS0K6>

¹¹¹<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao>

¹¹²<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/instrumentos-de-apoio/subvencao-economica>

¹¹³<http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct/estrutura-orcamentaria/quais-sao-os-fundos-setoriais/ct-energia>

concessionárias e permissionárias de energia destinem uma porcentagem de sua receita operacional líquida para projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I)¹¹⁴.

Trata-se de uma fonte importante de recursos para inovação no setor elétrico. Em 2001, logo após sua criação, o volume de recursos no Programa P&D Aneel era de aproximadamente R\$ 90 milhões, atingiu R\$ 392 milhões em 2012 e no período mais recente ultrapassou R\$ 1 bilhão ao ano¹¹⁵.

Nesse mecanismo, as empresas do setor elétrico são responsáveis por contabilizar e informar à Aneel os recursos disponíveis para aplicação em projetos de P&D. Os projetos, por sua vez, são estabelecidos diretamente pelas empresas do setor de energia em parceria com universidades, centros de pesquisa e o setor produtivo e devem ser aplicados em áreas temáticas definidas pela Aneel.

Até 2008, os projetos eram submetidos e aprovados pela Aneel antes de sua execução. Entre 2008 e 2012, essa submissão prévia de projetos passou a ser facultativa. Desde 2012, o acompanhamento dos projetos e a conformidade quanto à aplicação dos recursos são analisados pela Aneel *a posteriori*.

A Aneel define objetivos estratégicos por meio do Plano de Estratégico Quinquenal de Inovação, que orienta a alocação de recurso pelas empresas. No atual Plano 2024-2028, destacam-se os temas de eficiência energética, armazenamento de energia e hidrogênio. Além disso, a Aneel realiza Chamadas Estratégicas de Projetos, em geral uma vez por ano, com foco em temas específicos considerados relevantes.

A presente seção não tem como objetivo detalhar todos os procedimentos do programa, tampouco realizar uma avaliação do mesmo. Para isso Castro *et al* (2020) seria uma fonte recomendada¹¹⁶. O foco aqui reside no apoio desse instrumento aos projetos de inovação relacionados ao setor eólico. Nesse sentido, Podcameni (2014) fez um importante levantamento dos projetos apoiados com recursos do P&D Aneel que tinham relação com o setor eólico.

O primeiro aspecto a se destacar é que foi realizada, em 2013, chamada estratégica para o desenvolvimento de tecnologia nacional de geração eólica. A chamada teve como objetivo apoiar o desenvolvimento tecnológico nacional da cadeia produtiva e a redução dos custos dos equipamentos e componentes. A chamada recebeu 5 propostas de projetos com investimentos entre R\$ 2,4 e 74

¹¹⁴ A lei nº 9.991/2000 é regulamentada pelo Decreto nº 3.867/2001. Os recursos da Lei nº 9.991/2000 são distribuídos entre o Programa P&D ANEEL, Programa de eficiência energética (PEE), o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e para o MME em benefício da EPE.

¹¹⁵ 2019 e 2020 = R\$ 1,6 bi; 2021 = R\$ 1,2 bi (Fonte EPE – panorama dos investimentos de inovação em energia, disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plataforma-inova-e-panorama-dos-investimentos-de-inovacao-em-energia-no-brasil> - Acessado em 04/11/2024)

¹¹⁶ Castro *et al* (2020) realiza um amplo diagnóstico acerca do Programa P&D Aneel a partir da abordagem dos sistemas de inovação e apresenta um conjunto de propostas de mudanças no arranjo institucional do setor elétrico com vistas a alavancar a atividade de P,D&I e elevar o Programa P&D Aneel a outro patamar. Dentre elas, destacam-se a criação de um Plano de Inovação para o Setor Elétrico, a criação de um observatório de inovação e de um conselho de inovação coordenado pela Aneel.

milhões, valores bem superiores aos usualmente apoiados em projetos do programa fora da chamada estratégica

Destacam-se 3 projetos: um o desenvolvimento de torre eólica com 120m de altura (investimento de R\$ 35 milhões), um para o desenvolvimento de pá eólica para rotores com mais de 100m de altura (R\$ 34 milhões) e outro voltado ao desenvolvimento de um aerogerador sem caixa multiplicadora de potência de 3,3 MW (R\$ 74 milhões). Esse foi realizado em parceria entre a Tractebel, empresa do setor de energia, e a WEG Equipamentos Elétricos S/A. O projeto teve sucesso no desenvolvimento e foi comercializado no país. Não foram realizadas novas chamadas estratégicas para o desenvolvimento de tecnologias da indústria eólica desde então.

Em relação aos projetos apoiados fora da chamada estratégica, pode-se afirmar que o valor médio dos projetos apoiados é significativamente inferior. Podcameni (2014), ao analisar esses projetos, constata que são, em sua maioria, destinados ao desenvolvimento de protótipos e componentes de turbinas de pequeno porte. Os projetos estariam em descompasso com o momento de expansão do setor eólico naquele momento. No período mais recente após 2015, esse perfil de projetos não se alterou.

De modo geral, o Programa de P&D Aneel teve um impacto limitado para o desenvolvimento de empresas e tecnologias nacionais da cadeia produtiva de aerogeradores. Seu apoio à indústria eólica foi pontual com o lançamento da chamada estratégica, que foi realizada no período de expansão da geração eólica por meio dos leilões de energia. A falta de continuidade em direcionar recursos para o desenvolvimento de aerogeradores de maior potência e a dispersão dos recursos em projetos de baixo valor, limitaram o impacto do programa na indústria eólica brasileira.

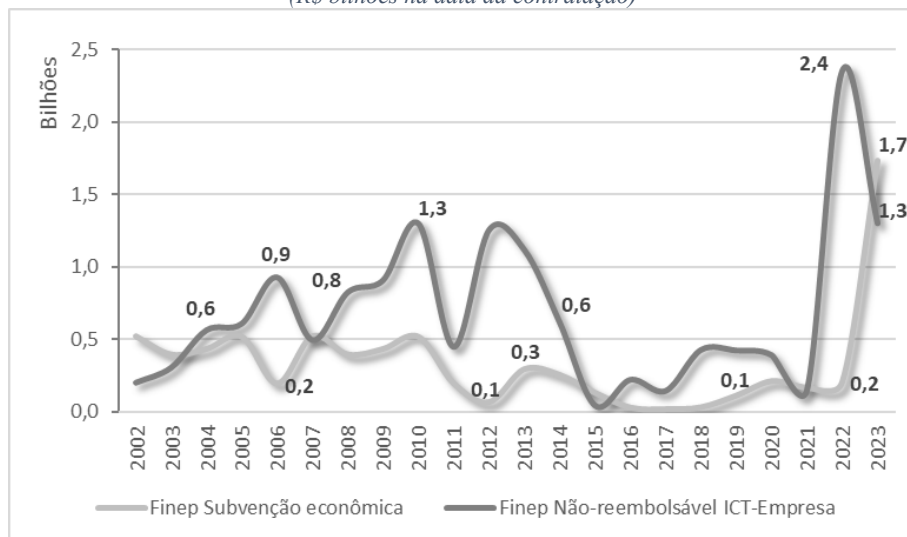
Finep - subvenção econômica, fundo setorial de energia e crédito à inovação

A Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) é a agência de fomento à inovação brasileira. Sua principal fonte de recursos é o Fundo Nacional de Desenvolvimento à Ciência e Tecnologia (FNDCT). Os principais instrumentos da Finep para o apoio à inovação na cadeia produtiva de aerogeradores são, para as empresas, a subvenção econômica e as linhas de crédito, e para os projetos cooperativos ICT-empresa, o Fundo Setorial de Energia (“CT-Energ”), vinculado ao FNDCT.

A subvenção econômica é um instrumento de apoio a projetos de inovação das empresas com recursos não-reembolsáveis. Os projetos são recebidos por meio de chamadas públicas. Esse instrumento passou a ser operacionalizado pela Finep em 2006 e, até 2013, as chamadas de projetos não eram definidas para temáticas específicas e possuíam um caráter transversal a diferentes setores da economia.

Após 2013, o instrumento tem seus recursos muito reduzidos por conta de sucessivos contingenciamentos do FNDCT. Em 2021 é sancionada a Lei Complementar nº 177/2021 que vedou o contingenciamento do FNDCT, permitindo a utilização dos recursos com escala, pela primeira vez, em 2022. Essa é uma mudança recente muito relevante, pois pode permitir o direcionamento de um volume maior de recursos do FNDCT para o fomento à inovação se mantida nos próximos anos.

Gráfico 13 – Financiamento à inovação por meio da subvenção econômica e não-reembolsável ICT-empresa (R\$ bilhões na data da contratação)



Fonte: elaboração própria a partir de informações da Finep.

Em relação ao apoio ao setor eólico, 18 projetos foram contemplados com um apoio total de R\$ 41 milhões até 2013. Destaque pode ser dado aos projetos da Tectis para o desenvolvimento de processo de fabricação de moldes de pás eólicas (R\$ 8 milhões) e da Wind Power Energia S/A (WPE) para o desenvolvimento de aerogeradores otimizados para o Brasil (R\$ 10 milhões)¹¹⁷.

A Finep lançou nesse mesmo ano o Programa Inova Energia em parceria com a Aneel e o BNDES. Nesse programa as instituições realizaram um chamamento público de projetos em áreas temáticas do setor de energia para o apoio com seus diferentes instrumentos de subvenção, ICT-empresa, crédito e participação acionária¹¹⁸. No entanto, projetos de inovação do setor eólico não foram contemplados com subvenção econômica da Finep na chamada pública.

Com os sucessivos contingenciamentos do FNDCT em anos posteriores e a escassez de recursos, o apoio ao setor eólico não foi priorizado nas chamadas públicas lançadas até 2022. Nesse ano, a Finep volta a lançar uma chamada de projetos incluindo o setor eólico entre os temas prioritários. A chamada “Inovações Radicais no Setor Elétrico” selecionou 10 projetos com um investimento total de aproximadamente R\$ 85 milhões.

¹¹⁷ A WPE era uma fabricante de aerogeradores do grupo Impsa, um grupo econômico argentino, que atuava tanto na geração de energia eólica quanto na produção de aerogeradores. A Impsa teve dificuldades financeiras a partir de 2014 e saiu do mercado brasileiro de energia eólica.

¹¹⁸ <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/plano-inova-empresa/plano-inova-energia>

Para Podcameni (2014, p.163), *“a subvenção econômica... não teve o papel de anteceder o desenvolvimento do mercado eólico, como na maioria dos países que desenvolveram com sucesso essa indústria”*, uma vez que as chamadas que contemplaram o setor eólico até 2013 foram realizadas pela Finep apenas quando o mercado eólico já estava em franca expansão e os aerogeradores fabricados no país por empresas estrangeiras já tinham certa competitividade no mercado de energia. Além disso, ressalta o baixo valor dos projetos apoiados e que o apoio se direcionou muitas vezes à componentes de menor conteúdo tecnológico (Podcameni, 2014).

O segundo instrumento da Finep para o apoio à inovação consiste no uso dos recursos do Fundo Setorial de Energia (CT-Energ) para o apoio a projetos cooperativos ICT-empresa¹¹⁹. Esse instrumento teve, historicamente, um volume de recursos superior à subvenção econômica. Destinou um total de R\$ 15 bilhões entre 2002 e 2022 para projetos em todos os setores, cerca de duas vezes o orçamento da subvenção econômica nesse mesmo período. Esse instrumento também sofreu com os contingenciamentos e, entre 2015 e 2021, teve um nível de recursos pouco significativo.

Em relação ao apoio ao setor eólico, a Finep selecionou 16 projetos nas chamadas realizadas entre 2000 e 2010 com um investimento total de apenas R\$ 7 milhões. Entre 2011 e 2021 foram apoiados poucos projetos e com valores baixos. Em 2022, primeiro ano em que os recursos estavam disponíveis com maior escala, foi contratado apenas um projeto no valor de R\$ 1 milhão que se encontra em execução.

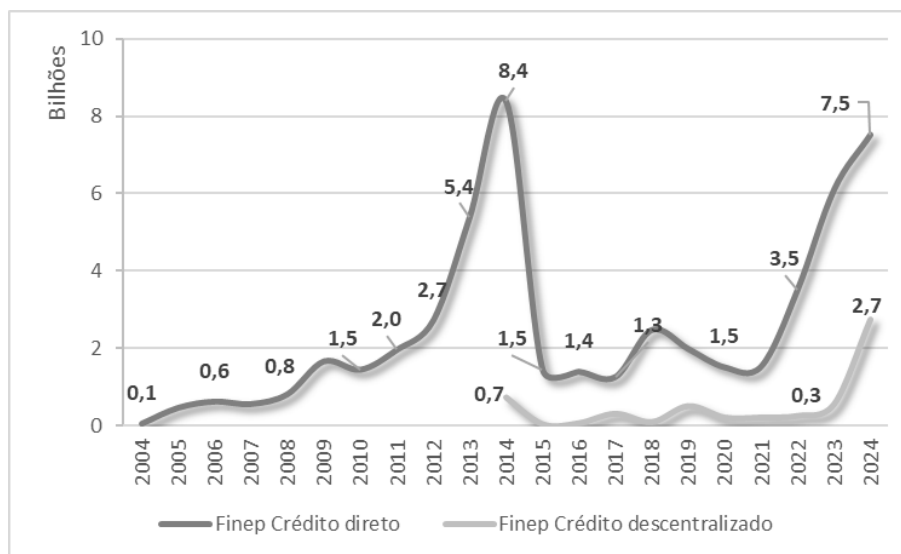
Assim como no instrumento de subvenção, os sucessivos contingenciamentos de recursos limitaram o apoio do instrumento cooperativo ICT-empresa para o desenvolvimento de tecnologias do setor eólico. O incentivo à aproximação das instituições de pesquisa com as empresas foi realizado em projetos de valor baixo. Apesar da existência do mecanismo, a falta de recursos e sua pulverização em projetos de baixo valor limitaram que ele pudesse ter sido usado com maior efetividade.

O terceiro instrumento da Finep para o apoio à inovação são as linhas de crédito da instituição. Historicamente, a contratação de operações de crédito à inovação foi inferior a R\$ 2 bilhões ao ano, à exceção do período entre 2011 e 2014 e após 2021.

No período 2011 e 2014, a Finep atuou como repassadora dos recursos do Programa de Sustentação de Investimentos (PSI), que tinham origem no FAT e nos aportes do Tesouro Nacional no BNDES. Essas fontes permitiram a complementação dos recursos do FNDCT. Com isso, a concessão de empréstimos direcionados à inovação pela Finep atingiu, em 2013, o volume de R\$ 5,4 bilhões e teve seu pico, em 2014, com uma contratação de operações nesse ano de R\$ 8,4 bilhões.

¹¹⁹ Os Fundos Setoriais foram criados a partir de 1999 em um relevante rearranjo do sistema de financiamento à inovação no país que organizou e formalizou as fontes de recursos para o financiamento à inovação (Lei nº 9.991/2000).

Gráfico 14 – Financiamento à inovação por meio de linhas de crédito da Finep (R\$ bilhões na data da contratação)



Fonte: elaboração própria a partir de informações da Finep.

Com a crise econômica e política nos anos seguintes, a Finep não pôde manter seu ritmo de atividade. Não estavam mais disponíveis os recursos do FAT e do Tesouro Nacional canalizados pelo BNDES. A instituição volta a operar apenas os recursos do FNDCT, mantendo um nível de apoio entre R\$ 1,5 e 2,5 bi ao ano em concessões de novos empréstimos. A partir de 2021, com a maior disponibilidade de recursos do FNDCT pela sanção da Lei Complementar nº 177/2021, a Finep volta a expandir a concessão de crédito à inovação.

Importante destacar, ainda, a criação, em 2014, da modalidade de crédito descentralizado. Nessa modalidade, outros bancos públicos e agências de desenvolvimento atuam como repassadores dos recursos da Finep. Um modelo similar ao utilizado pelo BNDES com a Finame. Todavia, diante da escassez de recursos entre 2014 e 2021, o crédito repassado nessa modalidade foi pouco relevante.

No apoio à cadeia produtiva de aerogeradores e seus componentes por meio desse instrumento, destacam-se os financiamentos concedidos à Wind Power Energy S/A, empresa fabricante de aerogeradores do grupo argentino Impsa¹²⁰, para o desenvolvimento de aerogeradores no país, à Aeris, fabricante de pás eólica, e à WEG Equipamentos Elétricos S/A, que teve seu plano de inovação apoiado no qual estavam inclusos projetos de desenvolvimento de novos aerogeradores. Essa foi uma carteira de crédito de cerca de R\$ 1,1 bilhão de financiamento e que esteve majoritariamente concentrada entre os anos 2008 e 2013.

¹²⁰ O Grupo Impsa atuava na geração de energia eólica na produção de aerogeradores por meio da WPE. A Impsa teve dificuldades financeiras a partir de 2014 e saiu do mercado brasileiro de energia eólica.

BNDES - financiamento à capacidade produtiva e participação acionária

O BNDES apoia a indústria por meio de suas linhas de crédito e seus instrumentos de mercado de capitais. As linhas de crédito podem ser diretas, quando os contratos de financiamento são firmados entre empresas e o banco, ou indiretas, por meio dos agentes financeiros credenciados no BNDES, que operam as linhas da Finame.

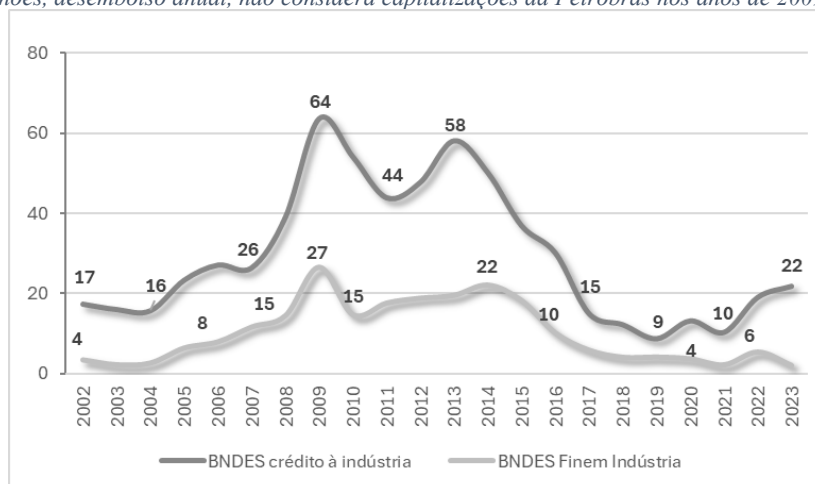
No apoio direto, a linha de financiamento mais relevante para o investimento da indústria em capacidade produtiva e inovação é a linha BNDES Finem (“Financiamento a empreendimentos”). Já a participação acionária em empresas ocorre por meio da subsidiária BNDES Participações S/A (“BNDESPAR”).

A linha BNDES Finem disponibiliza crédito de longo prazo para o investimento em novas unidades industriais, por meio do apoio à expansão e modernização de capacidade produtiva, e para o financiamento à inovação. A atratividade dessa linha acompanhou o processo de mudança das taxas de juros descrito anteriormente na seção que discutiu o financiamento aos empreendimentos de geração eólica. Ou seja, até a criação da TLP em 2017, as linhas possuíam condições de financiamento incentivadas por meio da TJLP ou de taxas equalizadas do PSI.

O financiamento à indústria pelo BNDES, considerando todas as linhas (BNDES Finem, Finame e Exim), passou por um ciclo de crescimento até 2009, quando atingiu R\$ 64 bilhões em desembolsos no ano, oscilou no período 2011-2013 entre R\$ 44 e 58 bilhões e decresceu a partir disso até 2018, mantendo-se em níveis próximos aos R\$ 10 bilhões nos anos seguintes.

A linha BNDES Finem, que apoia exclusivamente a expansão de capacidade produtiva e a inovação, apresenta patamares inferiores. Teve seu pico em 2009, quando atingiu R\$ 27 bilhões. Manteve-se em um nível entre R\$ 15 e 22 bilhões no período 2010-2014. Posteriormente, decresceu continuamente, atingindo seu valor mínimo em 2021 com R\$ 2,3 bilhões de desembolso nesse ano.

Gráfico 15 – Financiamento à indústria no BNDES
(R\$ bilhões, desembolso anual, não considera capitalizações da Petrobras nos anos de 2009 e 2010)



Fonte: elaboração própria a partir de informações do BNDES.

O apoio do BNDES aos investimentos da cadeia produtiva de aerogeradores se dá, principalmente, por meio da linha de financiamento BNDES Finem e pela participação acionária da BNDESPAR. Embora o volume de investimentos em infraestrutura para a geração eólica tenha sido bastante expressivo, como já abordado, e a cadeia produtiva tenha constituído importante capacidade local em diferentes estados, os financiamentos do BNDES aos planos de investimento das empresas da cadeia produtiva foram mais pontuais e menos significativos em volume de recursos.

Podem ser destacados, os financiamentos à Gestamp/Iraeta, fabricante de flanges de torres eólicas que se instalou no Complexo Industrial Portuário de Suape/PE; à Torres do Nordeste, que investiu em unidade industrial em Jacobina no interior da Bahia para a fabricação de torres eólicas metálicas, a Engebasa, fabricante de torres metálicas que se instalou em Guaíba/RS; à Aeris, fabricante de pás localizada no Complexo Industrial e Portuário de Pecém/CE; e o apoio aos planos de inovação da WEG para o desenvolvimento de seus aerogeradores em suas unidades industriais localizadas em Santa Catarina¹²¹. Em relação a atuação da BNDESPAR destaca-se a participação acionária na Tecsis, fabricante de pás eólicas, no valor de R\$ 126 milhões, realizada em 2011¹²².

O financiamento direto à cadeia produtiva e a participação acionária junto com os demais instrumentos descritos anteriormente voltados para o financiamento aos parques de geração eólica e a política de conteúdo local da Finame, dão ao BNDES um amplo portfólio de instrumentos para a implementação da política industrial.

3.4. Conclusão do capítulo

O presente capítulo analisou as políticas implementadas para o desenvolvimento da indústria eólica no Brasil, organizando-as em políticas de formação do mercado de geração eólica, políticas de financiamento ao investimento em geração eólica e políticas de financiamento à inovação e à cadeia produtiva. Como argumentado, esse conjunto de políticas constituem o “núcleo duro” da política industrial brasileira nesse setor.

Por meio dessas políticas foi possível criar demanda por aerogeradores e direcioná-la para a cadeia produtiva local. Pode-se afirmar que a política brasileira, como nos casos dos EUA e China analisados anteriormente, também foi uma política orientada pela demanda (“*demand-led*”).

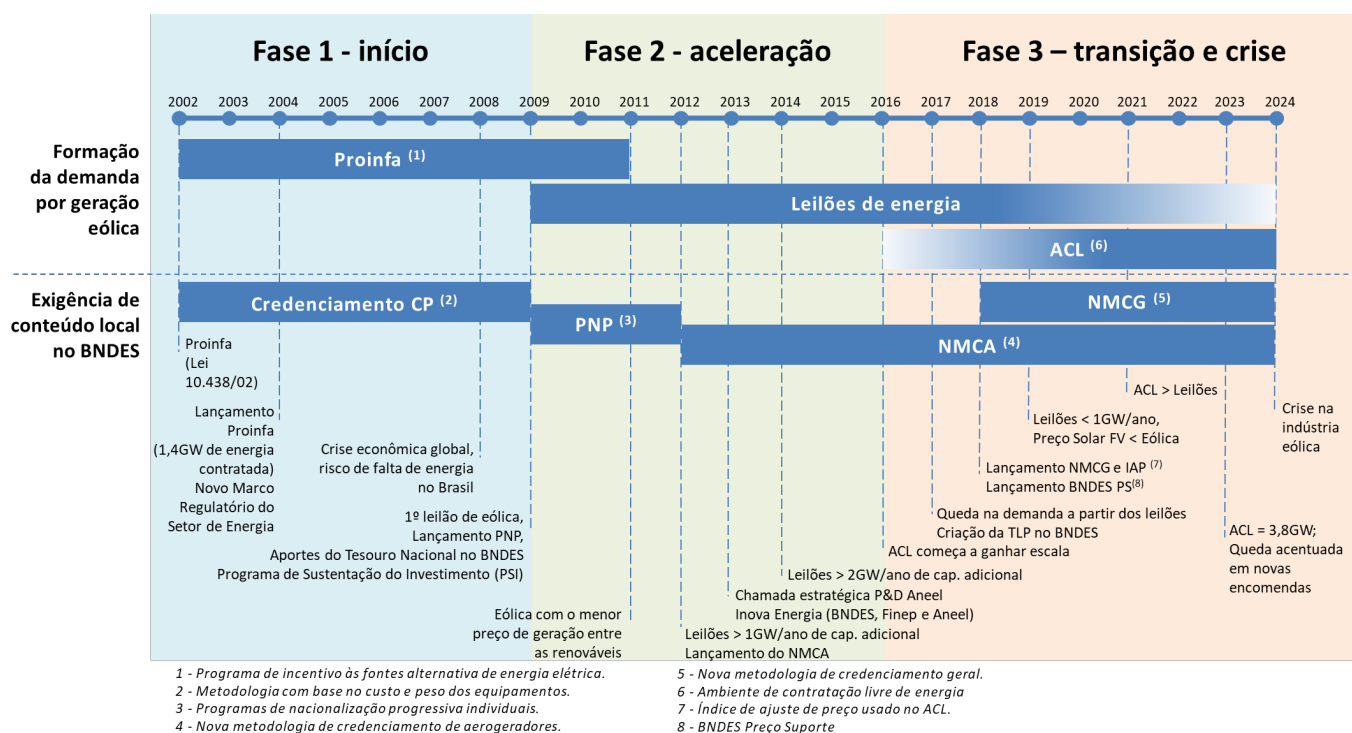
¹²¹ Gestamp/Iraeta (R\$ 69 mi), Engebada (R\$ 45 mi), Aeris (R\$ 127 mi). No caso da WEG, o financiamento ao plano de inovação não permite identificar o valor aplicado exclusivamente nos desenvolvimentos dos aerogeradores em relação aos demais investimentos em inovação realizados. Outras empresas da cadeia produtiva foram apoiadas além dessas.

¹²² O BNDES apoiou a empresa também no ano seguinte, 2012, no valor de R\$ 38,3 milhões, por meio da subscrição e integralização de debêntures simples de emissão da empresa com os objetivos de melhorar sua estrutura de capital e de expandir a capacidade industrial. Fonte: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/consultas-operacoes-bndes/renda-variavel/desembolsos-do-sistema-bndes-via-renda-variavel>, acesso em 17/02/2025.

A partir das discussões realizadas nesse capítulo é possível sistematizar uma linha do tempo das políticas entre 2002, ano de edição da Lei nº 10.438/02 que cria o Proinfa, e 2024. Essa sistematização permite visualizar os principais marcos das políticas e do processo de desenvolvimento da indústria eólica no país.

Também é possível identificar 3 fases da política e do processo de desenvolvimento da indústria eólica e sua cadeia produtiva de aerogeradores. Uma fase inicial que abrange o período de 2002 até a realização do 1º leilão exclusivo para a contratação de geração eólica em 2009 (2002-2009)¹²³. Uma segunda fase de aceleração do processo de desenvolvimento dessa indústria, que se inicia com o 1º leilão em que se observou contratação de geração eólica, e estende-se até a queda na contratação de nova capacidade de geração de energia eólica em 2016 (2009-2016). E uma terceira fase de transição da demanda por aerogeradores criada por meio dos leilões para a demanda com origem no mercado livre de energia, e crise na cadeia produtiva, no presente, causada pela abrupta queda nas encomendas de aerogeradores, que podem levar a uma desmobilização dessa cadeia produtiva (2016-2024).

Figura 9 – Linha do tempo das políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil



Fonte: Elaboração própria

É possível tecer algumas considerações acerca da análise feita neste capítulo e sobre cada uma dessas fases da política e o processo de desenvolvimento dessa indústria. Um primeiro aspecto a ser ressaltado é que a política nasce de uma necessidade real e urgente de se encontrar alternativas para enfrentar a crise do racionamento de energia de 2001. Abre-se, portanto, naquele momento, uma

¹²³ 2º Leilão de Energia de Reserva realizado em 2009.

janela de oportunidade para a expansão da matriz elétrica brasileira e para a inserção da geração eólica, bem como, de outras fontes de energia (térmicas a gás, biomassa, PCHs, etc.).

O Proinfa, ao estabelecer um preço-teto de energia mais elevado e indicar a contratação de um volume de capacidade de geração eólica, foi importante para demonstrar a viabilidade técnica e financeira da geração eólica no Brasil. Teve, no entanto, um impacto limitado na cadeia produtiva. Poucos fabricantes credenciaram seus aerogeradores no BNDES como decorrência do Proinfa. As regras de credenciamento dos aerogeradores também não estavam adequadas ao estágio de desenvolvimento dessa indústria no país.

Outro fator que pode ter contribuído para a limitada capacidade do Proinfa em atrair investimento na indústria foi o atraso na implantação dos projetos de geração eólica. Esse atraso foi significativo. Alguns dos projetos de geração eólica contratados no Proinfa entraram em operação apenas em 2011, sete anos após o lançamento do programa.

Nesse sentido, a demanda gerada pelo Proinfa de 1,4 GW, embora não desprezível em termos de volume de encomendas¹²⁴, foi diluída ao longo de muitos anos, dificultando a concretização de uma escala mínima, que justificasse a decisão de investimento em novas unidades industriais voltadas à fabricação dos aerogeradores.

Além disso, durante o período do Proinfa predominou o credenciamento de aerogeradores no BNDES com base na metodologia padrão (índice de nacionalização em peso e valor) e nos PNPI's¹²⁵. As exigências definidas nessas metodologias podiam ser atendidas com a aquisição de insumos e componentes distintos entre os fabricantes de aerogeradores, outro aspecto que não contribuía para dar escala junto à cadeia de fornecedores de insumos e componentes.

Essa primeira fase da política pode ser compreendida como um período de aprendizado sobre a viabilidade da geração de energia eólica no Brasil e de compreensão das dificuldades para a localização da cadeia produtiva por parte dos agentes públicos, que não estavam articulados.

Na segunda fase da política, a de aceleração do processo de desenvolvimento da indústria eólica no país, um componente endógeno e dois choques exógenos parecem ter influenciado de forma importante os rumos e impactos da política. O primeiro tem a ver com o crescimento econômico apresentado pelo país a partir de 2007. Esse ciclo de maior crescimento, que durou até 2012, aqueceu a demanda por energia contribuindo para a realização dos leilões de energia.

¹²⁴ Se considerada a potência nominal média de 2MW do período do Proinfa (EPE, 2020), o volume de projetos contratados representaria uma demanda por cerca de 700 aerogeradores.

¹²⁵ Os PNPI's foram também utilizados no período entre 2009 e 2012, após a realização do 2º LER que contratou pela primeira vez energia eólica.

O segundo componente foi um choque exógeno representado pela elevação do risco de racionamento de energia que ocorreu em 2008. O risco de racionamento, embora não tenha se concretizado em um racionamento de fato, criou as condições políticas para o lançamento do primeiro leilão exclusivamente direcionado para a fonte eólica, que, naquele momento, ainda apresentava preços mais elevados de geração de energia. Como visto, a partir desse leilão ocorrem sucessivos leilões, que viabilizam a inserção da geração eólica na matriz elétrica de forma acelerada e a queda nos preços da energia eólica no país.

O terceiro componente, outro choque exógeno, foi a crise econômica global de 2008, que levou a uma queda na atividade econômica nos principais mercados internacionais dos fabricantes estrangeiros de aerogeradores. Esse pode ter sido um elemento importante para aumentar a atratividade do mercado de energia nacional, que se encontrava em expansão.

O fato é que, no período compreendido entre 2009 até a crise política e econômica que teve seu auge em 2016, a geração eólica se expandiu e a cadeia produtiva de aerogeradores se estabeleceu no país. Esse processo ocorreu com a queda dos custos de investimento nos parques eólicos, o aumento da potência nominal média dos aerogeradores fabricados localmente e o aumento do fator de capacidade de geração dos parques eólicos, dentre outros resultados que demonstram o impacto positivo da política (EPE, 2020).

Esse foi o período em que as iniciativas nos 3 grupos de políticas discutidos nesse capítulo - políticas de formação do mercado de geração (leilões), políticas de financiamento aos parques eólicos aliadas à política de conteúdo local do BNDES e as políticas de financiamento à cadeia produtiva e à inovação - foram mais ativas.

É importante aprofundar como transcorreu esse processo, em que dimensões essas políticas estiveram articuladas e se houve intencionalidade nessa articulação. Também é importante analisar as inovações que as organizações públicas realizaram em seus instrumentos nesse período.

Com a crise política e econômica do período 2014-16, a política industrial eólica entra em uma nova fase. A expansão da geração eólica deixa de ser guiada pelos leilões pela falta de nova demanda por energia em um ambiente de baixo crescimento da economia. O mercado livre de energia, que se encontrava em processo de expansão, assume esse papel.

Como discutido, a atuação das instituições públicas foi mais uma vez decisiva nesse momento. As mudanças efetuadas nas políticas de financiamento aos projetos de geração de energia eólica pelo BNDES criaram as condições para que a geração eólica se expandisse. Naquele momento, a geração eólica apresentava custos competitivos frente a outras fontes de energia e foi capaz de absorver parte da demanda gerada pelo mercado livre.

Nessa fase de transição, a política de conteúdo local continuou sendo ajustada pelo BNDES e as demais políticas de financiamento à geração eólica, à cadeia produtiva e à inovação sofreram mudanças importantes em suas condições de apoio. Tiveram seus orçamentos severamente restringidos e o crédito, no caso do BNDES, sua taxa de juros elevada com a criação da TLP. A terceira fase da política parece ser caracterizada pela desarticulação das políticas de formação do mercado, de financiamento à geração e financiamento à cadeia produtiva e inovação.

Um novo choque exógeno é importante em meio a esse processo. A queda contínua dos preços dos painéis fotovoltaicos no mercado internacional torna a geração de energia solar mais atrativa para os investidores de energia no mercado livre do que a geração eólica. Com isso, no ano de 2024, apresenta-se uma situação aparentemente paradoxal e, sobretudo, crítica para a cadeia produtiva.

Ao mesmo tempo em que a adição de nova capacidade de geração nos parques eólicos ainda tenha permanecido elevada até 2023, os fabricantes já foram impactados pela queda na demanda por aerogeradores e as encomendas encontram-se em níveis baixíssimos. O atual momento é de crise na cadeia produtiva e o governo federal vem discutindo medidas para evitar um processo de desmobilização dessa indústria.

Com o objetivo de aprofundar a análise sobre essas questões e avaliar o caráter sistêmico da política industrial, que viabilizou o desenvolvimento da indústria eólica no país, foi realizada uma pesquisa de campo com os diferentes atores dessa indústria. O próximo capítulo irá abordar como essa pesquisa foi elaborada e discutir seus resultados à luz das diferentes dimensões do modelo analítico apresentado no primeiro capítulo.

*“Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.”*

*FERNANDO PESSOA
(trecho do poema Mar Português)*

4. SNI de energia eólica e análise das políticas industriais

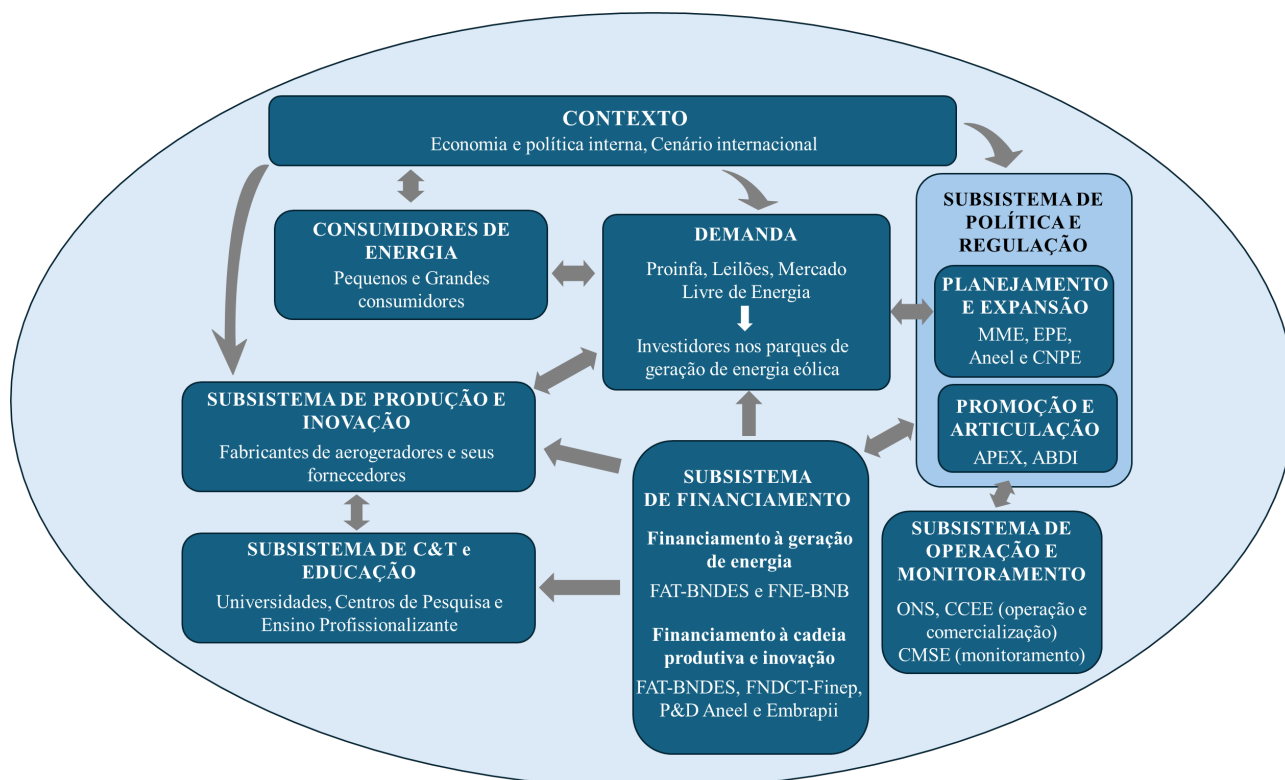
O primeiro capítulo apresentou o referencial teórico da pesquisa e definiu o modelo analítico das políticas industriais sistêmicas. O segundo capítulo analisou a evolução do mercado de energia eólica global e local e a organização dessa indústria. Abordou também as experiências de desenvolvimento da indústria eólica dos EUA e China, que deram algumas indicações importantes para a análise da política industrial eólica no Brasil. O terceiro capítulo identificou as políticas implementadas no país, organizando-as em três conjuntos de políticas de formação do mercado, de financiamento dos parques eólicos e de financiamento à indústria e à inovação.

O presente capítulo busca relacionar as temáticas tratadas nesses três capítulos anteriores com o objetivo de avaliar o caráter sistêmico das políticas de desenvolvimento da indústria eólica realizadas no Brasil. Enquanto o modelo analítico apresentado no capítulo 1 elaborou o ferramental para a análise das políticas sistêmicas, a discussão do capítulo 2 permitiu identificar algumas questões relevantes que devem ser abordadas por esse modelo na análise do caso brasileiro.

O capítulo 3, por sua vez, ao identificar as políticas que tiveram maior impacto no desenvolvimento da indústria eólica e apresentar a sua evolução ao longo do tempo, permitiu o mapeamento dos principais atores que foram relevantes para a organização dessas políticas, ao mesmo tempo que indicou novos pontos de atenção no processo de implementação das políticas que merecem aprofundamento. Por exemplo, a linha do tempo apresentada na conclusão do capítulo 3 demonstrou como as políticas se complementaram em alguns momentos ou estiveram desarticuladas em outros. Compreender as causas desse alinhamento ou as razões para a falta dele é um dos temas que merece maior atenção.

A partir das análises realizadas nos 3 capítulos anteriores é possível elaborar um desenho esquemático do Sistema Nacional de Inovação de energia eólica apresentado na Figura 10. Essa representação esquemática do SNI de energia eólica busca identificar os principais subsistemas que estiveram presentes na trajetória de desenvolvimento da indústria eólica no país.

Figura 10 – Sistema nacional de inovação de energia eólica



Fonte: Elaboração própria

Em primeiro lugar, está o que se chama de “Contexto”, que compreende as principais questões do cenário econômico e da política interna e externa. Como visto, a oportunidade para a estruturação do primeiro programa de apoio à geração eólica, o Proinfa, decorre da crise de racionamento de energia de 2001. O período de maior crescimento da economia brasileira entre 2007 e 2012 impulsionou a demanda por energia e, com isso, a realização de sucessivos leilões. A crise de 2008 e seu impacto na atividade econômica internacional, com a consequente queda nos mercados de energia eólica no exterior, abriu espaço para que o mercado brasileiro de energia eólica em expansão se tornasse atrativo para as empresas estrangeiras fabricantes de aerogeradores. A crise econômica e política de 2015-16 desarticulou as políticas que impulsionaram a expansão da geração eólica e o adensamento produtivo até então. Todos esses são exemplos de questões do contexto interno e externo que foram relevantes para o processo de desenvolvimento dessa indústria e devem ser considerados nas análises da política.

Em segundo lugar, estão os consumidores de energia e a demanda. Como já discutido, o desenvolvimento da indústria eólica no Brasil foi orientado pela demanda. O Proinfa, os leilões e, posteriormente, o maior interesse dos consumidores de energia de maior porte por essa fonte no mercado livre, definiram o ritmo de expansão dessa indústria em conjunto com os investidores dos parques de geração eólica. Aprofundar como a mudança do perfil da demanda impactou a indústria é essencial para compreender e avaliar a política realizada.

Esses elementos de demanda não são estruturados de forma espontânea. Dependem das organizações públicas condutoras da política energética e dos processos presentes no subsistema de política e regulação. A mudança do modelo do setor elétrico em 2004, que aperfeiçoou o marco regulatório do sistema elétrico brasileiro, criou as condições para a retomada da capacidade de planejamento do Estado, bem como, reorganizou as competências para a condução das políticas entre as diferentes organizações públicas. Organizações como o MME, EPE, Aneel e o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) formularam e operacionalizaram políticas como o Proinfa e os leilões ou têm funções, como no caso da Aneel, de supervisão do funcionamento do mercado livre de energia.

As atividades de planejamento energético de longo prazo também estão nesse subsistema. Como visto, a Empresa de Pesquisa Energética foi criada em 2004 como parte do novo marco regulatório e é a responsável pela elaboração do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e do Plano Nacional de Energia (PNE). Aprofundar a compreensão sobre as capacidades dessas organizações deve ser objeto de maior análise.

Outras organizações públicas também estão presentes nesse subsistema, a exemplo da Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (APEX) e da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), que atuaram na atração de investimentos estrangeiros e deram suporte ao processo de articulação das diferentes instituições públicas.

O subsistema de política e regulação tem uma relação de proximidade com a demanda, tanto ao realizar o planejamento de longo prazo, quanto ao operacionalizar os instrumentos que definem a demanda por aerogeradores no curto e médio prazo. Elementos do contexto interno também o influenciam nessas atividades. A partir da leitura feita pelas organizações públicas presentes nesse subsistema sobre o cenário que define a demanda de energia de curto prazo e seu balanceamento com o planejamento de longo prazo, são tomadas as decisões de estabelecimento das políticas de demanda.

O subsistema de financiamento, por sua vez, engloba tanto as atividades de financiamento aos parques de geração eólica, quanto as atividades de financiamento à cadeia produtiva e à inovação. Nele estão presentes instituições como o BNDES, o BNB, a Finep e a Embrapii e instrumentos de fomento à inovação como o Programa P&D Aneel.

O subsistema de financiamento teve papel importante na política de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil. Primeiro, porque o financiamento foi elemento central para a viabilidade dos projetos de geração de energia. Segundo, porque a política de conteúdo local no financiamento à aquisição dos aerogeradores pelo BNDES foi o mecanismo que direcionou a demanda dos projetos de geração de energia para a indústria local. Além disso, diversos programas e linhas de fomento à inovação estiveram disponíveis para o apoio à cadeia produtiva ao longo da política.

O subsistema de financiamento se relaciona com a demanda, uma vez que financia os investidores com contratos de fornecimento de energia; com o subsistema de produção e inovação, já que financia os investimentos da cadeia produtiva; e com o subsistema de ciência e tecnologia (C&T) e educação, por meio das linhas de apoio com recursos não-reembolsáveis direcionadas às atividades de P&D, que disponibilizam recursos voltados ao desenvolvimento de novas tecnologias, e ao fortalecimento da infraestrutura de C&T.

Além disso, possui uma intensa interação com o subsistema de política e regulação. Por um lado, as instituições financeiras foram importantes na modelagem do Proinfa e dos leilões realizados pelo MME, com a participação da Aneel e EPE. Houve uma importante cooperação entre as equipes dessas instituições, como será visto mais adiante, que auxiliou no desenho dos instrumentos de demanda.

Por outro lado, algumas das condições de financiamento das instituições financeiras públicas são definidas externamente a elas, no subsistema de políticas e regulação. A alteração da taxa de juros do BNDES com a criação da TLP, por exemplo, foi elaborada pelo Ministério da Fazenda em colaboração com o Conselho Monetário Nacional. Essas duas instituições não estão representadas no modelo esquemático do SNI de energia eólica da Figura 10, devido à sua relação indireta com os demais agentes da política, mas fazem parte do subsistema de políticas e regulação.

A cadeia produtiva de aerogeradores está localizada no subsistema de produção e inovação. As políticas industriais visam promover os atores presentes nesse subsistema e no subsistema de C&T e educação. Ambos compõem a visão restrita do SNI apresentada no referencial teórico. O subsistema de produção e inovação se relaciona com a demanda, fornecendo os aerogeradores; com o subsistema de financiamento, utilizando seus instrumentos e recursos para o apoio às decisões de investimento; e com o subsistema de C&T e educação, aproveitando as competências existentes na infraestrutura de C&T para alavancar suas inovações e para a qualificação dos profissionais empregados nas diferentes atividades dessa indústria.

No subsistema de C&T e educação encontram-se as universidades, centros de pesquisa e de ensino profissionalizante. As universidades possuem um duplo papel na formação dos profissionais e na produção de conhecimento, contribuindo para a ciência básica e em projetos de inovação com as empresas, bem como, para a capacitação de pessoal. Como visto, os instrumentos de fomento à C&T e inovação sofreram com seguidas restrições de recursos durante o processo de desenvolvimento da indústria eólica no país. Ainda assim, é possível afirmar que o Brasil possui uma importante rede de universidades e centros de pesquisa. Explorar como essa rede foi utilizada pelas empresas em seu processo de desenvolvimento é um tema relevante para avaliação.

Há de se mencionar, ainda, o Sistema “S” e suas instituições que atuam no ensino profissionalizante. O Sistema “S” é formado por um conjunto de entidades privadas sem fins lucrativos voltadas para a promoção da educação profissional, apoio ao desenvolvimento empresarial, pesquisa e assistência social, especialmente no setor produtivo. Essas organizações são financiadas por contribuições parafiscais das empresas, que destinam uma porcentagem da folha de pagamento para o seu funcionamento. Para a política industrial eólica, a atuação do SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) deve ser destacada e será abordada.

Por fim, há o subsistema de operação e monitoramento do setor elétrico. Nele estão presentes organizações como o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CSME). Embora não tenham uma influência direta na formação do mercado de geração eólica e no desenvolvimento da cadeia produtiva, essas organizações contribuem com informações sobre as necessidades e características operacionais do sistema elétrico, que auxiliam as organizações do subsistema de política e regulação nas suas decisões de política. Além disso, sinalizam demandas de bens e serviços para a manutenção do sistema elétrico junto ao subsistema de produção e inovação e sobre as necessidades de novos conhecimentos e profissionais junto ao subsistema de C&T e educação.

Na visão ampla dos sistemas de inovação apresentada no capítulo 1 há, ainda, outros elementos, além dos subsistemas apresentados na representação esquemática aqui proposta (Figura 10), a exemplo dos aspectos culturais, o nível educacional da população, as políticas comerciais e tributárias, dentre outros. Portanto, a abordagem aqui adotada tem suas limitações e focaliza os elementos considerados mais relevantes para a política industrial eólica.

A partir dessa breve exposição e com o foco na investigação sobre as relações entre os diferentes subsistemas e políticas, no papel das organizações públicas e no impacto dessas políticas sobre a estrutura produtiva da indústria eólica, foi realizada uma pesquisa de campo junto aos diferentes atores do SNI de energia eólica.

A próxima seção apresenta a metodologia dessa pesquisa de campo. As seções seguintes apresentam, para cada um dos eixos do modelo analítico elaborado no capítulo 1, uma discussão das informações obtidas. A segunda seção aborda os resultados da pesquisa de campo para o primeiro eixo do modelo analítico - “SNI e a abordagem sistêmica da inovação”. A terceira seção compreende o eixo 2 do modelo analítico, que explora a governança e as inovações da política e as capacidades das organizações públicas a partir de uma abordagem evolucionária. A quarta seção apresenta a discussão sobre o eixo 3 do modelo analítico, que aborda os regimes tecnológicos e as estruturas industriais. A quinta seção apresenta a indústria que resultou das políticas. Ao fim, a conclusão do capítulo.

4.1. Metodologia da pesquisa de campo

A pesquisa de campo compreendeu a realização de entrevistas semiestruturadas, com base em roteiro com questões categorizadas nas dimensões críticas de análise, definidas no modelo analítico apresentado no capítulo 1. O roteiro de entrevista está no anexo 3.

Foi adotada a técnica de perguntas abertas. Essa estratégia de pesquisa permite maior flexibilidade à condução das entrevistas para explorar mais profundamente certos temas que surjam dos entrevistados, incentivando-os a compartilhar suas perspectivas e experiências (Hartley, 2004; Eisenhardt, 1989; Gerring, 2004).

Considerando a diversidade de atores envolvidos na política de desenvolvimento da indústria eólica, essa abordagem proporciona aos entrevistados a oportunidade de trazer novos elementos com base em suas experiências pessoais durante o período em que atuaram nas organizações selecionadas para a pesquisa. O uso de perguntas abertas teve como objetivo validar pontos relevantes das políticas e explorar novas temáticas trazidas pelos entrevistados.

O período analisado na pesquisa de campo é o mesmo já definido anteriormente na tese. Está compreendido entre o ano de 2002, data da aprovação da Lei nº 10.438/2002 que instituiu o Proinfa, e o presente momento, 2024.

Foram selecionadas as organizações e agentes mais relevantes para o processo de formulação e implementação das políticas industriais. Buscou-se identificar as pessoas que ocuparam postos-chave nessas organizações. Foram realizadas 30 entrevistas (Tabela 10). Optou-se por realizar entrevistas anônimas por solicitação de alguns dos entrevistados.

A diversidade de atores incluídos na pesquisa de campo permite abranger os diferentes subsistemas contidos na visão ampla dos sistemas de inovação: no subsistema de produção e inovação, entrevistas com as empresas da cadeia produtiva de aerogeradores e com as associações de classe; na demanda, entrevistas com os investidores em geração de energia; no subsistema de política e regulação, entrevistas com representantes das organizações responsáveis pela execução das políticas energética e industrial e com representantes do corpo de assessoria legislativa do Senado Federal e da ABDI; no subsistema de financiamento, entrevistas com funcionários do BNDES, Finep, Embrapii e representante do Programa P&D Aneel; e no subsistema de C&T e educação, entrevistas com representantes do SENAI e de universidades.

Tabela 10 – Organização das entrevistas da pesquisa de campo

	Segmento de atuação	Instituições dos entrevistados
Grupo 1 Indústria	Investidores em geração eólica	Eletrobras, Rio Energy.
	Fabricantes de aerogeradores	Vestas, GE, Gamesa, WEG, Goldwind, Envision.
	Fornecedores	Pás eólicas: Aeris, Tecsis, Sinoma. Torres e componentes: GRI, BR Metals, Bardella.
	Associações de classe	Abeeólica, Abimaq e CNI.
Grupo 2 Poder Público	Governo Federal	Política energética: MME, EPE, Aneel e MDIC. Promoção e articulação: ABDI.
	Estados	Secretaria de desenvolvimento econômico da Bahia.
	Instituições de fomento	BNDES, Finep, Embrapii. Representante do Programa P&D Aneel.
	Legislativo	Assessoria legislativa do Senado Federal.
Grupo 3 Sistema Nacional de C,T&I	Universidades, Instituições de Pesquisa e SENAI.	SENAI/RN CT-GAS ER, SENAI/BA Cimatec, Unicamp, UFSC.

As entrevistas foram transcritas e analisadas buscando identificar temas, conceitos e ideias-chave que representam os tópicos discutidos pelos entrevistados e que, em seu conjunto, permitem descrever os principais aspectos da implementação da política de desenvolvimento da indústria eólica. Nas próximas seções são discutidas as principais descobertas obtidas com a pesquisa de campo.

4.2. Análise das políticas e do SNI de energia eólica a partir da visão sistêmica

O primeiro eixo do modelo analítico contempla a abordagem sistêmica para discussão das políticas industriais e análise do SNI de energia eólica. Tem como objetivo avaliar as características gerais da política. Para isso aborda aspectos como as interações entre diferentes subsistemas; a importância da demanda e do contexto geopolítico, econômico e político para a execução das políticas; a existência ou não de uma visão de desenvolvimento orientadora da política; e se a política é formulada a partir de uma ótica local e se soluciona os problemas ou desafios de desenvolvimento a partir das capacidades locais.

Esse eixo possui cinco dimensões:

- E1.D1. Orientação das políticas aos desafios nacionais.
- E1.D2. Foco na resolução de problemas por meio de capacidades locais.
- E1.D3. Interação entre atores públicos e privados.
- E1.D4. Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas.
- E1.D5. Articulação dos diferentes subsistemas.

A seguir serão apresentadas as principais considerações acerca de cada uma dessas dimensões com base nos pontos de destaque obtidos na pesquisa de campo.

Dimensão 1 – Orientação das políticas aos desafios nacionais

A primeira dimensão avalia o enquadramento da política no contexto de um projeto nacional de desenvolvimento orientado por missões e desafios nacionais. Se a política foi capaz de articular as políticas explícitas e implícitas. Se os desafios de desenvolvimento definiram uma visão de futuro de longo prazo, que foi capaz de dar direcionalidade ao investimento e ao processo de inovação.

Nessa dimensão definiu-se “projeto nacional de desenvolvimento” como “um conjunto coordenado de políticas, estratégias e ações planejadas e implementadas pelo Estado com o objetivo de promover o crescimento econômico sustentável, reduzir as desigualdades sociais, melhorar a qualidade de vida da população e fortalecer a competitividade do país no cenário global”.

Na pesquisa de campo, o período entre 2006 e 2013 foi indicado como aquele que mais se aproximou de um projeto nacional de desenvolvimento, em especial, pelas características da política energética nesse período, que promoveu a expansão da matriz elétrica com base no mercado regulado de energia e no modelo dos leilões de energia.

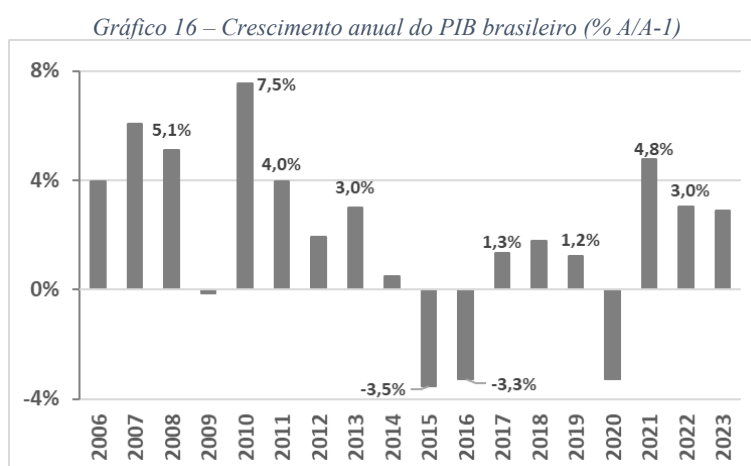
“O setor energético no Brasil é muito interessante do ponto de vista da política pública. Grande parte da energia consumida provém do mercado regulado, que tem planejamento e se expande por meio de leilões, aspectos muito favoráveis para a construção de políticas públicas nacionais e estratégicas e que permitem a associação de diferentes instrumentos de políticas, por exemplo, um modelo de financiamento baseado nos recebíveis dos contratos de energia... o que acabou gerando uma política com um certo grau de intencionalidade.”
(entrevistado 18 - instituição pública)

Adicionalmente, é importante ressaltar que essa política ocorreu em um contexto macroeconômico mais favorável ao investimento. Em primeiro lugar, o país apresentou nesses anos maiores taxas de crescimento da economia. O cenário externo favorável, caracterizado por uma elevada demanda por produtos brasileiros (“*ciclo de expansão das commodities*”), aliado ao contexto político interno após

as eleições de 2006, proporcionou ao Brasil relativa estabilidade macroeconômica durante a maior parte desse período.

*“O país foi bem mesmo durante a crise econômica global do subprime em 2008. Retomamos o crescimento já em 2010 por conta de medidas contracíclicas do governo federal de estímulo ao crescimento, que foram muito importantes.”
(entrevistado 9 - instituição pública)*

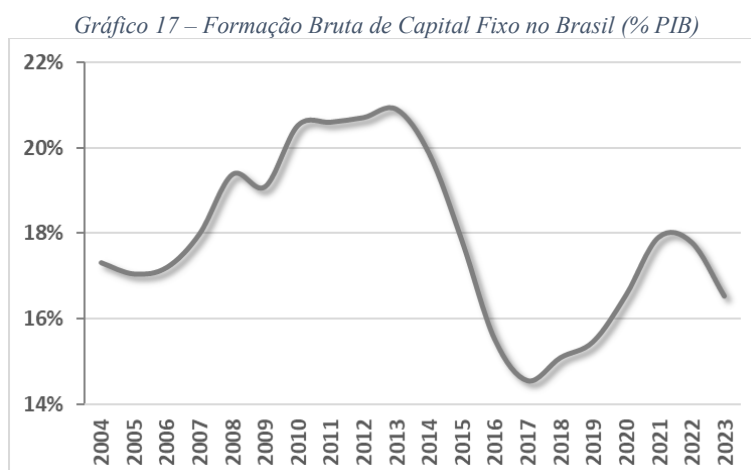
Tais considerações são corroboradas pelas estatísticas de algumas das principais variáveis macroeconômicas. O PIB apresentou crescimento consistente entre 2006 e 2013, à exceção de 2009.



Fonte: IBGE.

Na segunda metade da década de 2000, a economia brasileira foi impulsionada por três “motores” do desenvolvimento: a expansão do consumo com redistribuição de renda no mercado interno brasileiro; a expansão da demanda global por recursos naturais, especialmente com origem no leste asiático; e investimentos públicos e privados em infraestrutura (Bielchowsky, 2012).

O crescimento do PIB foi acompanhado pelo investimento, que atingiu um patamar de 21% do PIB em 2013. Após 2013, o investimento caiu drasticamente até 2017 (14,5% do PIB), recuperou-se até 2021, mas manteve-se em níveis inferiores ao período 2008-13.



Fonte: IBGE.

Miguez e Freitas (2021) analisam o comportamento do investimento no período 2000-2018, desagregando-o por setores da economia, por meio das matrizes de absorção do investimento. Encontram que o investimento da indústria de transformação se acelera no período 2003-2014. Cresce a uma taxa anual de 2,6% a.a. entre 2003-10 e 4,2% a.a. entre 2011-2014. Fora desse período o investimento da indústria de transformação decresceu¹²⁶.

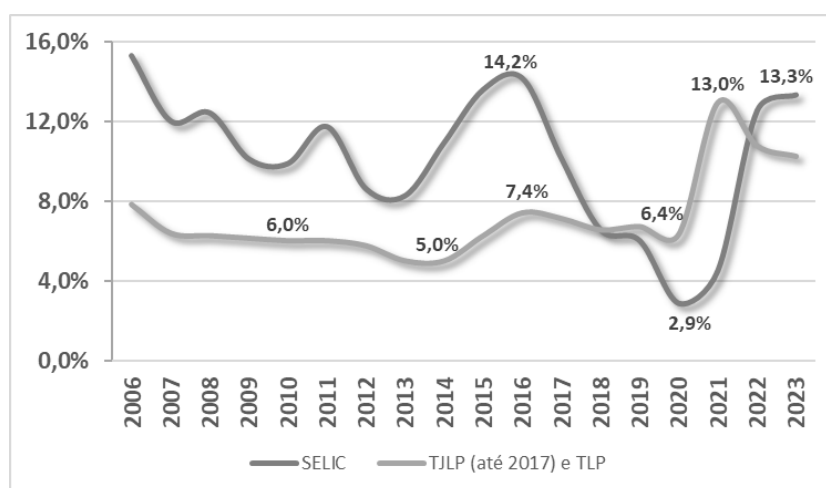
Tabela 11 – Crescimento médio anual da FBCF total das atividades, 2000-2018

	2000-2003	2003-2010	2010-2014	2014-2018	2000-2018
Indústria de transformação	-6,6%	2,6%	4,2%	-6,9%	-0,8%
Total	-3,4%	8,1%	1,3%	-7,9%	0,9%

Fonte: Miguez e Freitas (2021)

O investimento encontrava na Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) uma taxa de juros estável. A TJLP, principal taxa de juros para o financiamento público do investimento, manteve-se entre 5,0% e 6,5% a.a. no período 2006-13. Um patamar inferior à SELIC, que apresentava um comportamento mais volátil. Com a implementação da TLP, a partir de 2018, as taxas de juros de longo prazo se elevaram substancialmente. No período entre 2009 e 2015 houve, ainda, o Programa de Sustentação do Investimento (PSI) que ofertava taxas de juros inferiores à TJLP. No PSI, as taxas de financiamento à aquisição de bens de capital eram de 4,5% a 5,5% a.a.

Gráfico 18 – Taxa de Juros no Brasil (% a.a., média anual)



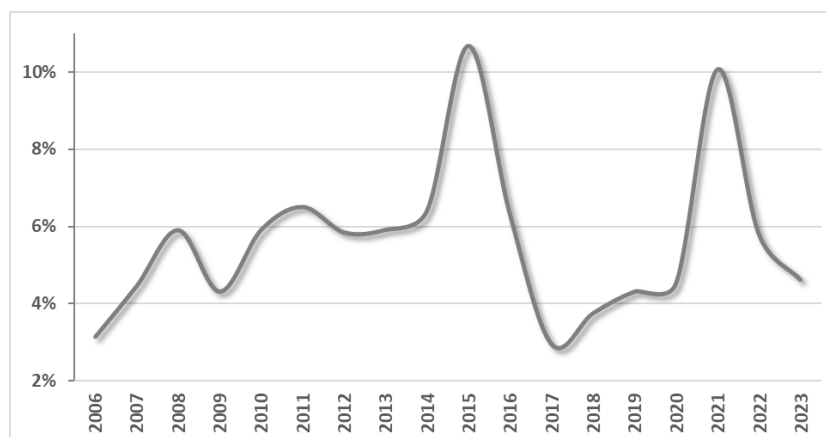
Fonte: BACEN e BNDES

A inflação manteve-se estável no período 2006-2014. A inflação anual medida pelo IPCA foi inferior a 6% a.a. até 2010 e manteve-se nesse patamar até 2014, quando se elevou fortemente, atingindo 10,7% em 2015. A crise política e econômica do biênio 2015-16, juntamente com o ajuste

¹²⁶ Miguez e Freitas (2021) demonstram, ainda, que mesmo no período de melhor desempenho (2011-14) esse crescimento do investimento da indústria de transformação se deu de forma esporádica devido ao elevado crescimento do investimento em 2011 (10,2%), seguido de menor dinamismo em 2012 e 2013. Segundo os autores “...é possível que esse desempenho fraco e errático explique, em parte, os problemas de competitividade que a indústria vem atravessando nos últimos anos”.

fiscal realizado, levou a uma forte retração na economia e a inflação recuou em 2017. Durante a pandemia do COVID-19, a inflação teve novo pico.

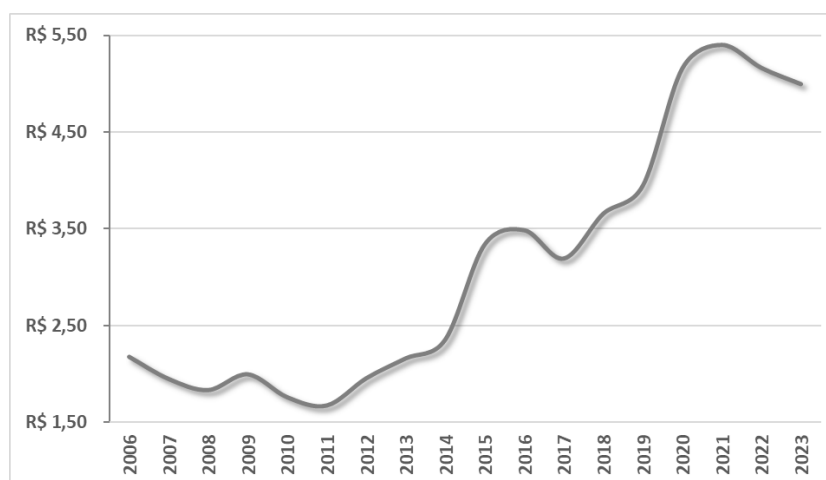
Gráfico 19 – Inflação medida pelo IPCA no Brasil (% , acumulado do ano)



Fonte: IBGE.

A taxa de câmbio manteve-se sobrevalorizada no período 2006-2014. A partir de 2014, o real inicia uma trajetória de desvalorização frente ao dólar, atingindo, em 2021, um câmbio de 5,40 R\$/USD.

Gráfico 20 – Taxa de câmbio (R\$ / USD, média anual)



Fonte: BACEN.

Pode-se argumentar que essas diferentes variáveis macroeconômicas - um crescimento consistente, embora não muito elevado, uma taxa de juros real para o financiamento ao investimento (TJLP menos inflação; PSI) estável e em níveis baixos e uma taxa de câmbio sobrevalorizada - teriam posicionado o período 2006-13 no que Coutinho (2005) argumentou ser um regime macroeconômico “semi-benigno” de desenvolvimento da atividade produtiva.

Coutinho (2005) define regimes macroeconômicos benignos para a atividade produtiva como aqueles capazes de combinar baixas taxas de juros a taxas de câmbio relativamente subvalorizadas (ou seja, condições que promovam maior valor agregado doméstico, bem como, mais estímulo às

exportações). Por outro lado, regimes macroeconômicos malignos são aqueles que combinam taxas de juros elevadas a taxas de câmbio sobrevalorizadas, prejudiciais à produção doméstica e à competitividade das exportações do país. Para o autor “...*é urgente que se formule logo – e de modo explícito – uma articulação clara entre a política macroeconômica e a construção de uma trajetória sustentada de desenvolvimento*”.

Nesse sentido, o autor argumenta que os regimes macroeconômicos semi-benignos podem abrir espaço para uma maior agregação de valor no país e para maiores efeitos das políticas industriais. Não seriam tão favoráveis à produção doméstica como os regimes macroeconômicos “benignos”, que combinam baixas taxas de juros a taxas de câmbio relativamente subvalorizadas, mas também não seriam totalmente desfavoráveis como os regimes macroeconômicos “malignos”, que teriam uma combinação oposta, com taxas de juros elevadas e câmbio sobrevalorizado.

No caso da indústria eólica, se o crescimento do PIB impulsionou a demanda por energia e os leilões fizeram parte do ciclo de investimento evidenciado na elevação da FBCF entre 2006-2010, a taxa de câmbio valorizada, por outro lado, contribuiu para fortalecer o movimento de atração de investimento estrangeiro na cadeia produtiva local.

O ponto é que o Brasil teve por alguns anos condições macroeconômicas, se não totalmente favoráveis ao desenvolvimento de uma política industrial, também não inteiramente desfavoráveis. A política (implícita) macroeconômica abriu alguns graus de liberdade para que a política (explícita) de desenvolvimento da indústria eólica tivesse impactos positivos.

Nas entrevistas, além do cenário macroeconômico discutido acima, outras políticas implícitas foram citadas. A política tributária, pela sua complexidade e elevado nível de encargos, foi citada pelas empresas como prejudicial ao desenvolvimento da indústria eólica. Já a política educacional foi apontada, por alguns entrevistados, como inadequada para o atendimento ao crescimento na demanda por profissionais especializados nos períodos de maior expansão da indústria eólica.

No setor de energia, o período 2006-13 foi o de maior importância para a realização de projetos de expansão da matriz elétrica brasileira. Grandes empreendimentos hidrelétricos foram estruturados, a exemplo dos projetos de grande porte das usinas hidrelétricas de Santo Antônio (leilão em 2007), Jirau (2008) e Belo Monte (2010).

As bases para essa expansão foram fundamentadas pela revisão do marco regulatório do setor elétrico lançado em 2004, apenas dois anos antes. Na geração eólica, os maiores volumes de energia contratada da fonte eólica por meio do Proinfa e dos leilões ocorreram nesse período¹²⁷. A criação da

¹²⁷ Os parques do Proinfa começaram a entrar em operação em 2006 e o primeiro leilão que contratou energia eólica ocorreu em 2009.

EPE e o modelo de contratação de energia com base nos leilões foram ressaltados por praticamente todos os entrevistados como elementos fundamentais nesse processo.

O primeiro Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica lançado em 2006, e elaborado para o período 2006-2015, foi citado como uma evidência de que a política definia uma visão de futuro de longo prazo. O PDE definia metas de longo prazo para a expansão da matriz. Embora tivesse um caráter indicativo e não vinculante à contratação de energia, funcionava como uma referência para as decisões de política energética do governo federal.

Nas entrevistas discutiu-se, também, se a política estava voltada a “desafios nacionais”. Desafio nacional foi definido como “uma questão ou problema de natureza econômica, social, tecnológica ou ambiental que requer uma abordagem coordenada e estratégica por parte do Estado e da sociedade para ser enfrentado e superado”.

Nesse sentido, o desafio nacional da política foi apontado como sendo, principalmente, a expansão e diversificação da matriz elétrica, com o objetivo de garantir a segurança energética após o racionamento de energia dos anos 2000-2001. Novamente, o marco regulatório de 2004, suas intervenções na reorganização das competências das instituições públicas do setor elétrico e a criação de novos instrumentos para o planejamento e contratação de energia foram apontados como evidências da existência desse desafio nacional.

A expansão da matriz elétrica deveria ocorrer, ainda, buscando a modicidade tarifária e o desenvolvimento local. Em relação à primeira, os leilões de energia foram instrumentos que viabilizaram a expansão da matriz elétrica ancorada por um processo concorrencial visando menores tarifas de energia. A busca pela redução dos custos de energia (modicidade tarifária) seria, assim, um objetivo da política explícita, que encontra um respaldo formal na existência desse instrumento.

Em relação ao segundo, o desenvolvimento local e, em especial, o desenvolvimento da indústria e o investimento em inovação, foram apontados como objetivos secundários e que ocorreram muito por conta da existência de um arranjo institucional vigente que propiciou esse desenvolvimento e não por serem um objetivo explícito da política. Ainda assim, ampla maioria dos entrevistados confirmou que a política foi capaz de dar direcionalidade ao investimento no período 2006 e 2013, tanto na geração de energia, quanto na indústria.

Alguns entrevistados apontaram que o desenvolvimento da cadeia produtiva não era um objetivo da política energética, porém foi ganhando importância no contexto da política, conforme o processo de expansão da geração eólica se desenrolou e bons resultados foram obtidos.

Em relação ao investimento em inovação, as opiniões foram contraditórias. No geral, os entrevistados do setor de energia afirmaram que a política de inovação foi errática e não era um

objetivo relevante associado à política energética. Por outro lado, os entrevistados das instituições de fomento à inovação afirmaram que sua atuação foi direcionada a aproveitar o ciclo de crescimento que transcorria no País nesse período.

Uma evidência disso é que foram estruturadas iniciativas de fomento com similaridades ao que Mazzucato (2021) chama de uma visão “orientada por missões”. Os “Programas Inovas” elaborados em parceria por Finep e BNDES foram apontados como exemplos¹²⁸. No caso do setor de energia foi estruturado o Programa Inova Energia, que contou com a participação da Aneel por meio de seu instrumento P&D Aneel.

*“A política industrial se deu apenas pela política de conteúdo local do BNDES”
(entrevistado 7 - instituição pública)*

*“A política de conteúdo local definida pelo BNDES foi praticamente o único instrumento de política industrial relevante do período e foi difícil cumprir seus requisitos”
(entrevistado 16 - empresa estrangeira)*

*“Buscamos fomentar com recursos não-reembolsáveis projetos de inovação direcionando incentivos e programas para aproveitar a expansão da energia eólica que ocorria”
(entrevistado 14 - instituição pública)*

*“Acessamos frequentemente os recursos de inovação que foram muito úteis em nossos planos de investimento”
(entrevistado 30 - empresa nacional)*

A maior disponibilidade de recursos, tanto no BNDES, quanto na Finep, também foi apontada como evidência da intencionalidade da política em alavancar o investimento em infraestrutura de energia, na indústria e em inovação.

Fora do período compreendido entre 2006 e 2013, tanto nos anos anteriores quando da realização do Proinfra, lançado em 2004, quanto nos anos posteriores, após a crise econômica e política de 2014-2016, a maioria dos entrevistados afirmou não haver evidências de um projeto de desenvolvimento que orientasse as decisões de políticas e, tampouco, um desafio nacional que mobilizasse os atores. A pandemia de COVID-19, que se iniciou na virada de 2019 para 2020, foi citada como um desafio nacional relevante do período posterior, porém sem relação direta com o setor de energia e com um impacto drástico para a sociedade, que impediria a construção de uma estratégia de desenvolvimento.

¹²⁸ Os “Programas Inovas” consistiam em chamamentos públicos de projetos realizados em parceria entre Finep, BNDES e outras instituições setoriais voltados para o apoio à inovação em temáticas específicas. A novidade desses programas é que ofereciam não apenas um instrumento (p.ex. financiamento com condições incentivadas ou subvenção), como usualmente é realizado nas chamadas públicas da subvenção econômica, mas um portfólio de produtos que era alocado de acordo com a necessidade dos projetos (subvenção econômica para empresas, não-reembolsável cooperativo ICT-empresa, crédito, participação acionária, dentre outros).

Dimensão 2 - Foco na resolução de problemas por meio das capacidades locais.

A segunda dimensão avalia se a política teve foco na resolução dos problemas por meio das capacidades locais. Para isso, deve ser analisado se a política teve um caráter específico que leva em conta a territorialidade e o arranjo institucional local. A política deve incorporar em sua formulação a análise das características desse arranjo institucional e do SNI, incentivando a participação ativa dos diferentes atores na resolução dos problemas. Essa avaliação deve considerar, ainda, se a política tinha como objetivo o desenvolvimento regional, inclusivo e com equidade e se, para isso, promoveu maior representação da sociedade civil na política (“poder compensatório”).

O principal “problema” no período inicial da política a ser resolvido era o de viabilizar um novo ciclo de expansão de energia que garantisse a segurança energética. O novo modelo do setor elétrico, estabelecido pela revisão do marco regulatório em 2004 com esse objetivo, foi estruturado aproveitando as capacidades já existentes no setor elétrico brasileiro.

Tolmasquim (2011) afirma que o novo marco tinha o “... *objetivo de não ‘revolucionar’ totalmente a legislação do setor elétrico*” e, por conta disso, optou-se por realizar alterações legislativas somente onde necessário (Tolmasquim, 2011, p.25). Afirma, ainda, que esse processo contou com ampla participação dos diversos atores públicos e privados do setor de energia, que compreendiam, naquele momento, a importância de uma repactuação do marco regulatório para o futuro desenvolvimento do setor elétrico.

Tal afirmação foi corroborada pelos entrevistados. De uma maneira geral, confirmaram a ampla participação dos atores no processo de discussão que fundou o novo modelo do setor elétrico. Todavia, também afirmaram que a implementação do novo marco legal em um espaço curto de tempo, só foi possível pela crise de racionamento de 2001.

“Havia visões e abordagens distintas na discussão da mudança do marco legal. Um grupo defendia o modelo de comprador único, representado pela Eletrobras. Outro defendia uma modelo de contratação multilateral. Não havia tempo para o impasse, acabou se recomendando à ministra o modelo multilateral. Ambos aproveitavam as capacidades locais do sistema elétrico, mas o segundo nos pareceu mais adequado naquele momento.”
(entrevistado 20 - instituição pública)¹²⁹

Destacaram, ainda, as capacidades existentes nas instituições públicas e privadas do setor elétrico que foram relevantes para colocar em movimento os mecanismos de políticas e viabilizar a expansão nos anos seguintes. Como abordado no capítulo 3, o desconhecimento sobre as potencialidades da energia eólica no país era uma barreira relevante para a sua inserção na matriz elétrica.

¹²⁹ Para mais detalhes sobre esse processo recomenda-se Tolmasquim (2011).

*“O Proinfa foi fundamental para demonstrar a viabilidade da geração eólica no Brasil. Conhecíamos pouco o potencial de geração eólica e menos ainda sabíamos como dar escala a ela.”
(entrevistado 26 - instituição pública)*

A modelagem do Proinfa e, principalmente, dos leilões aproximou as instituições públicas que operacionalizam a política energética (MME, EPE, Aneel) das instituições de financiamento, em especial, o BNDES. As capacidades existentes nessas instituições foram amplamente utilizadas na resolução dos problemas que surgiam na esfera da política energética e do adensamento produtivo, por exemplo, para a modelagem dos contratos de fornecimento de energia e o financiamento dos projetos.

Como definir o preço-teto dos leilões? Qual o nível de geração de energia e, portanto, de receitas esperadas nesses projetos? A partir disso, qual o nível de alavancagem do financiamento pode ser considerado na concessão do crédito? E qual o impacto disso na capacidade de atração de recursos dos investidores? Como mitigar esses riscos por meio da complementação de garantias além dos recebíveis dos contratos de compra e venda de energia (PPA)? Essas são algumas das muitas questões que foram enfrentadas.

Um preço-teto desnecessariamente elevado vai contra o objetivo de modicidade tarifária. Por outro lado, um preço de energia mais elevado é necessário para viabilizar os projetos. Preços mais elevados de energia permitem que os projetos tenham maior capacidade de pagamento junto aos financiamentos. Ponderar entre esses objetivos e definir as condições dos leilões é tão mais difícil quanto menor o histórico de projetos apoiados de determinada fonte. No caso da eólica muitas dessas questões eram, simplesmente, desconhecidas. A construção dos modelos de contratos dos leilões e dos financiamentos se ancorou nas capacidades existentes nas instituições públicas.

*“Houve um trabalho muito intenso de modelagem dos contratos de energia e dos contratos de financiamento, que se influenciavam mutuamente. Uma tarefa de grande complexidade e incerteza. As capacidades presentes no sistema elétrico e no BNDES foram fundamentais. Criou-se uma verdadeira “alfaitaria” dos contratos.”
(entrevistado 2 - instituição de representação)*

*“O BNDES impunha condições muito restritas de financiamento. Pedia muitas garantias que dificultavam o acesso ao financiamento e a viabilidade de muitos bons projetos. O processo foi positivo, mas poderia ter uma curva de aprendizado mais rápida.”
(entrevistado 22 - indústria eólica)*

A entrada do BNDES como principal agente financiador foi importante, não apenas pela sua experiência na estruturação de financiamentos aos projetos de geração de energia, mas também pela

robustez do balanço patrimonial dessa instituição e a diversificação de sua carteira de crédito. Ambos os aspectos permitiram à instituição apoiar o ciclo de investimento em energia, sem prejudicar sua sustentabilidade financeira.

As entrevistas confirmaram que esse processo foi realizado com a participação dos agentes privados, tanto do setor de energia, quanto da indústria. Isso porque, ao financiar os projetos de geração, o BNDES exige a aquisição de equipamentos fabricados no país, como já discutido anteriormente. A combinação entre política energética e industrial decorre da associação entre o financiamento do BNDES e a regra de conteúdo local da Finame.

A participação das empresas foi fundamental para o desenho das regras de credenciamento no BNDES, que definiam as contrapartidas de conteúdo local. Destacam-se as empresas fabricantes de aerogeradores, da base metalmeccânica e do segmento de pás eólicas já estabelecidas no País, assim como, a participação de associações de representação empresarial como a Abimaq, Abeecólica e a CNI. As capacidades existentes na indústria brasileira e a avaliação sobre essas capacidades foram referências centrais para a definição da política de conteúdo local no BNDES.

“Interagimos muito com as equipes do BNDES no processo de construção da política setorial do credenciamento. Algumas exigências poderiam ter sido maiores para viabilizar um adensamento produtivo mais robusto.”
(entrevistado 3 - instituição de representação)

“O desenho da política de credenciamento teve uma participação da indústria. Foi um processo complexo que tinha que balancear diferentes visões. Os investidores de energia estavam receosos com as exigências, assim como as fabricantes estrangeiras de aerogeradores, mas a participação foi ampla e todos foram ouvidos. No final, creio que chegou a um bom termo para todas as partes.”
(entrevistado 10 - instituição pública)

Outra questão explorada nas entrevistas diz respeito aos objetivos de desenvolvimento regional. Os entrevistados não apontaram que esse era um objetivo da política energética. Tanto o Proinfa, como os leilões e o mercado livre, não diferenciaram condições ou deram incentivos para os projetos de acordo com a sua localização.

“A política energética não pensava em desenvolvimento regional diretamente. A preocupação estava em expandir a geração e diversificar a matriz elétrica. Mas todo projeto de energia gera desenvolvimento local, junto a impactos ambientais. No caso da eólica os ventos estão nas regiões sul e nordeste. Seria importante ter uma investigação dos impactos positivos e negativos gerados nessas regiões.”
(entrevistado 9 - instituição pública)

Embora o vetor regional não tenha sido um dos eixos da política eólica, alguns instrumentos e instituições voltados ao desenvolvimento regional podem ser destacados. Em primeiro lugar, no subsistema de financiamento, a presença do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), que provê recursos para o Banco do Nordeste do Brasil (BNB), disponibiliza *funding* com condições diferenciadas para o financiamento a projetos na região Nordeste do Brasil.

O BNDES, por outro lado, não diferenciou as condições de apoio aos parques de geração eólica de acordo com sua localização, embora tenha disponibilizado linha de crédito para os investimentos sociais de empresas (linha ISE) com condições incentivadas. Todavia, o volume de recursos alocado por meio desse mecanismo foi pouco significativo¹³⁰.

Outra instituição voltada ao desenvolvimento regional citada nas entrevistas foi a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Os incentivos disponibilizados pela SUDENE (p.ex. redução do imposto de renda de pessoa jurídica - IRPJ) ajudaram a viabilizar projetos de geração eólica, segundo alguns dos entrevistados, e contribuíram para a atração de investimento em plantas produtivas para os complexos industriais e portuários de Camaçari/BA (ex. Alstom, Tecsis, Goldwind, Sinoma), Suape/PE (ex. Gestamp/Iraeta) e Pecém/RN (ex. Aeris). O investimento em geração eólica no Nordeste incentivou um movimento de atração do investimento da indústria para essa região também pelos elevados custos logísticos dos componentes dos aerogeradores. Os incentivos citados fortaleceram esse processo.

Outro elemento do desenvolvimento regional tem relação com o arrendamento das terras para implantação dos parques eólicos, citado por dois entrevistados como uma fonte de renda para municípios de menor nível de desenvolvimento na região nordeste, em especial, nos parques estabelecidos no interior da Bahia.

*“O baixo custo do arrendamento de terras no Nordeste impulsionou a geração eólica, mas as arrecadações geradas muitas vezes foram mal aproveitadas por falta de capacidade do poder executivo nos municípios dessas regiões.”
(entrevistado 17 - instituição pública estadual)*

Por fim, cabem algumas considerações sobre as questões relativas ao desenvolvimento inclusivo e com equidade. No nível mais alto da política (leilões, regras de financiamento e política de conteúdo

¹³⁰ Por um período, exigiu-se que um percentual do investimento total financiado pelo BNDES em grandes empreendimentos de quaisquer setores (com investimentos superiores a R\$ 100 milhões), tivesse como contrapartida o apoio a investimentos sociais pela linha ISE (0,5% do investimento total dos projetos). Como os investimentos em geração eólica ocorreram, principalmente, nas Regiões Nordeste (litoral norte dessa região e no interior da Bahia) e na Região Sul, esse mecanismo foi capaz de direcionar recursos para investimentos sociais nessas regiões. Ao longo de sua atuação no segmento de geração eólica, o BNDES financiou mais de 165 projetos sociais que tiveram um apoio próximo a R\$ 200 milhões em temas como o da inclusão produtiva, saneamento, saúde, educação e cultura.

local) não foram identificados elementos que indicassem foco nessas questões, de forma que a geração de emprego em regiões pouco desenvolvidas seria o único vetor para tais objetivos.

Outro entrevistado citou que o desenvolvimento regional muitas vezes teve um papel de “construção de narrativa” para a manutenção de subsídios na Região Nordeste e como instrumento de pressão política na negociação por orçamento junto ao governo federal e ao Congresso Nacional.

A respeito da inclusão das classes desfavorecidas e os trabalhadores no processo de construção das políticas (“poder compensatório”), não foi apontado nenhum mecanismo nas principais instituições públicas executoras das políticas que contemplasse maior participação. Tampouco foi identificado medidas com essa finalidade no âmbito da política energética. Nas políticas industriais, todavia, representantes dos trabalhadores tinham assento em alguns dos comitês da PDP e, em especial, do PBM. Não foi possível aprofundar o efeito da participação de representantes dos trabalhadores nesses comitês junto aos entrevistados.

Dimensão 3 - Interação entre atores públicos e privados.

A terceira dimensão avalia a interação entre atores públicos e privados. Se a política foi capaz de promover a cooperação entre os diversos atores públicos e privados. Se mobilizou atores críticos e fortaleceu as relações e vínculos entre esses. Se a política foi capaz de mediar e mitigar conflitos entre os diferentes atores, criando compromissos de longo prazo nas estruturas produtivas e fortalecendo os vínculos produtivos nos subsistemas de produção e inovação. E se a política promoveu novas capacidades para lidar com esses conflitos (“poder administrativo”).

Uma das formas de cooperação que foi essencial para a estruturação das políticas foi a aproximação entre as instituições da política energética (MME, EPE e Aneel) e as instituições de financiamento (BNDES). O desenho do Proinfa e dos leilões considerou as condições das fontes de financiamento na sua modelagem. A cooperação entre instituições públicas foi, assim, um pilar da construção da política frequentemente citado nas entrevistas.

“Havia um ambiente de muita confiança entre as pessoas nas instituições públicas. Isso permitiu resolvermos de maneira célere os problemas complexos que apareciam.”
(entrevistado 6 - instituição pública)

“A ideia de centralizar o Proinfa na Eletrobras teve muito a ver com a interação do BNDES com o MME. Falávamos com o ministério da importância de ter um recebível de qualidade, tínhamos muita preocupação com isso para viabilizar o financiamento em uma atividade que desconhecíamos até então. Precisávamos de um bom risco de crédito.”
(entrevistado 9 - instituição pública)

O mesmo ocorreu na relação entre o BNDES e os agentes privados para o desenho da política de conteúdo local. O mapeamento das capacidades locais da indústria orientou as exigências possíveis de serem incorporadas no credenciamento da Finame. No que tange tanto o desenho do Proinfa e dos leilões, quanto a definição das regras de nacionalização, a política foi capaz de mobilizar atores públicos e privados e incentivar a cooperação entre eles.

Essa capacidade de mobilização decorre da “potência” dos instrumentos utilizados e do contexto de expansão do setor elétrico que propiciava a mobilização dos agentes. No caso do Proinfa e dos leilões, o volume de demanda era expressivo e a principal razão para mobilizar os diferentes agentes. Em relação ao financiamento, tinha-se a percepção de que a disponibilidade do crédito era variável essencial para a viabilidade dos projetos, o que mobilizou os agentes públicos, na discussão das condições das linhas de financiamento, e privados, para a avaliação da viabilidade financeira dos projetos. As condições incentivadas que disponibilizaram um diferencial de taxas de juros (TJLP e PSI vs. SELIC) e maiores prazos (linhas do BNDES com prazos de até 20-25 anos vs. mercado livre e mercado de capitais com prazos entre 5-7 anos) aumentavam a capacidade de mobilização dos investidores de energia e da cadeia produtiva pelo BNDES.

*“Os leilões e o financiamento a taxas de juros incentivadas do BNDES mobilizaram fortemente os investidores de energia. Estávamos entre Brasília e Rio a cada semana para discutir a viabilidade dos projetos com as equipes do BNDES e do MME.”
(entrevistado 22 - indústria eólica)*

*“Havia um ambiente de perspectiva de volume previsível de demanda que viabilizou o negócio e conseguimos atrair investidores na cadeia produtiva para atender as regras de nacionalização.”
(entrevistado 25 - fabricante de aerogerador)*

*“Nos períodos de maior crescimento da demanda foi possível ter maior previsibilidade. Trabalhamos muito proximamente das equipes de suprimentos das OEMs, que nos passavam a programação de produção. Chegamos a ter visibilidade de mais de um ano de encomendas. Mas nem sempre é possível se a OEM não estiver com boa carteira de projetos.”
(entrevistado 11 - fornecedor)*

Nesta dimensão avalia-se, também, as formas como a política incentivou a cooperação entre os agentes privados na estrutura produtiva e de que forma fortaleceu os vínculos entre eles. Os contratos de compra e venda de energia são realizados com um horizonte de tempo longo (20 anos). Proveem um fluxo de receitas que é, inclusive, corrigido por índices de inflação, mitigando o risco de deterioração dessas receitas no tempo. Além disso, os leilões são realizados com um prazo definido

para o início do fornecimento de energia. Leilões A-3 (“A” menos 3) exigem que a geração de energia esteja operacional em até 3 anos, A-5 em 5 anos e assim sucessivamente.

No início do período de realização dos leilões até 2015, os prazos exigidos para entrada em operação dos parques eólicos eram 3 ou 5 anos (leilões A-3 e A-5). Nos leilões de 2017 a 2019, os prazos para entrega de energia foram alongados para 4 e 6 anos. Essa característica dos contratos propicia um horizonte definido para a fabricação dos aerogeradores. Permite uma melhor organização da programação da produção na indústria.

No período entre 2009 e 2013, ocorreram leilões sucessivos e com uma demanda crescente. Isto significava para a indústria um horizonte com maior previsibilidade quanto ao nível da demanda no médio prazo, uma componente importante para a tomada de decisão de investimento em implantação fabril e que é essencial para o planejamento da expansão da capacidade produtiva futura.

Além disso, o BNDES lança, em 2012, a Nova Metodologia de Credenciamento (NMCA), que definiu exigências de conteúdo local para toda a cadeia produtiva. Na nova metodologia, como já discutido, foram estabelecidos prazos para a localização gradual das diferentes etapas produtivas dos aerogeradores e seus componentes.

A soma de leilões com prazos definidos para o fornecimento da energia e uma demanda por aerogeradores crescente e com regras graduais de nacionalização, também com marcos bem definidos, teve o efeito de estabelecer um regime de menor incerteza para os fabricantes de aerogeradores e sua cadeia produtiva. Esta lógica foi citada pelos fabricantes de aerogeradores nas entrevistas como uma das principais razões para justificar a tomada de decisão de implantação fabril no país.

A demanda crescente dos leilões permitiu que os investidores dos parques eólicos realizassem encomendas de maior escala junto aos fabricantes de aerogeradores e contratos de maior duração. Com a maior previsibilidade sobre a demanda de aerogeradores, os fabricantes puderam replicar essas condições para seus fornecedores. Assim, criou-se um ambiente de menor incerteza quanto à demanda também em relação aos componentes dos aerogeradores ao longo da cadeia produtiva.

Esse mecanismo de transmissão na cadeia produtiva ajudou na atração de investimento nos elos inferiores da cadeia de fornecedores. Em alguns casos, nos períodos de demanda mais aquecida, a forma de contrato de fornecimento de componentes foi aprimorada. Os fabricantes de aerogeradores passaram a “comprar capacidade de produção” dos fornecedores em vez de encomendar determinado número/volume de itens. Assim, reservavam determinada capacidade de produção do fornecedor para atendê-los exclusivamente. Esses modelos de contratação são uma evidência da cooperação na cadeia produtiva e reduzem sensivelmente a incerteza de mercado/demanda para os fornecedores.

Essas considerações permitem constatar que a política teve a capacidade de mobilizar os principais atores críticos (públicos e privados) para a estruturação dos diferentes instrumentos e para colocar a política em andamento e incentivou a cooperação na cadeia produtiva.

Importante também analisar os conflitos existentes no ambiente da política. Alguns foram citados nas entrevistas. O primeiro deles entre as diferentes fontes de energia. Do ponto de vista das instituições executoras da política energética esse era um dos maiores conflitos existentes. Em geral, a política energética assume uma posição neutra quanto às fontes de energia, visando perseguir a modicidade tarifária por meio da contratação da alternativa de menor preço disponível. Em grande parte dos leilões de energia nova (LEN), as diferentes fontes concorriam pela demanda de energia.

“Uma das barreiras mais relevantes para as novas energias serem inseridas na política energética são seus maiores custos. É difícil justificar junto à sociedade o direcionamento da demanda por energia para fontes que levarão a um preço de energia mais elevado. Os grupos que representam as demais fontes concorrentes se mobilizam e fazem pressão. Essa foi uma barreira importante para a eólica no seu início. Mas é importante que a política tenha essa flexibilidade para viabilizar a diversificação da matriz elétrica.”
(entrevistado 18 - instituição pública)

Em alguns momentos específicos abriram-se janelas de oportunidade para o fomento à geração eólica. Esse foi o caso do 2º Leilão de Energia de Reserva de 2009, organizado exclusivamente para a contratação e geração eólica. Percebia-se, naquele momento, a importância de impulsionar essa fonte, que já tinha sua viabilidade atestada pelo Proinfa. A diversificação da matriz elétrica era considerada relevante para os objetivos de segurança energética. O risco mais elevado de falta de energia em 2008 contribuiu para a realização desse leilão. O MME tinha experiência na realização de leilões exclusivos, pois já havia realizado leilões específicos anteriormente, por exemplo, para os projetos estruturantes das grandes hidrelétricas.

Outro conflito citado ocorreu na definição da modelagem dos leilões e era relacionado ao nível do preço-teto dos primeiros leilões. Desconhecia-se, como já apontado, o potencial da energia eólica no Brasil. O Proinfa, embora tenha alcançado sucesso em contratar 1,4GW em geração eólica, definiu um preço fixo de contratação. Era uma referência para a definição do preço-teto dos leilões, mas os agentes públicos sabiam que, possivelmente, representava um preço mais elevado do que o necessário para viabilizar os projetos.

Do ponto de vista da modicidade tarifária, estabelecer um preço-teto mais baixo nos leilões seria mais conveniente para as instituições organizadoras do leilão (MME). Todavia, um preço mais baixo pode dificultar a estruturação dos financiamentos aos parques de geração eólica. Isso porque havia

outros riscos envolvidos e pouco conhecidos pelas instituições financeiras, a exemplo do desconhecimento sobre o regime de ventos e seu potencial de manter determinado nível de receitas.

“Na modelagem dos leilões havia visões contraditórias entre BNDES e MME. Enquanto o MME tinha uma visão de modicidade tarifária e visava modelar o contrato para reduzir preços de energia, o BNDES tinha uma visão de alavancagem do projeto, isto é, como aumentar a financiabilidade dos projetos.”
(entrevistado 6 - instituição pública)

“Usamos como referência para os financiamentos a produção média esperada de energia P90¹³¹, que nos dava mais segurança sobre a capacidade de geração dos projetos eólicos em um momento em que a geração eólica estava se estabelecendo no país, mas isso reduz a alavancagem financeira dos projetos e seleciona um grupo menor de projetos viáveis. Se os preços dos leilões fossem muito baixos seria ainda mais difícil financiar esses projetos.”
(entrevistado 9 - instituição pública)

Sendo assim, um dos conflitos existentes, entre as instituições financeiras e as instituições executoras da política energética, foi a que envolveu a definição do preço-teto dos leilões frente as demais condições de financiamento que tornassem viáveis os projetos de geração eólica nos leilões. Conflitos como esse foram mediados no ambiente da política e internamente às instituições públicas.

Outro importante conflito tinha relação com a política de conteúdo local do BNDES. Ao definir os requisitos de nacionalização, a indústria possuía posições muito distintas em seus diferentes segmentos e entre empresas. Empresas nacionais tinham uma posição mais favorável às exigências de nacionalização. Empresas multinacionais já estabelecidas no país concordavam com essa política, mas adotavam uma posição mais dura na negociação e buscavam discutir item a item a possibilidade de nacionalização dos componentes dos aerogeradores. Já as empresas multinacionais sem presença no país, assumiam, no geral, uma posição contrária à política de conteúdo local. Investidores em energia também tinham uma posição contrária à política de conteúdo local.

Um mecanismo de mediação e mitigação desse conflito adotado pelo BNDES foi o de consultar um amplo espectro de agentes da indústria eólica, da cadeia produtiva, entre os geradores de energia, fabricantes de aerogeradores, possíveis entrantes já estabelecidos no país e associações de classe. Outro mecanismo foi o estabelecimento de uma regra geral (NMCA) em substituição à regra individual dos Planos de Nacionalização Progressiva (PNPi's).

¹³¹ Nos financiamentos a projetos (“project finance”), as receitas da geração de energia constituem as garantias dos financiamentos. Uma das métricas utilizadas para modelar os financiamentos dos parques eólicos é a estimativa da produção média esperada de energia com base em probabilidade de atingimento dessa produção, essa métrica é conhecida como “P50” ou “P90”. Na prática, essas referências indicam que determinado parque eólico vai atingir ou exceder certo volume de energia com uma probabilidade de 50% ou 90% e, portanto, vai ter esse nível de receitas.

Outro conflito indicado pelos entrevistados tem relação com as diferentes visões existentes nas instituições do governo federal. Enquanto nas instituições responsáveis pela política energética prevalecia uma visão de modicidade tarifária e de segurança energética, em outras instituições mais envolvidas com as políticas industriais (PITCE, PDP e PBM) havia maior disposição em implementar contrapartidas direcionadas ao desenvolvimento da indústria e da inovação.

Essas políticas contavam com fóruns onde essas questões eram discutidas, como o Comitê de Eólica do PBM. No entanto, o próprio comitê não detinha autoridade para mediar os conflitos e fazer valer as decisões tomadas junto aos diferentes ministérios envolvidos. Na prática, as posições das instituições responsáveis pela política energética costumavam prevalecer em situações sem consenso.

*“A política industrial, para resolver essas questões, poderia ter sido centralizada na Casa Civil. Faltou mediação e poder de decisão no âmbito da política industrial”
(entrevistado 18 - instituição pública)*

Outro aspecto avaliado nessa dimensão diz respeito à constituição de novas capacidades para lidar com esses conflitos. No referencial teórico uma das formas discutidas é a do conceito de “poder administrativo”. Um exemplo de mecanismo desse tipo tem relação com a capacidade de obter informações junto aos agentes privados, organizá-las, interpretá-las e disseminá-las junto a outros agentes públicos.

No âmbito da política, o extenso mapeamento realizado pela ABDI sobre a cadeia produtiva de aerogeradores pode ser citado como um exemplo de medida desse tipo, que contribuiu para disseminar informações entre as instituições públicas e os diversos agentes privados.

O “Mapeamento da cadeia produtiva eólica no Brasil” foi realizado em 2014, em um período em que grande parte da cadeia produtiva já estava consolidada. As entrevistas apontaram que a visão abrangente dada por esse mapeamento sobre a cadeia produtiva, trouxe benefícios para os tomadores de decisão da política sobre eventuais revisões ou adaptações nas condições das políticas, e auxiliou fabricantes, investidores em energia e fornecedores de componentes a identificar possíveis parceiros na indústria. Tal iniciativa, todavia, não pôde ser utilizada pelo BNDES na estruturação da nova metodologia de credenciamento de aerogeradores (NMCA), que foi lançada em 2012. Além disso, o mapeamento não teve uma rotina de atualização, o que foi feito apenas eventualmente e de forma parcial posteriormente.

Outra medida que pode ser citada como constituição de poder administrativo é o próprio cadastro de fornecedores informatizado (CFI) do BNDES. Ao credenciar os aerogeradores, os seus fabricantes indicam as empresas de quem poderiam adquirir seus componentes no caso da NCMA. Essas

informações permitem ao BNDES ter uma visão única da situação da cadeia produtiva, que o ajudou a tomar as decisões de revisão das regras de credenciamento.

Por meio do cruzamento de informações de diferentes fabricantes de aerogeradores credenciados no CFI foi possível identificar, por exemplo, que a exigência de nacionalização de alguns componentes eram gargalos relevantes para a expansão da capacidade produtiva local de aerogeradores. Em determinados itens exigidos pela política de conteúdo local do BNDES apenas um ou dois fornecedores se desenvolveram o suficiente para atender a demanda e essas empresas forneciam para todos os fabricantes de aerogeradores estabelecidos no país.

A partir disso, foram realizadas iniciativas de fomento direcionado a viabilizar a expansão da capacidade de produção desses gargalos, por exemplo, por meio do financiamento a esses fornecedores. O insucesso em algumas dessas iniciativas foi um dos fatores avaliados pelo BNDES nas revisões das regras de credenciamento, retirando determinadas exigências de nacionalização nesses gargalos produtivos ou substituindo essas exigências por outras voltadas às rotas que apresentavam um melhor desenvolvimento.

Cabe ressaltar que os aerogeradores credenciados podem ser consultados pelo público no próprio site do BNDES, ficando disponível para as demais instituições públicas e agentes privados da indústria. As informações sobre os componentes, todavia, são sigilosas, pois fazem parte das estratégias adotadas pelos fabricantes de aerogeradores junto a suas cadeias de suprimentos.

As regras de nacionalização do CFI servem também como um exemplo de medida reativa (*“reactive measures of conflict management”*) e preventiva (*“anticipatory measures of conflict management”*) de gestão de conflitos. Ao anunciar a NMCA, que previa uma regra geral para toda a indústria, com um cronograma de nacionalização definido para o cumprimento de etapas em anos sucessivos, pode-se dizer que essa seria uma medida preventiva de gestão de conflitos.

Ao definir as regras para toda a indústria em um processo que contou com a participação de muitos agentes e que foi amplamente divulgado, as contrapartidas de nacionalização ajudaram a coordenar as expectativas dos diversos agentes e definir uma rota de desenvolvimento da cadeia produtiva, que foi entendida como uma estratégia coerente pela própria indústria eólica como um todo. Isso ajudou a mediar e mitigar os conflitos existentes nas escolhas que foram feitas no estabelecimento da política.

As revisões da metodologia de credenciamento, por sua vez, são um exemplo de medida reativa de gestão de conflitos. Como citado, em determinados momentos surgiram gargalos produtivos relevantes e que não puderam ser superados com outras medidas da política. Em alguns casos os custos desses componentes para os fabricantes de aerogeradores se elevaram significativamente. A revisão das regras e a flexibilização da exigência de nacionalização desses componentes de

elevadíssimos custos permitiu distensionar os conflitos presentes na cadeia produtiva em momentos críticos.

*“Alguns poucos fornecedores usaram a regra de nacionalização do BNDES para assumir o monopólio do mercado nacional de alguns componentes cobrando preços até 3x o valor do mesmo componente importado. A flexibilização da regra era necessária para mantermos o negócio rodando sem prejuízos.”
(entrevistado 25 - fabricante de aerogerador)*

Por fim, é importante ressaltar os momentos em que as medidas de gestão de conflitos não foram adequadas ou inexisteram. Um exemplo ocorreu nos anos de 2017 e 2018. A queda na demanda dos leilões, que já era esperada pela indústria e tinha relação com a crise econômica dos anos anteriores, fez com que alguns fabricantes antecipassem a nacionalização de aerogeradores de maior potência nominal para credenciá-los no BNDES e ofertá-los aos investidores de energia. Isto porque, maiores potências dão maior competitividade a esses equipamentos e aos investidores nos leilões de energia, uma vez que a razão MW/investimento (ou MWh/investimento) é superior à dos aerogeradores de menor potência.

Os fabricantes, ao adotarem essa estratégia, buscavam absorver a maior parcela possível da demanda cadente dos leilões de forma a manter suas capacidades instaladas com um nível mínimo de ocupação. Até 2019, o mercado livre ainda não tinha ganhado tração para ocupar a capacidade produtiva que não seria absorvida pela demanda dos leilões. A queda da demanda dos leilões representava para os fabricantes de aerogeradores uma queda nas suas encomendas.

Pode-se dizer que a opção em acelerar a nacionalização de aerogeradores de maior potência nominal foi uma estratégia defensiva dos fabricantes de aerogeradores visando evitar prejuízos pelos seus elevados custos fixos decorrentes do recente ciclo de investimento em implantação de novas capacidades industriais no país dos anos anteriores.

Essa estratégia teve um impacto positivo e outro negativo na indústria eólica. Por um lado, elevou a potência média dos aerogeradores comercializados no país e ajudou na redução dos custos de investimento dos empreendimentos de geração eólica (R\$/KW) (EPE, 2020). Por outro lado, o processo de nacionalização de aerogeradores é custoso, demanda certificação e homologação de fornecedores que irão produzir os componentes no país, treinamento desses fornecedores e sua mão de obra, dentre outros custos. Em um cenário de queda na demanda por aerogeradores no curto prazo, antecipar a nacionalização e reduzir os ciclos de vida dos aerogeradores comercializados localmente, aumentam custos para os fabricantes.

Esse foi um conflito relevante entre os fabricantes de aerogeradores, onde a maior concorrência pela demanda em queda, levou à redução das margens de alguns fabricantes ou mesmo a prejuízos. Não foram identificadas nas entrevistas medidas no âmbito da política voltadas à gestão desses conflitos no período 2017-19. Essa dinâmica contribuiu para que alguns fabricantes encerrassem suas atividades no país e o mercado se concentrasse em alguns poucos fabricantes de aerogeradores.

“A indústria precisa de plataformas tecnológicas mais estabilizadas para amortizar os investimentos realizados aqui e no exterior. Uma concorrência que leve a lançamentos de novos aerogeradores de maior potência em ciclos muito curtos, impacta muito nos resultados de nossas operações. Não somos uma indústria de consumo de massa como o automotivo que permite o lançamento de novos modelos de veículos em ciclos cada vez mais curtos.” (entrevistado 22 - indústria eólica)

O atual momento de queda na demanda por aerogeradores no mercado livre, que tem na concorrência com a importação de painéis fotovoltaicos fabricados no leste asiático sua principal causa, precisa de medidas urgentes de mitigação de conflitos que impeçam a desmobilização da cadeia produtiva. Nesse momento, o governo federal vem estudando medidas para evitar isso.

Dimensão 4 - Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas.

A quarta dimensão aborda o aprendizado coletivo e as capacidades dinâmicas. Avalia se a política estimulou o aprendizado e a capacitação dos atores do SNI e impulsionou a criação e a disseminação do conhecimento entre esses atores. Se foi efetiva em promover o acúmulo de competências e capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas e de inovação. Se incentivou o transbordamento desse aprendizado para outras atividades e indústrias.

A capacidade da política de direcionar demanda para a cadeia produtiva e o perfil dessa demanda, mais previsível no tempo e crescente em alguns anos, tiveram o efeito de incentivar os investimentos nos parques eólicos e na cadeia produtiva. Como discutido na dimensão anterior, criou um regime de menos incertezas, que alavancou o investimento e possibilitou fortalecer os vínculos produtivos entre fabricantes e fornecedores. Os prazos mais longos das encomendas de componentes e as mudanças nas formas de contratação dos fornecedores são evidências encontradas na pesquisa de campo.

Para avaliar se essa dinâmica foi capaz de estimular o aprendizado nos diferentes subsistemas e, em especial, no subsistema de produção e inovação, é importante, primeiro, visitar algumas das considerações discutidas no referencial teórico sobre as relações entre os processos de aprendizado e as estruturas produtivas.

O aprendizado possui um caráter coletivo, cumulativo e está enraizado nas estruturas produtivas. Envolve constantes mudanças nas capacidades das firmas, nas configurações dos processos produtivos e nos fluxos de informação e conhecimento entre os agentes, que impactam os investimentos em novos materiais e equipamentos, mas também nas relações de fornecimento e cooperação entre esses agentes. Essas mudanças são interdependentes e demandam a reconfiguração das rotinas das empresas. As inovações e o aprendizado dificilmente existem de maneira isolada. A geração de conhecimento e a inovação são entendidos como um processo endógeno às atividades das empresas e dos sistemas produtivos e está presente nas redes de fornecimento e cooperação que são estabelecidas. À luz dessa perspectiva é possível elaborar algumas considerações acerca do processo de desenvolvimento da indústria eólica e da política industrial.

A política teve grande capacidade de atração de investimento no elo da cadeia produtiva dos fabricantes de aerogeradores. O Brasil possuía duas empresas de destaque na cadeia produtiva de aerogeradores antes do início do ciclo de investimentos em energia eólica a partir do Proinfa, a Wobben Windpower Indústria e Comércio Ltda., fabricante estrangeira de aerogeradores, e a Tecsis Tecnologia e Sistemas Avançados S.A., fabricante de pás eólicas, ambas localizadas em Sorocaba/SP. No início dos leilões, por volta de 2010-2011, mais de uma dezena de fabricantes de aerogeradores firmaram compromissos de localização nos PNPI's¹³².

A decisão de investimento dessas empresas em implantar unidades industriais no país implicou uma série de ações voltadas a internalizar novas capacidades produtivas. Desde a aquisição de equipamentos, treinamento de mão de obra e contratação de serviços relacionados ao projeto de implantação fabril, até a aproximação com os agentes da cadeia logística e a constituição de capacidades administrativas para a compreensão do ambiente de negócios local (tributário, jurídico e comercial).

A implantação de uma unidade industrial por parte dos fabricantes de aerogeradores era um requisito inicial da política de conteúdo local, que demandava, além desse compromisso, que as empresas adquirissem componentes e insumos fabricados no Brasil. Incluir empresas locais nessas cadeias de fornecimento não é tarefa trivial. Demanda esforços dos fornecedores em melhorias de seus processos produtivos e a homologação e certificação dos componentes com vistas a atingir os elevados níveis de confiabilidade e segurança presentes nesse setor. Os fornecedores locais precisam realizar investimentos e esforços internos associados ao desenvolvimento de novos processos produtivos.

¹³² 11 fabricantes de aerogeradores firmaram os PNPI's com o BNDES: Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon, Führländer.

Entre as atividades internalizadas no país citadas nas entrevistas com mais destaque estão a fabricação de grandes componentes forjados¹³³ e caldeirados¹³⁴, a exemplo do *hub* de sustentação das pás eólicas e dos flanges de sustentação das torres e de conexão entre a torre e a *nacelle*; a fabricação das pás eólicas; de torres metálicas, de concreto e híbridas; dos componentes internos das torres; de alguns insumos das pás; e componentes do pacote de conversão eletromecânica de energia como as carenagens e alguns equipamentos elétricos internos.

A produção desses elementos impulsionou novas capacidades nas empresas já estabelecidas no país em outros setores. Muitas empresas da indústria metalmeccânica brasileira se diversificaram para o setor eólico e, para isso, precisaram constituir equipes internas de engenharia para a compreensão dos projetos dos componentes fornecidos pelos fabricantes de aerogeradores e para o desenvolvimento dos processos produtivos.

“Tivemos que constituir um time de engenharia dedicado. Os componentes são enormes, as fábricas são especiais para comportar o tamanho dos componentes. Teve grande esforço também em como otimizar a produção.”
(entrevistado 15 - fornecedor)

“Cada cliente tem sua peça e modelo, é necessário desenvolver o ferramental para produzi-las, homologar o processo produtivo, organizar a produção sob encomenda ou seriada para atender uma exigência de qualidade internacional.”
(entrevistado 11 - fornecedor)

Esse processo foi realizado pelos fornecedores em estreita parceria com as equipes técnicas dos fabricantes de aerogeradores. Essas são empresas integradoras de componentes (*OEMs*) que precisam garantir a qualidade do seu produto, o aerogerador, junto aos investidores dos parques eólicos. O tempo de vida útil dos aerogeradores é de 20 a 25 anos, o que torna os requisitos de qualidade bastante elevados. Para isso, supervisionam o processo de fabricação em sua cadeia de fornecedores.

No caso da localização das etapas produtivas no país, os fabricantes de aerogeradores tiveram que ir muito além da supervisão de processos produtivos já estabelecidos. Em primeiro lugar, houve um esforço para o mapeamento da indústria local e de suas capacidades por parte dessas empresas. No que tange a cadeia produtiva do aerogerador, as capacidades encontradas na base metalmeccânica, em

¹³³ Forjaria: consiste no aquecimento de metais até que estejam maleáveis e, em seguida, na sua modelagem, prensagem ou outros métodos para dar forma às peças. A forjaria é usada para criar componentes robustos, como eixos e engrenagens, que precisam ser sólidas e resistentes. A aplicação de calor e força confere ao metal características mecânicas superiores, tornando-o mais resistente a impactos e deformações.

¹³⁴ Caldeiraria: consiste na fabricação de estruturas e componentes metálicos a partir de chapas de aço, aço inox, ou outros metais. Os profissionais de caldeiraria cortam, dobram e soldam chapas para criar itens como tanques, tubulações, caldeiras e estruturas. É um trabalho mais voltado à moldagem e à união de partes, com grande precisão para peças que devem resistir à pressão e ao desgaste.

especial, no segmento de bens de capital sob encomenda, e associadas às indústrias automotiva, petroquímica, de petróleo e gás e de equipamentos elétricos foram ressaltadas pelos entrevistados.

Os fabricantes de aerogeradores e suas equipes de engenharia trabalharam em parceria com os fornecedores dessas indústrias, provendo as informações de projetos dos componentes, treinando as equipes de engenharia desses fornecedores no desdobramento desses projetos para as etapas de produção, ajudando no desenho dos projetos das linhas produtivas e, muitas vezes, desenvolvendo novos processos produtivos locais em parceria. Capacitaram esses fornecedores para que entrassem na cadeia produtiva eólica nascente.

*“Foi muito difícil convencer as matrizes a nacionalizarem os componentes por conta dos investimentos e dos esforços dos nossos times de engenharia envolvidos nesse processo.”
(entrevistado 25 - fabricante de aerogerador)*

Outro aspecto a ser ressaltado diz respeito aos transbordamentos para outros setores. A política teve um impacto em atividades como a de serviços de logística para o transporte dos componentes dos aerogeradores, nos serviços de instalação dos parques e na atividade de engenharia de projetos dos parques.

*“O Brasil aprendeu a fazer parques eólicos. Hoje é possível implantar os parques muito rapidamente. Há boas empresas de serviços associadas aos projetos dos parques.”
(entrevistado 18 - instituição pública)*

Há, todavia, como avançar nesse segmento. A má qualidade da infraestrutura foi apontada como um problema para o transporte dos grandes componentes. A falta de guindastes adequados para a instalação de aerogeradores de maior porte também foi apontada como um gargalo.

*“O Brasil precisa de guindastes maiores que 120m e não (os) tem. São essenciais para os aerogeradores de maior porte.”
(entrevistado 16 - fabricante de aerogerador)*

Importante, ainda, discutir se a política promoveu o desenvolvimento de novas capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas. Como apresentado no referencial teórico, essas seriam as capacidades que permitem às empresas integrar, construir e reconfigurar suas competências internas e externas para se adaptarem a mudanças no ambiente onde estão inseridas e inovar.

É possível afirmar que a indústria brasileira teve êxito em reorganizar as suas capacidades estabelecidas de forma a aproveitar as oportunidades presentes no ciclo de investimento para diversificar sua atuação para uma indústria nascente. Tal processo ocorreu de forma mais predominante na fabricação de alguns dos principais componentes dos aerogeradores, o que evidencia

que estiveram presentes na indústria as funções de identificação (“*sensing*”), aproveitamento (“*seizing*”) e transformação/reconfiguração (“*reconfiguring*”) típicas das capacidades dinâmicas.

Sobre a constituição de capacidades para projetar os aerogeradores e seus componentes, pode-se afirmar que o alcance da política foi mais limitado. Alguns foram os casos de empresas locais que realizaram investimentos, buscando entrar nos segmentos mais nobres da cadeia produtiva por meio de estratégias de inovação relacionadas a projeto de engenharia dos aerogeradores e seus componentes. Podem ser citados os casos da WEG e da Impsa.

A WEG é uma empresa brasileira fabricante de equipamentos elétricos que entrou no segmento de fabricação de aerogeradores por meio de acordos de transferência de tecnologia e parcerias estratégicas com empresas no exterior. Realizou investimentos em inovação a partir disso, que foram apoiados pela política, por exemplo, pela chamada de projetos estratégicos da Aneel realizada em 2013¹³⁵. Teve êxito na comercialização de aerogeradores no país, porém possui uma participação de mercado ainda pouco relevante em relação aos seus principais concorrentes.

A Impsa é uma empresa argentina, presente no país até o início da década de 2010. Atuava na geração eólica e constituiu uma subsidiária para a fabricação de aerogeradores, a Wind Power Energy (WPE), que realizou investimentos em desenvolvimento de aerogeradores no Brasil. No auge do ciclo de expansão da geração eólica, a Impsa teve problemas financeiros e acabou em um processo de reestruturação que a fez sair do mercado brasileiro.

No segmento de pás eólicas, a Tecsis fez desenvolvimentos importantes no país relacionados aos processos de fabricação desses componentes. Com um histórico associado ao setor aeronáutico brasileiro, a empresa detinha competências para a fabricação das pás que a permitiram desenvolver um novo processo de infusão que substituiu o processo usual de laminação, uma inovação em escala global¹³⁶. Tal desenvolvimento foi realizado em parceria com a GE no final da década de 90 e início da década seguinte em um momento de maior expansão do mercado americano. Ocorreu, portanto, antes da política industrial de eólica brasileira ganhar tração.

Por fim, é importante destacar alguns movimentos da política, que buscaram impulsionar o aprendizado na cadeia produtiva de aerogeradores e tinham relação com o subsistema de C&T. Dois foram os movimentos elencados nas entrevistas como relevantes. O primeiro refere-se ao lançamento do “Programa SENAI para a Competitividade Industrial” em parceria com o BNDES.

¹³⁵ Para detalhes da trajetória da WEG e da chamada de P&D estratégico da Aneel, sugere-se Podcameni (2014).

¹³⁶ No processo de laminação, a fabricação das pás eólicas consiste na “colagem” das lâminas de fibra de vidro e epóxi nos moldes das pás. O processo de infusão desenvolvido pela Tecsis consistia no uso de uma técnica de “sopro” que completava os moldes de maneira muito mais rápida e com maior qualidade. A GE avaliou a aquisição da Tecsis em 2008 motivada pelo sucesso desse desenvolvimento.

Em 2012, o BNDES aprovou um financiamento de R\$ 1,5 bilhão para o programa, representando 74% do investimento total previsto. Esse financiamento foi concedido no âmbito do Programa BNDES de Apoio à Qualificação Profissional do Trabalhador, que visava promover a educação profissional e tecnológica no Brasil. O objetivo era aumentar a oferta de mão de obra qualificada e de serviços especializados para a indústria nacional.

Com os recursos do BNDES e investimentos adicionais do SENAI, o programa possibilitou a criação e modernização de uma ampla infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento, que conta com 28 Institutos SENAI de Inovação (ISI's), voltados para atividades de P&D, e 62 Institutos SENAI de Tecnologia (IST's), mais focados nos serviços técnicos. O programa contou com a parceria dos Institutos Fraunhofer e se inspirou na rede de institutos e laboratórios que essa organização possui na Alemanha.

A rede de institutos SENAI de inovação e tecnologia conta com mais de 1350 pesquisadores e realizou mais de 3 mil projetos de P,D&I, com um investimento superior a R\$ 2 bilhões. Nessa rede, destaca-se o Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis no Rio Grande do Norte, localizado junto ao CT-GAS, um centro de tecnologia constituído pela Petrobras no final da década de 90 e posteriormente repassado para administração pelo SENAI.

A segunda iniciativa foi um estudo publicado, em 2014, pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) chamado “Programa demonstrativo para inovação em cadeia produtiva selecionada – energia eólica”, que propunha um *roadmap* de tecnologias eólicas e a estruturação de um laboratório nacional de energias renováveis (CGEE, 2014). Essa iniciativa foi um desdobramento de um estudo estratégico anterior realizado pelo CGEE: “Análises e percepções para o desenvolvimento de uma política de C,T&I no fomento da energia eólica no Brasil” (CGEE, 2012).

CGEE (2014) detalhou os investimentos necessários para a estruturação de um laboratório nacional de energias renováveis e elaborou um planejamento para os dez primeiros anos de sua operação. Como visto nos estudos de caso dos EUA e China apresentados no capítulo 2, a existência de um (ou mais) laboratórios nacionais de energia eólica é relevante para o desenvolvimento local de aerogeradores. Os testes para a validação e homologação das diferentes tecnologias de um aerogerador são etapas essenciais do desenvolvimento desses equipamentos. Um exemplo é o túnel de vento para o teste das pás eólicas e das *nacelles*. Sem essas infraestruturas locais, o desenvolvimento de aerogeradores torna-se atividade mais complexa e depende da realização dos testes em laboratórios no exterior.

O estudo do CGEE indicou a necessidade de um orçamento, em 2014, de cerca de meio bilhão de reais para a constituição do centro de pesquisa, que contaria com 4 núcleos (núcleo de pesquisa

aplicada, laboratório de testes, testes de campo e núcleo de estratégias e economia) e seria estabelecido gradualmente em um período de 3 anos.

Instituições como o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o BNDES e a Finep estudaram o apoio a essa iniciativa, no entanto, o volume de recursos necessário e a restrição de orçamento encontrada nessas instituições naquele momento, impediram o apoio e o estabelecimento do laboratório. A infraestrutura de C&T associada à indústria eólica no Brasil acabou evoluindo para um modelo descentralizado de pesquisas em diversas instituições. Até hoje não há infraestrutura adequada no país para a realização dos testes mais relevantes para a homologação e certificação dos aerogeradores e seus principais componentes.

Dimensão 5 - Articulação dos diferentes subsistemas.

A quinta dimensão avalia a articulação dos diferentes subsistemas do SNI. Se a política identificou e deu ênfase aos mecanismos de incentivo mais relevantes para os processos de desenvolvimento. Se foi capaz de articular a demanda e as políticas de financiamento com os demais subsistemas produtivos e de ciência e tecnologia. Se foi capaz de alinhar as diferentes ações com as políticas regulatórias, tributárias e de comércio exterior. Se a política considerou as características do contexto geopolítico, econômico, político, social, cultural e local na alocação de incentivos com o objetivo de criar um contexto favorável ao investimento em atividades inovadoras e ao acúmulo de competências-chave nos diferentes subsistemas da política.

Um primeiro elemento avaliado na pesquisa de campo foi a visão dos entrevistados sobre os instrumentos mais importantes da política. A Tabela 12 a seguir apresenta o resultado das entrevistas.

Tabela 12 – Avaliação dos entrevistados sobre os instrumentos da política

Quais os instrumentos da política industrial eólica mais relevantes? <i>Indique a relevância dos instrumentos, sendo "0" sem importância; "1" pouco importante; "2" importância média; e "3" muito importante.</i>	Nota <i>(média dos respondentes)</i>
Leilões de energia	3
Financiamento do BNDES aos parques eólicos	3
Credenciamento e Índice de Nacionalização no BNDES	3
Planejamento Energético (PDE/PNE) elaborado pela EPE	2,6
Novos modelos de financiamento do BNDES à geração de energia	2,6
Criação dos Ambientes de Contratação Livre e Regulado (ACL e ACR)	2,5
Programa de Sustentação do Investimento - PSI BNDES	2,5
Programa de Incentivo à Geração de Energia renovável - Proinfa	2,4
Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI)	2
Programa P&D ANEEL	1,9
Linhas de financiamento à inovação e editais de subvenção da FINEP	1,5

Os entrevistados indicaram como mais relevantes os leilões de energia, o financiamento do BNDES aos parques eólicos e a política de conteúdo local do BNDES, justamente os 3 instrumentos que geraram a demanda por aerogeradores e a direcionaram para a indústria local.

No segundo grupo estão os instrumentos de planejamento energético, o Proinfa, os novos modelos de financiamento do BNDES, os ambientes de contratação livre e regulada e o PSI. Os instrumentos considerados como de menor relevância foram os relacionados ao apoio à inovação e o regime especial de infraestrutura que concede incentivos fiscais na etapa de construção dos parques de geração eólica.

“O regime especial reduziu o custo para os investidores, ele ajudou, mas se não existisse é possível que a maioria dos projetos tivessem sido realizados da mesma forma.”
(entrevistado 18 - instituição pública)

Os resultados acima confirmam que a política foi orientada pela demanda e corrobora a relevância do período no qual a política foi liderada pelos leilões de energia (período 2009-14). Além disso, confirma a importância da política de conteúdo local do BNDES que esteve associada formalmente aos financiamentos aos parques de geração eólica dessa instituição. O direcionamento dessa demanda à indústria local confirma a relação entre esses instrumentos e o subsistema de produção e inovação.

Um aspecto destacado nas entrevistas foi a vedação de importação de aerogeradores abaixo de determinado nível de potência nominal, que constou nos editais de contratação de geração de energia a partir de 2011. Nos anos de 2011 a 2015, aerogeradores com potência inferior a 1,5MW tinham que ser obrigatoriamente adquiridos no país. Já nos anos de 2017 a 2021 a potência mínima foi elevada para 2,5MW¹³⁷. Nos anos mais recentes essa exigência deixou de constar dos editais.

Nos primeiros anos essa exigência ajudou a garantir que a demanda gerada nos leilões fosse direcionada para os fabricantes locais. A produção local de aerogeradores era concentrada nos equipamentos de menor potência nominal. Conforme os fabricantes nacionalizaram máquinas de maior porte, essa proteção dada pelos editais deixou de fazer efeito. EPE (2020) demonstra que nos anos 2013 a 2015, praticamente 100% dos aerogeradores dos projetos habilitados nos leilões tinham potências superiores a 2,0MW, tornando a vedação de importação de aerogeradores com potência inferior a 1,5 MW ineficaz do ponto de vista da proteção da indústria local.

O mesmo ocorre para o período 2017-19 para a exigência de potência mínima de 2,5 MW. Em 2017, quase 70% dos aerogeradores nos projetos habilitados nos leilões tinham potência entre 2,0MW

¹³⁷ No ano de 2016 a geração eólica não teve contratação por meio de leilões.

e 2,9MW (EPE, 2020). Nos dois anos seguintes, essa participação caiu sensivelmente com a maior disponibilidade no mercado nacional de aerogeradores de potência nominal superior a 3,0MW.

Ainda sobre a articulação dos leilões com os instrumentos de financiamento e a política de conteúdo local, deve ser ressaltada a centralização do crédito no BNDES, com a saída do BNB do mercado de energia eólica a partir de 2011. Não foi possível identificar em documentos oficiais as razões do governo federal para tal decisão. No entanto, nas entrevistas, citou-se que um dos motivos para essa mudança na estratégia de financiamento tinha relação com o balanço limitado do BNB frente à dimensão do ciclo de investimento em geração eólica e com o objetivo de dar maior coordenação à política ao centralizá-la no BNDES. Outro motivo elencado foi que o governo federal teria como objetivo dar isonomia nas condições de crédito entre as regiões nordeste e sul, evitando distorções no mercado de geração eólica decorrente das taxas mais vantajosas oferecidas pelo BNB para projetos na região nordeste.

A pesquisa de campo avaliou também a articulação das políticas tributárias, de representação e comércio exterior com os demais instrumentos. A atuação da Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (ApexBrasil) foi apontada como muito relevante para a atração de investimento estrangeiro. Essa instituição fez inúmeros *roadshows* internacionais no período após o leilão de 2009. Sua atuação esteve voltada quase que exclusivamente para a atração de investimento, não tendo praticamente efeito em promover as exportações dos equipamentos fabricados no país.

Em relação às políticas tributárias, dois aspectos foram destacados. Os incentivos da SUDENE foram considerados relevantes, porém não formalmente articulados com os demais instrumentos de política. Adicionalmente, registraram-se algumas medidas recentes de revisão de incentivos fiscais na política energética, a exemplo da Lei nº 14.120/2022, que definiu um período de transição para a revogação dos incentivos para fontes renováveis sobre as tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão (TUST) e de distribuição (TUSD). Essas medidas ocorrem em um cenário de abertura do mercado de energia e a partir de uma visão das instituições da política energética, que determinadas fontes não precisariam mais incentivos para a sua viabilidade, como seria o caso da fonte eólica.

A maioria dos entrevistados afirmou que a política esteve fortemente relacionada com o contexto econômico e político local. As entrevistas ressaltaram a importância do crescimento do país no aumento da demanda por energia que viabilizou a realização dos leilões com maior escala no período 2009-2014. Também confirmaram que, desde o Proinfa, a política teve a capacidade de alavancar o investimento em geração eólica, tendo esse ritmo de expansão oscilado nos anos após 2016 por conta da crise econômica e política de 2014-16 e o regime de baixo crescimento que se estabeleceu após esse período.

Destacaram, ainda, o período de maior preponderância dos leilões como o de maior relevância para a expansão da cadeia produtiva e para a atração de investimento na indústria. Também afirmaram que os instrumentos de inovação apresentaram baixa articulação com os demais instrumentos da política e poderiam ter sido mais efetivos na promoção da inovação na cadeia produtiva.

4.3. Análise das organizações públicas e da inovação nas políticas

O segundo eixo tem como foco as organizações públicas executoras das políticas e a governança da política. Avalia se as organizações públicas foram agentes capazes de exercer suas funções e inovar no âmbito da política. Essas organizações precisam estar articuladas com outras organizações públicas e devem ter clareza quanto às suas funções de política nesse espaço institucional. Nesse sentido, avalia se a governança da política favoreceu a execução das funções de política.

Outro aspecto avaliado é se as organizações possuem as capacidades para inovar. Se possuem rotinas e processos de busca e seleção bem estabelecidos e que sejam adequados para a identificação das melhores práticas nas políticas. Se esses processos foram capazes de viabilizar ajustes de rotas e mudanças em práticas e normas internas conforme o processo de desenvolvimento da política ocorreu e se essas mudanças também influenciaram a trajetória da política.

Esse eixo possui três dimensões:

- E2.D1. Articulação das organizações públicas e governança da política.
- E2.D2. Capacidades dinâmicas nas organizações públicas.
- E2.D3. Inovação nas organizações públicas e nas políticas.

A seguir serão apresentadas as principais considerações acerca de cada uma dessas dimensões com base nos pontos de destaque obtidos na pesquisa de campo.

Dimensão 1 - Articulação das organizações públicas e governança da política.

A primeira dimensão avalia a governança da política. Se a política possuiu um processo de planejamento estabelecido e que evoluiu ao longo do tempo com o desenrolar da política. Se esse processo consistia em etapas bem estabelecidas como a definição de agenda, formulação, adoção, implementação, avaliação e revisão. Se a governança estabelecida organizou as funções de política e as distribuiu pelas diferentes organizações públicas, fortalecendo os efeitos dessas funções e a complementariedade entre as organizações. Se implementou mecanismos de diálogo entre organizações públicas responsáveis pelo desenho das políticas com as demais organizações e instituições públicas responsáveis por outras políticas públicas. Se a política permitiu e incentivou uma abordagem intersetorial entre ministérios e diferentes atores da política.

Para discutir a governança da política, é necessário, primeiramente, compreender que a política industrial do setor eólico não contou com uma governança exclusiva a ela durante o período analisado. Na verdade, essa política estava inserida em iniciativas mais amplas, que, essas sim, tinham uma governança específica. É o caso da política energética e das políticas industriais implementadas até 2014, como a PITCE (2004-2007), a PDP (2008-2010) e a PBM (2011-2014). Assim, a análise da governança da política eólica exige uma discussão sobre a governança dessas políticas mais amplas.

Quanto à governança da política energética, pode-se afirmar que ela se enquadra em um ambiente institucional que foi estabelecido a partir do novo modelo do setor elétrico, instituído em 2004. O novo modelo se fundamentou em algumas das capacidades que já estavam presentes no setor elétrico e, a partir dessas, avançou no sentido de restabelecer os processos de planejamento energético, reorganizando as competências já existentes nas diferentes instituições públicas e privadas e as distribuir, inclusive, em novas organizações públicas que foram criadas, como foi o caso da EPE. A governança da política energética foi redesenhada nesse período inicial e testada no processo de busca por soluções para a crise energética.

Essa governança estabeleceu novos processos. Um exemplo são os processos para a elaboração do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e do Plano Nacional de Energia (PNE). O primeiro tem um foco na expansão do sistema de energia no médio prazo, enquanto o segundo olha o horizonte de longo prazo (até 2050). O PDE detalha o nível de expansão planejado para cada uma das fontes de energia e tem maior impacto para as decisões de políticas no curto prazo.

Trata-se de um instrumento que passa por um processo de elaboração e aprovação bem definido. A EPE, criada em 2004, é a responsável pela elaboração do PDE e pela coordenação do seu processo de aprovação. A elaboração do PDE possui etapas como a de coleta de dados e projeções da demanda por energia, avaliação da oferta de energia em diferentes cenários de expansão, simulação sobre o comportamento do sistema energético em cada cenário e consulta e divulgação do PDE junto aos diferentes atores do sistema elétrico para sua aprovação.

O PDE passa por avaliação de comitês como o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que garantem ampla participação de representantes das instituições públicas, dos agentes privados e da sociedade civil. O plano é atualizado anualmente e possui processos para o seu acompanhamento e avaliação.

Esse planejamento possui um caráter indicativo, isto é, não vincula as suas projeções à realização obrigatória de iniciativas de políticas para a expansão da matriz energética. Tal aspecto foi por vezes indicado nas entrevistas como uma dificuldade para se ter melhor previsibilidade quanto à expansão da matriz elétrica e da fonte eólica. Houve também opiniões ressaltando a importância de um

planejamento indicativo, que influencie a formação de expectativas, ao mesmo tempo que dá flexibilidade à implementação da política.

*“O planejamento indicativo é vital, permite um processo participativo e flexível que é revisto anualmente. Em momentos de crise energética essa flexibilidade se demonstrou essencial.”
(entrevistado 13 - instituição pública)*

Além disso, a política energética e sua governança organizam as funções de políticas entre as organizações públicas. Como visto no capítulo 3, o planejamento é de responsabilidade da EPE, a implementação e coordenação da política estão a cargo do MME, a regulação é feita pela Aneel, a comercialização da energia é atribuição da CCEE e o sistema é operacionalizado pela ONS.

Uma crítica feita nas entrevistas é que a governança da política energética possui um caráter “insulado”, com poucas conexões com outras políticas e instituições públicas relacionadas a outros setores. Diferentemente da política energética relacionada a setores como o de petróleo e gás e de biocombustíveis, a política do sistema elétrico teria uma preocupação excessiva com a modicidade tarifária, em detrimento de outros objetivos como o da segurança energética, diversificação da matriz elétrica ou de promoção da base industrial do setor elétrico.

*“No MME a secretaria de biocombustíveis costuma ser mais favorável à política industrial do que a secretaria de energia.”
(entrevistado 18 - instituição pública)*

Essa governança mostrou-se eficaz em promover o ciclo de investimentos na expansão da energia observado no período posterior à revisão do marco legal do sistema elétrico, que utilizou amplamente os mecanismos de leilões de energia e o Ambiente de Contratação Regulada (ACR).

Após o auge do ciclo de expansão por meio dos leilões de energia ter sido atingido em meados da década de 2010, o setor elétrico vê acelerar uma mudança que já vinha gradualmente acontecendo e que tem base em dois movimentos em curso. O primeiro tem relação com a maior diversidade de fontes no setor elétrico e uma maior participação das fontes intermitentes na matriz elétrica (solar e eólica). O segundo tem relação com uma maior importância do mercado livre de energia, da autoprodução¹³⁸ e da geração distribuída na geração total de energia no país. Ambos têm impactos na governança do setor elétrico.

A participação do mercado livre de energia vem crescendo continuamente. Em 2016, representava 26% do consumo total de energia, e em 2024 alcançou 39% do consumo nacional de eletricidade. O mercado livre de energia tornou-se o “motor” do processo de expansão do setor elétrico nesse período.

¹³⁸ Considera-se autoprodutora a pessoa jurídica ou consórcio de empresas que recebe concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo comercializar eventual excedente, desde que respeitados os requisitos regulatórios (Art. 11º da Lei nº 9,074/1995)

Cerca de 90% da expansão de capacidade de geração de energia prevista para o período 2023-2029 deve ter relação com o mercado livre de energia (Abraaceel, 2023). A expansão do setor elétrico passou a ser guiada pelo processo de abertura do mercado de energia.

O processo de abertura do mercado de energia, intensificado na segunda metade da década de 2010, representa a continuidade do processo de liberalização e desregulamentação do setor elétrico iniciado na década de 1990¹³⁹. Esse mercado se caracteriza por oferecer aos consumidores maior liberdade de escolha entre diferentes modalidades de contratação de energia, permitindo a seleção do fornecedor e das fontes de geração da energia.

Nesse processo de abertura do mercado houve uma forte migração dos clientes do ambiente regulado e das distribuidoras de energia para o mercado livre e para a autoprodução, buscando menores preços de energia. Esse é um processo que impõe desafios importantes para a governança do setor elétrico. As distribuidoras de energia vêm perdendo receitas com o processo de migração de seus principais clientes para o mercado livre e encontram-se, por isso, “sobrecontratadas”¹⁴⁰. Os preços no mercado regulado são mais elevados, em parte, por absorverem subsídios cruzados como os decorrentes de diferentes políticas públicas do setor de energia¹⁴¹.

Essa migração do mercado regulado para o livre ocorre em meio a um segundo movimento de mudança no setor elétrico, a diversificação da matriz elétrica com maior participação de fontes de energia como a eólica, solar, PCHs e biomassa. O crescimento da geração por parte dessas fontes aumenta a diversidade de atores presentes no sistema elétrico.

Além disso, algumas dessas fontes possuem um perfil de geração intermitente. A sua maior participação na geração de energia traz alguns desafios técnicos para a operação do sistema elétrico e para o planejamento da expansão, afinal a segurança energética depende da confiabilidade e disponibilidade de geração e a geração intermitente é possível em determinados momentos do dia.

¹³⁹ Algumas legislações importantes sobre o mercado livre, autoprodução e geração distribuída: Lei nº 9.074/1995 e Lei nº 88.987/1995 (Outorga de serviços públicos e regime de concessão); Lei nº 9.427/1996 (cria o consumidor livre especial); Decreto nº 2.003/1996 (regulamenta o produtor independente e o autoprodutor); Resolução normativa Aneel 109/2004 (define autoprodutor de energia); Lei nº 11.488/2007 (cria a figura do autoprodutor por equiparação); Lei nº 13.203/2015 (altera o conceito de autoprodutor de energia); Portaria MME nº 465/2019 (abertura do mercado livre para clientes > 500 KW); PL nº 414/2021 (em tramitação para a expansão do mercado livre para consumidores residenciais); Portaria MME nº 50/2022 (consumidores de alta tensão no ML); Resolução Normativa Aneel nº 1.059/2023 (define autoconsumo e “GD”).

¹⁴⁰ Possuem uma oferta de energia contratada que supera a demanda por energia de sua base de clientes.

¹⁴¹ Destaque para a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) que custeia políticas como a tarifa social de energia elétrica (TSEE), a universalização do acesso à energia para áreas remotas, subsídios a fontes renováveis e descontos para consumidores rurais. Há ainda uma série de subsídios como o encargo de serviços do sistema (ESS), o encargo de energia de reserva (EER), desconto para sistemas de irrigação e aquicultura, dentre outros.

Esse contexto de migração do mercado regulado para o livre (e outras formas de contratação de energia), aliado à maior diversidade de fontes, incluindo uma participação significativa de fontes intermitentes, e à presença de um número crescente de agentes, torna a governança do setor elétrico mais complexa. O arcabouço regulatório precisa ser robusto o suficiente para lidar com essa complexidade. As atividades de planejamento também se tornam mais desafiadoras em um ambiente com menor mediação das instituições responsáveis pelo planejamento do setor elétrico nas relações de compra e venda de energia.

Alguns entrevistados abordaram essas questões e indicaram que o setor elétrico está diante da necessidade de uma nova repactuação do seu marco regulatório como forma de viabilizar um novo padrão de expansão que congregue os diferentes objetivos da política energética (segurança energética, modicidade tarifária, diversificação da matriz e sustentabilidade ambiental).

“A abertura do mercado parte da visão de que as decisões descentralizadas levam a uma maior eficiência do sistema, o que no curto prazo pode ser verdade, mas que também traz desafios para o planejamento de longo prazo.”
(entrevistado 13 - instituição pública)

“O modelo atual remunera o sistema apenas com base na energia consumida. Precisamos repensar esse modelo para contemplar a remuneração pelos atributos das diferentes fontes de energia. Isso é vital para a segurança energética do sistema. A hidrelétrica, por exemplo, cumpre uma função de bateria do sistema, mas não é remunerada se não gerar energia. Precisamos de um modelo que dê os sinais corretos para um sistema elétrico com maior participação de fontes intermitentes.”
(entrevistado 20 - instituição pública)

“Só olhamos oferta e consumo de energia. Só se fala de preço de energia. Precisamos olhar e remunerar disponibilidade, resiliência, qualidade, confiabilidade. Esse novo sistema elétrico vai demandar muito mais inteligência e novas tecnologias para a sua gestão. Há ferramentas de inteligência artificial, big data e outras para isso.”
(entrevistado 22 - indústria eólica)

“Não há uma discussão organizada sobre o novo modelo de governança. Em um ambiente muito mais complexo não adianta restringir a participação na discussão a poucos atores. Não voltaremos a um passado hidrotérmico. Tem que ampliar a participação e dar representatividade, senão não vai funcionar.”
(entrevistado 26 - instituição pública)

Do ponto de vista do objeto de análise desta pesquisa - a cadeia produtiva de aerogeradores e a política industrial - essas mudanças são relevantes, pois alteram o perfil da demanda por projetos de geração de energia e o padrão de expansão do sistema elétrico.

A demanda torna-se mais pulverizada e composta de projetos menores, que são negociados diretamente entre os consumidores e fornecedores de energia. Em um mercado pulverizado é mais difícil ter previsibilidade sobre a demanda por aerogeradores. Além disso, traz algumas vantagens para as fontes que possuem uma escala mínima de geração mais baixa, a exemplo da geração fotovoltaica. A geração eólica possui uma maior escala nos empreendimentos e demanda investimentos mínimos mais elevados.

A política passa a ter menor grau de intervenção na demanda por meio de mecanismos diretos como os leilões de energia. Passa-se para uma lógica de expansão orientada exclusivamente pelo mercado e pelos preços das fontes. Nos leilões, embora a expansão da geração também fosse guiada pelo mercado de energia e pelos preços das diferentes fontes de geração, havia uma mediação proporcionada pelo ambiente regulado, que organizava a demanda futura.

Para a atividade industrial, esse novo cenário cria ambientes de maior incerteza e volatilidade sobre a demanda por bens manufaturados, no caso da eólica, os aerogeradores. Torna-se mais complexo organizar a produção e planejar a expansão da capacidade produtiva.

O atual momento na indústria eólica é um exemplo das dificuldades que podem surgir dessa dinâmica. O preço da geração solar é, no momento, inferior ao da eólica. O mercado livre rapidamente se voltou para aproveitar essa oportunidade levando a uma queda na demanda por aerogeradores com efeitos negativos na cadeia produtiva.

Como abordado, para a discussão da governança da política industrial eólica, além da discussão anterior sobre a política energética, é importante abordar a governança do segundo conjunto de políticas, as políticas industriais realizadas no período de implantação da indústria eólica no Brasil (PITCE 2004-2007, PDP 2008-2010 e PBM 2011-2014). Essas políticas tiveram uma governança constituída, com comitês e ministérios na formulação, aprovação e acompanhamento das metas e estratégias de política. Após 2014 as políticas industriais formais do Governo Federal foram interrompidas e retomadas apenas em 2023 com o lançamento da Nova Indústria Brasil (NIB)¹⁴².

¹⁴² A NIB não foi objeto de análise da presente tese em termos de suas características, instrumentos e governança, uma vez que seu lançamento é muito recente (2023) e o prazo decorrido insuficiente para que a política tenha efeitos na cadeia produtiva de aerogeradores que pudessem ser avaliados no âmbito da pesquisa e das entrevistas.

Os principais ministérios responsáveis pela coordenação dessas políticas foram o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Outras instituições como o BNDES e a ABDI tiveram um papel importante na elaboração dos planos de ação e na execução das iniciativas.

Para Kupfer, Ferraz, Marques (2013) a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE, 2004-2007) “*visava fortalecer o arcabouço institucional por meio da criação de agências e modernização da legislação para tornar mais eficazes os instrumentos indutores de inovação, com foco, sobretudo, nos setores intensivos em tecnologia*” (Kupfer, Ferraz, Marques, 2013, p. 328). O setor de bens de capital era um dos focos da política.

A política teve como medidas, por exemplo, a edição da Lei da Inovação (Lei nº 10.973/2004)¹⁴³ e da Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005)¹⁴⁴, além da recriação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI), que agregava representantes do setor público, da iniciativa privada e dos trabalhadores. A PITCE simbolizou o retorno da política industrial ao Brasil.

A Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP, 2008-2010) sucedeu a PITCE e se concentrou na promoção do investimento e da inovação. Todavia, acabou tendo um papel anticíclico que se mostrou crucial nos esforços do governo federal para combater o efeito da crise financeira internacional de 2008 na economia brasileira (Kupfer, Ferraz, Marques, 2013).

A política tinha metas definidas¹⁴⁵ e estabeleceu programas que eram conduzidos por comitês executivos compostos por representantes de diversas instituições públicas do governo federal. Novamente, o setor de bens de capital foi um dos setores priorizados nos “programas para fortalecer a competitividade” da indústria.

Já o Plano Brasil Maior (PBM, 2011-14), tinha o objetivo de agregar valor por meio da inovação, mas acabou se voltando mais à defesa do mercado interno e à recuperação das condições sistêmicas de competitividade por meio de iniciativas voltadas à redução do “Custo Brasil” (custos relacionados à realização de negócios no Brasil) (Kupfer, Ferraz, Marques, 2013).

A política se organizava em torno de 4 linhas de atuação: construir e fortalecer competências críticas (foco em inovação); aumentar a produtividade e a atualização tecnológica ao longo das cadeias de valor (onde se localizava o setor de bens de capital); expandir os mercados interno e

¹⁴³ A Lei da Inovação, sancionada em 2004 e alterada posteriormente pela Lei nº 13.243/2016, tem o objetivo de criar um ambiente favorável às parcerias público-privadas em pesquisa e inovação, promovendo a cooperação entre instituições científicas e tecnológicas (ICTs) e o setor empresarial.

¹⁴⁴ A Lei do Bem foi instituída em 2005 como parte de uma série de incentivos fiscais para promover a inovação tecnológica no setor empresarial. Esta lei oferece benefícios tributários diretos às empresas que realizam atividades de PD&I.

¹⁴⁵ P.ex. um aumento da FBCF de 17,4% em 2007 para 21% em 2010 e elevação do dispêndio privado em P&D de 0,49% do PIB em 2005 para 0,65% em 2010.

externo para as empresas brasileiras (foco em reverter o processo de primarização da economia); garantir um crescimento socialmente inclusivo e ambientalmente sustentável (onde a geração eólica estava incluída).

Em seu conjunto as políticas representaram um retorno da agenda de política industrial no Brasil após praticamente duas décadas. Para a geração de energia eólica e sua cadeia produtiva, a PDP e, especialmente, o PBM tiveram maior destaque. Isto porque ocorreram em um momento de maior expansão da geração eólica no Brasil. A PITCE transcorreu no período de realização do Proinfra que, como já discutido, teve um impacto mais limitado na cadeia produtiva de aerogeradores.

As entrevistas exploraram as relações entre a política industrial eólica e a governança das políticas industriais (PITCE, PDP e PBM). Um primeiro ponto destacado nas entrevistas tem relação com os sucessivos lançamentos de novas políticas industriais. A cada relançamento mudava-se a metodologia, as prioridades e a própria organização da governança. Essas sucessivas mudanças foram indicadas como uma das dificuldades para a organização das diferentes iniciativas e a coordenação das diferentes instituições e mecanismos de política industrial.

Outra crítica elencada é que as políticas apresentavam fragilidades no processo de acompanhamento e monitoramento de suas iniciativas, embora incorporassem um processo de planejamento para a montagem dos planos de ação. Junto a isso, foi ressaltado que, enquanto a política energética contava com uma definição clara na distribuição das funções de políticas entre as diversas instituições públicas, esse processo era menos evidente nas políticas industriais.

Na PITCE e na PDP, embora as energias renováveis fossem citadas, não foi possível identificar nenhum comitê ou núcleo de ação dedicado ao tema. No PBM, as energias renováveis eram objeto de uma das agendas estratégicas setoriais e possuía um comitê executivo próprio.

Outro ponto indicado nas entrevistas foi que alguns dos principais instrumentos da política industrial eólica - a exemplo dos leilões, do financiamento do BNDES à geração de energia e da política de conteúdo local da Finame - não estavam sob a governança das três políticas industriais (PITCE, PDP e PBM). Isto é, o poder de intervenção das políticas nesses instrumentos foi considerado limitado pelos entrevistados.

Por outro lado, algumas das iniciativas lançadas nesse período tiveram influência nesses instrumentos. Um exemplo citado foi a criação do Programa de Sustentação do Investimento (PSI) em 2009, que tinha relação com as medidas de políticas anticíclicas lançadas pelo governo federal no âmbito da PDP. O PSI reduzia as taxas de juros nas linhas do BNDES e Finep e reforçou o papel do BNDES nos financiamentos aos parques de geração eólica e sua política de conteúdo local.

Sobre a capacidade de articulação de diferentes instituições de modo a incentivar uma abordagem intersetorial, apontou-se que as políticas foram importantes e criaram um espaço de mediação entre as instituições. As instituições estavam representadas nos diferentes comitês. Todavia, as políticas setoriais muitas vezes seguiam vida própria. Esse parece ser o caso também das políticas que constituíram o núcleo da política industrial eólica.

As políticas de formação do mercado (Proinfra, leilões e mercado livre) foram definidas no contexto da política energética. A política de conteúdo local foi definida pelo próprio BNDES. As políticas de financiamento seriam as que mais teriam convergência com as políticas industriais formais do período, isso se o PSI for considerado como parte integrante da PDP. A coordenação e articulação desses instrumentos ocorreram muito mais no âmbito da política energética e na relação de proximidade entre instituições como MME, EPE, BNDES e Finep do que como uma consequência direta das políticas industriais formais do período.

Diante dessas análises é possível afirmar que, para a indústria eólica, a governança da política energética cumpriu um papel fundamental na formação do mercado de geração eólica e de sua cadeia produtiva de aerogeradores até meados da década passada e encontra desafios com as mudanças que vêm ocorrendo no setor elétrico (abertura de mercado, multiplicidade de atores, mercado livre como vetor da expansão do sistema e maior participação das fontes intermitentes).

As políticas industriais, por sua vez, tiveram importância ao dar centralidade ao desenvolvimento da indústria e à inovação na agenda do governo federal e contribuíram com novos instrumentos e mecanismos de diálogo e articulação entre instituições públicas. Todavia, careceram de maior capacidade de definição da agenda (poder político e orçamento) e foram interrompidas no momento de crise econômica e política que ocorreu no país a partir de 2014.

Dimensão 2 - Capacidades dinâmicas nas organizações públicas.

A segunda dimensão aborda as capacidades presentes nas principais organizações públicas executoras da política. Para isso avalia se essas organizações tinham capacidades constituídas para a implementação da política. Se essas organizações dispunham de rotinas organizacionais estabelecidas que as permitiam explorar novas oportunidades e aprimorar seus recursos ("ambidestria organizacional"). Se as organizações públicas foram capazes de identificar ("sensing") e aproveitar ("seizing") oportunidades que orientaram a sua atuação. Se possuíam as competências técnicas e organizacionais necessárias para o desempenho das suas funções de política e dispunham de uma burocracia qualificada e com experiência na execução de políticas industriais.

O arranjo institucional da política industrial eólica possui um universo heterogêneo de organizações públicas. A pesquisa de campo concentrou-se nas principais organizações públicas executoras da política (MME, EPE, Aneel, BNDES e Finep).

A avaliação limitou-se às informações obtidas nas entrevistas e de fontes públicas disponíveis sobre essas organizações. Não se pretendeu traçar um panorama completo das capacidades dessas organizações, mas sim identificar elementos relevantes que contribuíram para que essas organizações desempenhassem seu papel na implementação da política ou que dificultaram uma atuação mais assertiva e eficiente. O BNDES recebeu maior foco devido ao seu papel central na conexão entre a política energética e a política industrial, conforme discutido anteriormente. Além disso, foi possível aprofundar a análise sobre o BNDES graças à minha experiência profissional nesta instituição, o que trouxe uma perspectiva adicional à discussão.

A pesquisa de campo questionou os entrevistados sobre a percepção que tinham em relação às capacidades das organizações públicas e sobre o seu histórico de atuação na política industrial eólica. Em relação às organizações do setor elétrico (MME, EPE, Aneel), a percepção foi de uma avaliação positiva quanto às capacidades constituídas e quanto ao poder de implantação das políticas energéticas. Destacou-se, todavia, alguns elementos que dificultaram a atuação dessas organizações.

Em primeiro lugar, citou-se o problema da rotatividade no quadro técnico do MME como um elemento de descontinuidade na capacidade do ministério que dificulta a condução das políticas. Por outro lado, observou-se que essa rotatividade é menor em comparação com outros ministérios, tornando o MME relativamente mais estável e menos sujeito a reestruturações e fusões frequentes, comuns em outras pastas do poder executivo federal. O quadro técnico do ministério foi considerado qualificado, mas muito reduzido em relação à ampla agenda que lhe é atribuída.

A criação da EPE foi apontada pela maioria dos entrevistados como positiva. Porém, foram destacadas algumas dificuldades no processo de estabelecimento da empresa. A EPE foi criada como empresa pública - pessoa jurídica de direito privado integrante da administração pública indireta - vinculada ao MME¹⁴⁶. Seus funcionários são contratados por concurso público e são regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Como empresa pública é supervisionada pelo Tribunal de Contas da União (TCU) e pela Controladoria-Geral da União (CGU).

Esse é um regime do direito administrativo que permite à EPE obter recursos não exclusivamente do orçamento geral da união (OGU), mas também por meio de cobrança pela prestação de serviços de interesse público. No entanto, foi observado que, em sua fase inicial de estabelecimento, era difícil

¹⁴⁶ Criação da EPE: Lei nº 10.847/2004. Estatuto social (acessado em 10/11/2024): <https://www.epe.gov.br/sites-pt/aceso-a-informacao/institucional/Documents/Estatuto%20Social%20AEGE%20-%20EPE.pdf>

gerar receitas suficientes a partir da prestação de serviços para complementar o limitado orçamento público destinado à empresa, considerado insuficiente para acelerar o desenvolvimento das capacidades exigidas no início do ciclo de expansão do setor elétrico. Diferentemente de outras empresas públicas, a EPE não dispunha de uma fonte extraorçamentária perene para seu custeio.

Apesar dessas dificuldades, a empresa foi apontada como referência nos estudos de planejamento energético e como tendo sido capaz de cumprir com sua missão na política energética. A esse respeito, importante ressaltar que a EPE iniciou suas operações com foco no setor elétrico e, com o tempo, ampliou sua atuação passando a abranger as atividades de planejamento energético como um todo, uma evidência da capacidade da instituição em atender as demandas e ampliar suas competências em novas áreas do conhecimento.

Em relação à Aneel destacou-se seu envolvimento com o ciclo regulatório que é mais longo e menos imediato do que o dia a dia da execução da política que está a cargo do MME. Esse seria um dos motivos pelo qual a agência reguladora pode ser, por vezes, considerada mais lenta em suas iniciativas.

Outra dificuldade apontada sobre a Aneel foi a baixa disponibilidade de informações organizadas e a falta de integração das diferentes bases de dados do sistema elétrico. Foi indicado que esse é um campo para o qual diferentes iniciativas foram estruturadas pela agência. No entanto, a restrição orçamentária decorrente dos sucessivos contingenciamentos do orçamento público dificultou a sua implementação. Ainda hoje, persiste a necessidade de estabelecer programas e iniciativas voltados a essa finalidade. Esse aspecto é especialmente relevante, considerando a crescente complexidade do setor elétrico abordada na dimensão anterior.

Outro aspecto indicado foi a falta de valorização do plano de cargos e salários da agência reguladora, que vem sofrendo com a saída de pessoas para outras instituições públicas e privadas do setor elétrico. O quadro de pessoal não tem sido renovado no mesmo ritmo. Essa seria uma das razões para a dificuldade da agência em absorver novas atividades. Ainda assim, a agência foi considerada como relevante pela grande maioria dos entrevistados e como uma importante referência técnica do setor elétrico.

No caso das instituições de fomento, como o BNDES e a Finep, o cenário apresenta algumas diferenças. Essas instituições são estatais não dependentes que operam com recursos não vinculados ao orçamento geral da união¹⁴⁷. Estão, portanto, menos suscetíveis à contingenciamentos e restrições do orçamento público do poder executivo. Ambas possuem um longo histórico em suas áreas de

¹⁴⁷ No caso da Finep, que opera o FNDCT, houve contingenciamentos relevantes, em especial nos instrumentos que utilizam recursos não-reembolsáveis. Ainda assim, a empresa opera com maior autonomia orçamentária.

atuação e contam com um quadro de funcionários dedicado às atividades operacionais de análise e acompanhamento de projetos, composto por empregados contratados diretamente sob o regime CLT, com baixa contratação de terceirizados. A rotatividade de pessoal também é reduzida.

O padrão de financiamento FAT-BNDES, discutido no capítulo 3, dá à instituição maior estabilidade orçamentária e estabilidade para o planejamento de sua atuação. A carteira de crédito contratado pela instituição é uma evidência disso. No final de 2023, o BNDES possuía uma carteira de operações de crédito e repasses financeiros da ordem de R\$ 500 bilhões¹⁴⁸. Em 2010, essa carteira de crédito era de R\$ 360 bilhões (em valores correntes). Essas são posições financeiras relevantes, uma vez que é, principalmente, por meio da concessão de crédito que a instituição obtém suas receitas¹⁴⁹.

A Finep possui uma posição intermediária. Também opera recursos relevantes, porém em menor escala. O FNDCT principal fonte de recursos da instituição sofreu com contingenciamentos que dificultaram a atuação com recursos não-reembolsáveis por meio da subvenção econômica ou do instrumento cooperativo ICT-empresa, como também discutido no capítulo 0. A Finep é responsável pela secretaria executiva do FNDCT. O apoio por meio do crédito, todavia, não representa impacto fiscal primário¹⁵⁰ e, com isso, teve um comportamento mais estável ao longo do período da política. A carteira de crédito da Finep, ao final de 2023, era de cerca de R\$ 11 bilhões¹⁵¹ e, em 2013, cerca de R\$ 7 bilhões.

Os resultados financeiros dessas instituições são uma evidência de sua capacidade de financiar projetos com eficiência operacional. Ambas as instituições têm operado historicamente com resultados positivos, baixa inadimplência e sustentabilidade financeira¹⁵². Ambas as instituições são fiscalizadas pelo Tribunal de Contas da União (TCU) e pela Controladoria Geral da União (CGU). Possuem uma estrutura de governança bem definida e formada por conselhos fiscais e de administração. No caso do BNDES, por ser formalmente uma instituição financeira vinculada ao Sistema Financeiro Nacional (SFN), a instituição é supervisionada também pelo Banco Central (BACEN).

¹⁴⁸ Os indicadores financeiros do BNDES estão disponíveis em: <https://ri.bndes.gov.br/informacoes-financeiras/central-de-resultados/> (acesso em 10/11/2024).

¹⁴⁹ O BNDES também possui uma atuação relevante no mercado de capitais por meio de sua subsidiária BNDESPAR.

¹⁵⁰ O impacto fiscal primário refere-se ao efeito das despesas e receitas do governo sobre o resultado primário das contas públicas, ou seja, o saldo entre as receitas totais (excluindo receitas financeiras, como juros sobre a dívida) e as despesas primárias (excluindo os gastos com juros da dívida pública).

¹⁵¹ As demonstrações financeiras da Finep estão disponíveis em: <http://www.finep.gov.br/aceso-informacao/116-transparencia/balanco-finep/6580-balanco-finep-2023> (acesso em 10/11/2024)

¹⁵² Para maiores detalhes podem ser acessados os relatórios disponíveis em <https://ri.bndes.gov.br/informacoes-financeiras/central-de-resultados/> e <http://www.finep.gov.br/transparencia-finep/balanco-finep> (Acesso em 10/11/2024).

Tanto a Finep quanto o BNDES possuem uma série de normas e procedimentos internos para operacionalização da concessão de crédito e seus demais instrumentos (p.ex. participação acionária e apoio com recursos não-reembolsáveis). Possuem, portanto, rotinas bem estabelecidas para a definição de suas políticas operacionais. Essas indicam as prioridades corporativas que traduzem as diretrizes de políticas formuladas pelos ministérios aos quais as instituições estão vinculadas, o MCTI no caso da Finep e o MDIC no caso do BNDES. As prioridades orientam suas ações de fomento e a alocação das melhores condições de crédito disponíveis em cada uma das instituições.

Essas são condições que, em seu conjunto, permitem que as instituições atuem não apenas reativamente a partir de diretrizes políticas que lhes são definidas pelos órgãos do governo federal e seus representantes, como também participem ativamente das atividades de fomento. É comum que, tanto BNDES quanto Finep, articulem iniciativas de fomento ativo em linha com seu planejamento estratégico. Ambas as instituições são frequentemente consultadas por órgãos do governo federal e convidadas a participar na formulação e execução de políticas públicas, sendo reconhecidas por sua competência técnica, capacidade operacional e experiência na elaboração de políticas de financiamento.

No contexto da política para o setor eólico, o BNDES implementou uma rotina de divulgação das condições de financiamento alinhada ao lançamento dos leilões, com o objetivo de orientar o mercado de energia e os investidores. Além disso, as equipes técnicas do banco realizavam reuniões com os investidores após o anúncio dos leilões, explicando as condições de financiamento e esclarecendo dúvidas para que esses pudessem preparar adequadamente as propostas de projetos a serem submetidas.

BNDES e MME implementaram uma rotina para a definição dos preços-teto dos leilões. O BNDES auxiliava o ministério na modelagem financeira que fazia parte do processo de elaboração dos leilões. Além disso, o BNDES interagiu com os investidores e realizava simulações das condições de apoio e dos riscos dos projetos, com o objetivo de oferecer maior segurança quanto à viabilidade dos financiamentos, caso as propostas fossem bem-sucedidas no processo de concorrência. Essa prática, apelidada informalmente pelos agentes do setor elétrico de "vestibular do BNDES", foi especialmente importante para o financiamento de grandes projetos do setor hidrelétrico, como as usinas de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte, e também foi utilizada no setor eólico.

No caso da política de conteúdo local, rotinas de acompanhamento dos processos de credenciamento dos fabricantes de aerogeradores também foram adotadas. Esse acompanhamento propiciava informações valiosas para possíveis ações de fomento e ajustes da política. Além disso, o

setor eólico era acompanhado pelo corpo de altos executivos da instituição, que acompanhava de perto o desenvolvimento do setor nos comitês internos estabelecidos¹⁵³.

Esses são exemplos que ilustram a capacidade da instituição de estabelecer rotinas e processos de “busca e seleção” voltados para identificar e aproveitar (“sensing and seizing”) novas oportunidades alinhadas à sua missão e escopo de atuação dessa instituição. A próxima dimensão avalia algumas das inovações realizadas no processo de execução da política de conteúdo local.

Dimensão 3 – Inovação nas organizações públicas e nas políticas.

A terceira dimensão aborda a inovação nas organizações públicas e nas políticas. Avalia se as organizações executoras da política tinham um mandato bem definido e autonomia para a implementação da política. Se as capacidades internas das organizações incentivaram a inovação no ambiente da política e impulsionaram o aprendizado institucional. Se o aprendizado retroalimentou os ambientes de seleção e permitiu identificar as melhores práticas da política. Se as organizações públicas foram capazes de assumir riscos no processo de execução das políticas e tinham liberdade para inovar em seus procedimentos, processos e instrumentos operacionais.

A avaliação dessa dimensão concentra-se no BNDES e na política de conteúdo local associada às suas linhas de financiamento aos parques de geração eólica. Selecionar uma das instituições e um dos instrumentos permite um olhar mais detalhado sobre os processos de inovação que ocorrem em determinada organização pública. A política de conteúdo local foi um dos instrumentos da política que apresentou as inovações mais significativas. Além disso, a escolha da política de conteúdo local estabelece uma ponte com as dimensões a serem analisadas no próximo eixo do modelo analítico, que aborda os regimes tecnológicos e as estruturas industriais.

A política de conteúdo local do BNDES, como descrito no capítulo 3, é um instrumento de financiamento à comercialização de máquinas e equipamentos (“*supplier credit*”) ao qual é vinculada uma contrapartida de agregação de valor local mínimo. Trata-se de uma política de apoio ao setor de bens de capital estabelecida há décadas no país.

No início da trajetória da indústria eólica no Brasil com o Proinfa, a participação do BNDES no apoio aos investimentos em geração eólica era limitada. A carteira de projetos do Proinfa apoiada pelo BNDES possuía uma maior participação dos investimentos relacionados às pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Nesse período a regra de credenciamento utilizada pelo BNDES para avaliação

¹⁵³ O BNDES possui uma série de comitês de acompanhamento e decisão, a exemplo dos comitês de crédito e operações e do comitê gerencial formados pelos superintendentes da instituição, que são os executivos do corpo técnico que respondem diretamente à Diretoria.

dos aerogeradores consistia na metodologia do índice de nacionalização calculado pelo peso e valor dos equipamentos (ver capítulo 3).

Com os primeiros leilões que tiveram contratação de energia eólica a partir de 2009, o número de solicitações de financiamento a projetos de geração eólica no BNDES aumentou sensivelmente. Os financiamentos aos projetos de geração eólica são analisados pela área de energia do BNDES. A equipe técnica dessa área recebe as solicitações de financiamento, analisa os projetos¹⁵⁴ e os submete à aprovação de comitês técnicos internos e da Diretoria da instituição. Após a aprovação segue-se a contratação do financiamento e seu acompanhamento, que consiste basicamente na liberação de recursos mediante a verificação financeira dos gastos realizados pelo cliente e um acompanhamento da implantação do empreendimento por meio de visitas técnicas à campo.

Quando há investimento em equipamentos nesses projetos, exige-se a apresentação do código Finame na etapa de acompanhamento. O código Finame é obtido mediante o credenciamento dos equipamentos, que é responsabilidade de outra área interna do BNDES. Por conta dessa rotina estabelecida, as áreas operacionais responsáveis pelo acompanhamento dos financiamentos interagem frequentemente com a equipe de outra área interna dedicada ao credenciamento de equipamentos.

O aumento do volume de pedidos de financiamento aos parques de geração eólica implicou uma elevação no número de novos pedidos de credenciamento de aerogeradores. A regra utilizada para os primeiros pedidos de credenciamento foi a regra geral vigente na ocasião, baseada nos índices de nacionalização em peso e valor (IN valor e peso). Por considerar, para o cálculo desses índices, a relação “custo/valor de venda” e “peso dos componentes fabricados no país/peso total”, o IN em valor apresentava distorções ao incorporar as margens dos fabricantes (ver capítulo 3).

No caso dos aerogeradores, foi observada uma discrepância relevante no cálculo do IN de valor e peso em relação à participação dos componentes de maior valor agregado dos aerogeradores. A metodologia não estava adequada à indústria eólica. O número de fabricantes que atenderiam à essa regra era limitado e não contemplaria algumas das empresas que vinham negociando ou já tinham obtido contratos de encomendas para o fornecimento dos aerogeradores junto aos investidores em energia eólica.

Importante lembrar que a aquisição de aerogeradores representa cerca de 70% dos investimentos nos parques de geração eólica. O não atendimento às regras de credenciamento vigentes impossibilitaria o financiamento de uma parte dos investimentos nos parques eólicos. O BNB, que seria uma alternativa caso o BNDES não pudesse financiar os empreendimentos, não tinha capacidade

¹⁵⁴ A etapa de análise envolve a avaliação de diversos elementos do projeto como a sua viabilidade financeira, regularidade ambiental, aderência às políticas operacionais do BNDES, estrutura de garantias, nível de risco de crédito e alavancagem, análise cadastral dos investidores, dentre outros.

de atender à toda a demanda existente. Em primeiro lugar, o BNB financia apenas projetos realizados na região nordeste e, naquele momento inicial, o volume de investimentos na região Sul era relevante.

Além disso, o ciclo de investimentos era robusto e o BNB possuía uma situação patrimonial insuficiente para atender a demanda de crédito *vis a vis* os riscos presentes nesses empreendimentos e a necessidade de manter níveis saudáveis de concentração de risco setorial¹⁵⁵. Fontes de financiamento privadas tampouco estavam disponíveis nos prazos e condições adequados às necessidades dos investimentos nos parques eólicos. Era necessário, portanto, que o BNDES conseguisse apoiar os projetos.

Diante desse cenário, a equipe de credenciamento do BNDES percebe uma oportunidade para promover o adensamento industrial local por meio da estruturação de ajustes em sua metodologia de credenciamento. Tiveram a iniciativa de negociar Planos de Nacionalização Progressiva individuais (PNPi's) junto aos fabricantes de aerogeradores. Essa foi a primeira grande inovação realizada pelo BNDES em sua política de credenciamento de aerogeradores.

Como visto no capítulo 3, os PNPi's consistiam em compromissos de nacionalização realizados entre os fabricantes de aerogeradores e o BNDES. Esse primeiro esforço de adaptação da regra de conteúdo local possibilitou o credenciamento de 11 fabricantes. Em paralelo, os contratos de financiamento aos parques de geração foram firmados e se avançou para a implantação dos projetos.

Com o decorrer desses contratos e dos investimentos, as equipes técnicas identificaram que alguns dos fabricantes não tinham atendido os compromissos de nacionalização estabelecidos nos PNPi's. A carteira de crédito aos parques eólicos no BNDES já era, todavia, relevante. A equipe técnica e a diretoria da instituição se viram diante de uma situação que permitia dois caminhos. O primeiro seria apoiar os projetos com equipamentos importados, renunciando à regra de nacionalização da Finame, ou mesmo financiar apenas os gastos realizados no país, excluindo o apoio aos aerogeradores, uma opção que limitaria significativamente o valor a ser financiado. O segundo caminho passava por reestruturar toda a metodologia até então definida nos PNPi's. A decisão tinha impacto em muitos empreendimentos que se encontravam em andamento.

A opção pela segunda alternativa foi tomada mediante a apresentação de diagnóstico à diretoria do banco, que acompanhava de perto o assunto. O departamento responsável pelo credenciamento procedeu com a suspensão dos fabricantes que tiveram irregularidades encontradas. A decisão pela suspensão foi essencial nesse momento, uma vez que paralisava o processo de acompanhamento dos

¹⁵⁵ <https://ri.bnb.gov.br/informacoes-financeiras/central-de-resultados/> (acesso em 11/11/2024). A carteira de crédito de infraestrutura do BNB em 2009 era de R\$ 895 milhões e do FNE R\$ 2,3 bilhões, muito inferior à demanda por investimentos em geração eólica naquele momento. Em 2012, a carteira de crédito no BNB considerando todos os setores era de aproximadamente R\$ 11 bilhões, o que corresponderia ao investimento de um ano realizado na geração eólica nesse período (2GW \approx R\$ 10-11 bilhões).

investimentos em aquisição dos aerogeradores, ao mesmo tempo que não cancelava os códigos Finame já concedidos e dava a oportunidade aos fabricantes de regularizarem sua situação.

O impacto no setor foi muito relevante. O BNDES era, na oportunidade, o principal agente financiador dos parques de geração. Cerca de metade dos fabricantes foram suspensos. Ter o credenciamento suspenso implicava estar fora do mercado brasileiro. Era necessário encontrar uma solução que permitisse o financiamento aos parques eólicos. A pressão externa decorrente dessa decisão foi enorme e a Diretoria da instituição teve papel fundamental em administrá-la.

Diante desse cenário, a equipe técnica do credenciamento realizou um mapeamento das capacidades disponíveis na indústria brasileira e dos segmentos que poderiam absorver a demanda de componentes dos aerogeradores e fabricá-los localmente. Esse mapeamento evidenciou o potencial arraste da indústria local que os investimentos na aquisição de aerogeradores poderiam viabilizar. Essa temática voltará a ser abordada nas dimensões do eixo 3 do modelo analítico na próxima seção.

Outro ponto a se destacar é que esse trabalho foi possível pela experiência da equipe técnica com o credenciamento de equipamentos em diversos setores da economia. O credenciamento da Finame propiciava uma visão única da indústria brasileira de bens de capital. Essas capacidades foram complementadas com a realização de treinamentos para a capacitação da equipe sobre os equipamentos de geração eólica, inclusive, com a participação em seminários no Brasil e no exterior, visando conhecer o estado da arte da tecnologia de aerogeradores.

Elaborou-se, a partir disso, proposta de nova metodologia de credenciamento de aerogeradores (NMCA), que é apresentada à Diretoria e aprovada em 2012. Essa foi uma segunda inovação disruptiva na política de credenciamento do BNDES. Pela primeira vez lançou-se uma metodologia estabelecendo condições para um setor específico da economia. Nas entrevistas foi destacada a importância das capacidades disponíveis no BNDES para a realização desse trabalho.

*“O BNDES tinha as estruturas, o credenciamento, as práticas, os processos. As empresas viam que o BNDES tinha um nível de conhecimento para fazer bem estruturado e de forma coerente para que fosse aceito pela indústria.”
(entrevistado 8 - instituição pública)*

Outro aspecto destacado nas entrevistas tem relação com a percepção dos diversos agentes sobre o mandato da instituição e a sua legitimidade em estabelecer os parâmetros de operação dos financiamentos e as contrapartidas exigidas na política de conteúdo local.

*“A instituição tinha um histórico de atuação na Finame que lhe dava legitimidade e credibilidade.”
(entrevistado 8 - instituição pública)*

“Os fabricantes e os investidores não queriam mudanças na regra de credenciamento, mas reconheciam no BNDES uma instituição confiável e com um mandato bem definido na Finame e no financiamento. Quando a regra (de conteúdo local) foi definida todos seguiram.”
(entrevistado 2 - iniciativa privada)

Nesse processo, a equipe técnica do BNDES cooperou internamente de forma muito importante. A interação entre a área de energia e o departamento de credenciamento foi um dos pontos fortes dessa cooperação. Houve um alinhamento interno de visões para viabilizar os financiamentos aos parques eólicos, sem renunciar à política de conteúdo local. Os executivos de ambas as áreas e departamentos tiveram papel chave nesse processo.

“As atividades de cada área interna não necessariamente precisariam estar alinhadas. A área de energia tem uma visão voltada ao financiamento do empreendimento. Enquanto o credenciamento se preocupa com a política de conteúdo local. Mas estávamos alinhados em torno da mesma visão, financiar os empreendimentos sem abrir mão da Finame.”
(entrevistado 10 - instituição pública)

“Ou financiávamos o projeto todo ou não financiaríamos. Não apoiariamos apenas a parte de obra civil, não faria sentido para o desenvolvimento do país. Percebemos que era possível conjugar ambos os objetivos naquele momento, embora o risco fosse grande, pois tratava-se de uma indústria nascente.”
(entrevistado 9 - instituição pública)

A Diretoria do BNDES deu autonomia às equipes técnicas para a elaboração dos planos e revisões de metodologia. Os riscos eram relevantes, caso as mudanças de metodologia não tivessem o efeito esperado. Não se sabia *a priori* se as empresas seriam capazes de atender as metas definidas na nova metodologia de credenciamento. A própria política de expansão da geração eólica poderia ser colocada em xeque.

A nova metodologia (NMCA) foi lançada mudando completamente a abordagem de credenciamento. Em vez de uma avaliação sobre o equipamento como um todo, o aerogerador foi decomposto em seus principais componentes. No lugar de um índice de nacionalização único, foram definidas etapas de fabricação local e de agregação de valor para cada um dos componentes, que deveriam ser cumpridas ao longo do tempo. Exigiu-se como contrapartida até mesmo a apresentação dos planos de investimentos dos fabricantes em novas unidades industriais.

*“Foi um momento muito rico. Os engenheiros do credenciamento trabalhavam de forma muito comprometida e motivada. A diretoria do banco teve muita confiança no trabalho técnico. Foram muitas horas para apresentações e análises. (A diretoria) aprovou e “bancou” as propostas junto aos agentes externos. Estavam envolvidos um volume significativo de investimento e riscos financeiros e de imagem para o BNDES.”
(entrevistado 10 - instituição pública)*

O plano foi definido para um horizonte de três anos. As equipes técnicas tiveram que desenvolver novas metodologias para o acompanhamento dos marcos estabelecidos, por exemplo, para verificar se os compromissos de implantação fabril vinham seguindo o cronograma acordado, uma atividade até então não realizada pela equipe de credenciamento.

As rotinas de acompanhamento estabelecidas demonstraram a necessidade de revisão de alguns aspectos da metodologia de credenciamento de aerogeradores, que foi ajustada em momentos diferentes e permitiu a prorrogação de algumas das metas definidas inicialmente.

A previsão da possibilidade de realizar ajustes na metodologia também foi formalizada e incorporada no regulamento geral de credenciamento, a norma interna que definia os processos operacionais do credenciamento no BNDES. Formalizou-se em resolução interna como deveriam ser tratadas e justificadas as necessidades de ajustes, uma evidência do aprendizado que a política de credenciamento de aerogeradores propiciou e da capacidade de instituição em reconfigurar suas capacidades internas, alterando seus procedimentos e criando novas rotinas operacionais.

A política foi bem-sucedida no fortalecimento da cadeia produtiva, como será evidenciado na seção 4.5. Muitas de suas inovações foram incorporadas às práticas do processo de credenciamento, o que resultou, em 2018, no lançamento da Nova Metodologia de Credenciamento Geral (NMCG). Essa metodologia adotou algumas das práticas e procedimentos desenvolvidos para o credenciamento de aerogeradores, ampliando sua aplicação para outros setores da economia.

Pode-se afirmar que, no que tange a política de conteúdo local de aerogeradores, as condições presentes na política industrial eólica e no BNDES - mandato bem definido, capacidades internas da organização, autonomia técnica e espaço para a inovação, alinhamento político interno que viabilizou assumir riscos e a existência de rotinas para identificação das melhores práticas - impulsionaram as inovações nos processos e procedimentos da política.

4.4. Análise dos regimes tecnológicos e as estruturas industriais

O terceiro eixo do modelo analítico das políticas industriais sistêmicas concentra-se na compreensão dos processos inovadores da estrutura industrial objeto da política, adotando como referência a perspectiva dos regimes tecnológicos. Essa perspectiva permite avaliar e identificar os elos dinâmicos da indústria. Avalia se a política considerou fatores como: as oportunidades para a base industrial já estabelecida no país; os segmentos com maior potencial inovador ou com potencial de expansão acelerada; as bases de conhecimento e competências críticas que precisam ser incentivadas e desenvolvidas na estrutura industrial para viabilizar o adensamento produtivo e inovador; e como a política implementou medidas para incentivá-las.

Esse eixo possui três dimensões:

E3.D1. Indústrias estratégicas e estrutura produtiva local.

E3.D2. Elos dinâmicos e bases de conhecimento.

E3.D3. Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico.

A seguir serão apresentadas as principais considerações acerca de cada uma dessas dimensões com base nos pontos de destaque obtidos na pesquisa de campo.

Dimensão 1 - Indústrias estratégicas e estrutura produtiva local.

A primeira dimensão aborda o desenvolvimento de indústrias estratégicas e da estrutura produtiva local. Avalia se a política identificou e incentivou essas indústrias de forma articulada à estrutura produtiva estabelecida no país. Se atuou junto às atividades consideradas promissoras para o desenvolvimento da indústria local. Se havia processos estabelecidos para a seleção das indústrias com possibilidades de expansão e rápido crescimento. Se esse processo de seleção e priorização contou com o apoio dos diferentes atores do SNI. Se houve uma rotina de acompanhamento e revisão periódica e se a política foi atualizada quando necessário.

Como já abordado, a política de conteúdo local da Finame foi o principal instrumento responsável por direcionar a demanda por aerogeradores do setor de energia para a estrutura produtiva local. A associação da PCL com o financiamento público do BNDES aos parques de geração eólica foi o mecanismo que viabilizou a orientação da demanda para a indústria local. Esta seção analisa como esse instrumento foi estruturado para impulsionar o desenvolvimento da indústria eólica, aproveitando as competências já existentes na indústria brasileira.

Também já foi abordado que, diante das oportunidades identificadas pela equipe técnica do BNDES e da necessidade de estruturar uma regra de nacionalização, que viabilizasse tanto o financiamento dos parques de geração eólica quanto a manutenção da lógica de financiamento da

Finame, baseada em índices mínimos de nacionalização, foi realizado um mapeamento das competências da base industrial brasileira. Esse mapeamento buscou identificar os recursos e capacidades disponíveis na indústria que poderiam ser aproveitados para promover a localização dos aerogeradores.

A regra setorial de credenciamento dos aerogeradores foi desenvolvida com esse enfoque e adotou uma abordagem diferenciada: em vez de exigir um índice mínimo de nacionalização global do aerogerador, optou-se por estabelecer a fabricação local de componentes específicos. Essa abordagem tinha como objetivo estimular segmentos específicos da indústria nacional que demonstravam potencial para se qualificar e atender à demanda do setor de energia.

Nas entrevistas, identificou-se que essa abordagem buscava viabilizar possíveis economias de escopo, que impulsionassem a indústria local já estabelecida em outros setores da economia pela diversificação de suas atividades para atender à demanda da indústria eólica. Tinha como referência uma política já estabelecida na indústria eletrônica, a política de Processo Produtivo Básico (PPB)¹⁵⁶.

“Uma inspiração para a nova regra de credenciamento do setor eólico foi a política de Processo Produtivo Básico (PPB) da indústria eletrônica. No PPB, o foco está nas etapas produtivas realizadas localmente, em vez de índices de nacionalização dos produtos. No caso da política de credenciamento teve-se a ideia de utilizar essa lógica para incentivar as economias de escopo, que promovessem a diversificação de outras indústrias já estabelecidas no país para o setor eólico.”
(entrevistado 10 - instituição pública)

No início, a metodologia de credenciamento (NMCA) foi estruturada com regras específicas de localização para aerogeradores com e sem caixa multiplicadora. Para cada uma dessas rotas tecnológicas, foram definidos marcos iniciais que avançavam gradualmente ao longo de seis etapas. Essas etapas previam a incorporação progressiva de novas atividades produtivas realizadas no país, até alcançar o último marco, no qual os aerogeradores seriam considerados “nacionalizados”. Cada etapa tinha um prazo estabelecido para sua conclusão. Apenas as empresas que cumprissem os requisitos da etapa anterior poderiam avançar para a próxima.

Para cada uma dessas etapas a regra de credenciamento definia exigências distintas para cada um dos três sistemas que compõem o aerogerador (“torres”, “pás” e “cubo e nacele”). Além disso, exigia-se a instalação de unidades industriais no país por parte dos fabricantes de aerogeradores. Assim, a regra estabeleceu como condições (i) que os fabricantes realizassem investimentos em novas plantas

¹⁵⁶ O PPB consiste em um conjunto mínimo de etapas de fabricação da indústria eletrônica (computadores, tablets, televisores, equipamentos de telecomunicações, etc.) que devem ser realizadas no Brasil para que um produto seja considerado como produzido nacionalmente. Essa política está vinculada a benefícios fiscais, como a redução ou isenção de impostos para empresas que cumprem essas exigências (Lei nº 8.387/1991 e Lei nº 8.248/1991 – “Lei de Informática”).

produtivas para a fabricação dos aerogeradores no país e não apenas importassem os componentes e os comercializassem localmente e (ii) que os componentes selecionados fossem adquiridos localmente.

Além disso, combinava, por vezes, um determinado número de exigências que deveria ser atingido pelos fabricantes e sua cadeia de fornecedores dentro de um universo maior de condições disponíveis para escolha. Por exemplo, na primeira etapa da metodologia, previa-se que o enquadramento do fabricante para análise do BNDES seria possível, se atendidos três de quatro condições mínimas, o que dava flexibilidade para que a indústria se organizasse para atender as diferentes regras.

Essas condições consistiam (i) na fabricação das torres no Brasil, em unidade própria ou de terceiros, com pelo menos 70% das chapas de aço fabricadas localmente ou concreto de procedência nacional; (ii) na fabricação das pás no Brasil em unidade própria ou de terceiros; (iii) na montagem do cubo no Brasil em unidade própria, com fundido de procedência nacional (fundido, usinado e pintado no país); e (iv) na montagem da nacelle no Brasil em unidade própria.

Dessa forma, a política permitiu um menor nível de conteúdo local no início do processo de estabelecimento da indústria como forma de viabilizar o financiamento dos parques de geração, ao mesmo tempo em que incentivava o investimento em algumas etapas do processo produtivo.

“A política de credenciamento começou com níveis mais baixos de conteúdo local quando se considerava o aerogerador como um todo, tipicamente 20 a 30%. Mas o foco estava em viabilizar a realização de algumas das etapas produtivas que depois impulsionariam maior nacionalização.”
(entrevistado 10 - instituição pública)

A nova regra de credenciamento combinava diferentes estratégias de exigência de conteúdo local. Para as torres, exigia-se tanto a fabricação no país quanto a utilização de insumos também produzidos localmente. Para as pás, a definição de fabricação no país abrangia o processo de transformação das matérias-primas, como resina, tecido de fibra de vidro, espuma de PVC e madeira balsa, no produto final, sem a obrigatoriedade de produção local desses insumos, cuja disponibilidade era limitada.

No caso do cubo, o processo de montagem local era considerado cumprido ao realizar a montagem da peça fundida junto com os rolamentos, o sistema de controle, os painéis elétricos do sistema de passo e a carenagem, mesmo que esses componentes pudessem ser importados. Já para a nacelle, o requisito de montagem local era atendido quando seus componentes eram recebidos de forma desagregada, montados no país e entregues como nacelle acabada, testada e pronta para instalação.

Essa primeira etapa tinha um prazo de cumprimento de um ano e meio, um prazo relativamente curto para o estabelecimento e entrada em operação de novas unidades industriais no Brasil. Os aerogeradores que cumpriam essas condições poderiam ter sua comercialização financiada pelo BNDES durante esse período.

Expirado o prazo para o cumprimento dessas condições, os aerogeradores só poderiam ser financiados pelo BNDES se atendessem novas exigências com um nível maior de agregação de valor local. As regras de cada uma das etapas já estavam definidas até o fim do prazo de três anos do plano de nacionalização elaborado pelo BNDES. Dessa forma, as empresas investiam para atender às demandas da etapa vigente, enquanto se preparavam para realizar os investimentos necessários para se capacitarem para atender às etapas futuras da regra.

Por exemplo, a segunda etapa do plano exigia que, no caso do cubo, ao menos um de quatro componentes (carenagem, rolamento de passo, sistema de acionamento do controle de passo e painéis de controle de passo) passassem a ser fabricados no país. Exigia, também, que os componentes selecionados pelas empresas estivessem credenciados no BNDES, para que fosse possível acompanhar o atendimento à regra.

No caso da nacelle, exigia-se o avanço na implantação da unidade industrial de acordo com o cronograma previsto da etapa anterior. Na terceira etapa, as pás deveriam ter um índice mínimo de nacionalização de 40%, isto é, deveriam ser fabricadas no país com uma parte dos insumos produzidos localmente. Além disso a regra definia, para cada um desses insumos (resinas, tecidos de fibra de vidro, etc.) o critério do que seria considerado produção local.

Essa era a lógica de construção da regra de credenciamento até a sexta e última etapa, quando a maior parte do processo de fabricação do aerogerador e de seus insumos deveria ser realizado no país. A regra manteve determinado grau de flexibilidade até a última etapa, permitindo para alguns dos componentes do aerogerador a escolha por parte dos fabricantes de um número mínimo de itens que deveriam ser fabricados localmente. Essas possibilidades de escolha eram organizadas em conjuntos de itens mais nobres ou que definiam estratégias distintas de nacionalização.

Assim, a metodologia conjugava exigências nacionalização, que eram as contrapartidas do financiamento do BNDES; flexibilidade, na escolha das estratégias de nacionalização para que a indústria se organizasse de forma que as competências existentes no país pudessem ser aproveitadas, em meio a um processo onde a própria indústria definiria os melhores caminhos para a nacionalização de alguns dos componentes; e planejamento ao definir os prazos para cada uma etapas em um plano coerente e de médio prazo (três anos), de forma que a indústria pudesse se organizar para atender a cada uma dessas etapas.

Pode-se afirmar, portanto, que a política buscou incentivar a criação de uma cadeia produtiva estratégica (cadeia produtiva de aerogeradores) de forma articulada à base industrial já existente. Além disso, ao estabelecer regras específicas para cada componente dos aerogeradores, ajustadas com base na avaliação da capacidade da indústria local de atender a essas demandas, é possível afirmar que a política também identificou os segmentos mais promissores da indústria local.

A presença de uma indústria metalmeccânica consolidada no país possibilitou que a regra de credenciamento exigisse uma curva de localização mais acelerada para o sistema de sustentação (torres) e para os componentes fundidos (*hub*) do sistema de conversão eletromecânica de energia.

Da mesma forma, a existência de fabricantes de pás no Brasil permitiu que, desde o início, fosse exigida a fabricação local das pás, embora permitindo inicialmente a importação dos insumos. A presença de uma indústria local de equipamentos elétricos também possibilitou a exigência de produção local de alguns desses componentes do aerogerador.

Em contrapartida, a ausência de fabricantes nacionais de caixas multiplicadoras - um componente de elevada complexidade técnica - resultou na inclusão desse item na lista de componentes críticos, permitindo aos fabricantes escolherem quais itens promoveriam para localização. A caixa multiplicadora não chegou a ser fabricada localmente.

Essas questões foram abordadas nas entrevistas e confirmou-se um intenso processo de articulação das instituições públicas, em especial da área técnica de credenciamento do BNDES, junto às indústrias locais para a realização do mapeamento das capacidades e competências técnicas disponíveis na indústria.

Destacou-se que a definição da regra de credenciamento envolveu um trabalho minucioso de análise para a compreensão das diferentes etapas de produção, insumos e componentes demandados. Ressaltou-se a importância do longo histórico do instrumento de credenciamento da Finame. Trata-se da base de informações mais completa existente no país sobre a indústria de bens de capital nacional. A base de dados da Finame propicia uma visão ampla sobre essa indústria e ajudou na identificação dos segmentos que poderiam fornecer os principais componentes dos aerogeradores.

Outro ponto ressaltado foi que, embora o BNDES tenha realizado uma ampla articulação com outros atores da indústria eólica e do sistema nacional de inovação para realizar o diagnóstico e estabelecer critérios para a seleção das indústrias mais promissoras, esse processo não foi realizado formalmente no contexto da política energética ou das políticas industriais (PITCE, PDP e PBM).

Faltou organização no âmbito da política para o mapeamento das competências de forma mais estruturada, algo que só ocorreu com o “Mapeamento da cadeia produtiva eólica no Brasil” realizado pela ABDI em 2014, após dois anos do lançamento da NMCA.

A existência de um mapeamento que pudesse ser utilizado como referência foi indicado como um aspecto que teria economizado esforço da equipe técnica e antecipado algumas dificuldades que foram encontradas no decorrer do processo de acompanhamento da regra de credenciamento. Citou-se, como referência o mapeamento de competências técnicas realizado pelo Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural (PROMINP).

“Sentimos falta de um ‘PROMINP da indústria eólica’. Tivemos que estruturar todo o trabalho do zero. O PROMINP nos impressionava pela organização técnica e pela qualidade do mapeamento das competências da indústria de petróleo e gás natural. O governo podia ter feito esse mapeamento e ajudado a estabelecer a política com menos dificuldades.”
(entrevistado 10 - instituição pública)

Outro aspecto destacado nas entrevistas foi a capacidade da política de conteúdo local de selecionar as indústrias e, ao promover o adensamento produtivo, gerar efeitos indiretos e atrair investimentos em segmentos não diretamente contemplados pelas exigências da regra de credenciamento.

“A seletividade da política (de eólica) esteve na política de conteúdo local do BNDES. Inicialmente promoveu a indústria pelas exigências de localização e isso teve um efeito também de desenvolvimento por encadeamentos produtivos de itens que não eram exigidos pela PCL.”
(entrevistado 12 - universidades e ICTs)

A definição das etapas de nacionalização demandou que o BNDES estabelecesse um processo de acompanhamento dos diferentes marcos de credenciamento. Com base nesse acompanhamento rotineiro e que precisava ser atualizado conforme o cronograma de localização avançava, identificou-se a necessidade de realizar ajustes na política, como já citado anteriormente.

Em alguns casos, os prazos para cumprimento dos marcos da regra foram estendidos. Isso ocorreu, por exemplo, quando se constatou que o tempo necessário para alcançar a escala mínima para a produção local dos flanges das torres eólicas foi maior do que o inicialmente previsto. Outro exemplo foi o não atendimento, em determinado momento, dos níveis de localização exigidos para pás eólicas, que precisaram ser retrabalhadas pelos fabricantes para se adequar à regra. Nesse caso, o atraso na entrega das pás, fabricadas durante uma etapa anterior da regra de credenciamento com menores exigências de localização, resultou em sua inadequação aos índices de nacionalização exigidos na etapa seguinte, devido a atrasos na entrega para um momento posterior à evolução do marco temporal

da metodologia de credenciamento. Essa situação demonstra a necessidade de monitoramento ao longo do processo, além da flexibilidade adotada para evitar penalizações desnecessárias à indústria.

O desenvolvimento da indústria e o atendimento às regras de acompanhamento foram acompanhadas e a política passou por duas atualizações mais amplas. Por conta dessas revisões e dos ajustes realizados na regra de credenciamento, o marco final previsto para 2016 acabou se estendendo até 2019, quando a última revisão da política foi realizada.

De uma forma geral, é possível afirmar que a política de conteúdo local do BNDES foi capaz de definir regras para incentivar a estrutura produtiva do país, inserindo-a na indústria eólica, atuou nas atividades e segmentos com maior potencial de desenvolvimento local, definiu processos de seleção e priorização das indústrias de forma articulada com outros atores que atuavam no contexto da política e foi capaz de revisar periodicamente esses mecanismos de seleção conforme o processo de desenvolvimento se desenrolou.

Dimensão 2 - Elos dinâmicos e bases de conhecimento habilitadoras.

A segunda dimensão avalia os elos dinâmicos e as bases de conhecimento habilitadoras. Analisa se a política identificou os elos dinâmicos e, a partir disso, direcionou incentivos para a criação de capacidades inovadoras nesse segmento e de competências-chave da atividade industrial foco da política. Se os diferentes mecanismos e incentivos estiveram voltados para a criação de capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas e incentivaram a inovação e a utilização das bases de conhecimento habilitadoras. E se a política priorizou o desenvolvimento de empresas nacionais nos elos dinâmicos.

Os elos dinâmicos de uma indústria são as atividades realizadas por determinado segmento de empresas que desempenham um papel estratégico no impulso do crescimento, da inovação e da competitividade da cadeia produtiva como um todo. Esses elos são caracterizados por sua capacidade de gerar efeitos multiplicadores ao promover interações tecnológicas, econômicas ou produtivas entre diferentes segmentos da cadeia de valor.

Na cadeia produtiva de equipamentos para a geração eólica, os fabricantes de aerogeradores são empresas com capacidade de P&D e de coordenação das cadeias de suprimentos (ver capítulo 2). As estratégias definidas por essas empresas influenciam todo o arranjo de atividades dessa indústria e sua interação com agentes de outros subsistemas. Portanto, o segmento de atuação e a organização dessas empresas pode ser considerado um elo dinâmico da cadeia produtiva de aerogeradores. Há, todavia, como visto no capítulo 2, uma série de outras atividades dinâmicas do ponto de vista da inovação na cadeia de fornecedores, a exemplo do desenvolvimento de pás eólicas.

Como discutido na dimensão anterior, a política de conteúdo local do BNDES buscou incentivar as atividades mais nobres do processo de fabricação dos aerogeradores. Eram entendidas como mais nobres aquelas atividades de maior agregação local de valor. O sistema de conversão eletromecânica de energia, onde se concentram as atividades dos fabricantes de aerogeradores foi identificado como alvo prioritário da política.

Uma evidência disso, são as exigências de localização que foram direcionadas à constituição de capacidades produtivas locais nesse segmento, que buscava ao final do plano fomentar que essas atividades mais complexas fossem realizadas no país. Sendo assim, é possível afirmar que a política teve um olhar voltado para esse elo dinâmico da cadeia produtiva de aerogeradores. Resta discutir se adotou os incentivos adequados para fomentar as atividades inovadoras locais.

O foco da PCL do BNDES residiu no processo fabril local. As exigências de localização tratavam das etapas produtivas a serem internalizadas no país. A política teve, portanto, o mérito de incentivar o desenvolvimento e a absorção pela indústria local de novos processos produtivos. As empresas da cadeia produtiva realizaram grande esforço inovativo quando se trata do estabelecimento de novas formas de organização da produção.

No que diz respeito ao desenvolvimento de produtos, a PCL não diferenciava entre produtos desenvolvidos no país ou no exterior. Não incluía, por exemplo, exigências ou incentivos que favorecessem atividades relacionadas ao desenvolvimento das etapas produtivas ou dos bens fabricados. Essa abordagem foi incorporada apenas posteriormente na Nova Metodologia de Credenciamento Geral (NMCG), lançada em 2018, e aplicável a todos os setores da economia. A NMCG introduziu os "qualificadores" (Q) na contabilização do Índice de Credenciamento (IC = IEP + Q), criando estímulos para que as empresas realizassem atividades inovadoras no Brasil, como investimentos em P&D e contratação de mão de obra técnica (ver capítulo 3)¹⁵⁷.

A PCL, tampouco, distinguia condições entre empresas nacionais ou estrangeiras. O próprio financiamento do BNDES não realiza tal distinção. Para todos os efeitos, atividades realizadas no Brasil são entendidas como "nacionais"¹⁵⁸. Sendo assim, a PCL funcionou como um mecanismo de atração de investimento estrangeiro direto (IED), em especial, no segmento de fabricação de

¹⁵⁷ <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/servicos-online/credenciamento-de-equipamentos>

¹⁵⁸ O artigo da Constituição Federal Brasileira de 1988 que definia o conceito de empresas nacionais é o Art. 171. Entretanto, ele foi revogado pela Emenda Constitucional nº 6 de 1995. Antes da revogação, o artigo estabelecia critérios que diferenciavam empresas nacionais de empresas estrangeiras. Assim, atualmente, todas as empresas sediadas e estabelecidas no território nacional são consideradas empresas brasileiras, independentemente da origem do capital. O Art. 172., todavia, abre a possibilidade de disciplinar, por meio legal e com base no interesse nacional, os investimentos de capital estrangeiro (p.ex. IED), incentivar os reinvestimentos e regular a remessa de lucros.

aerogeradores. Uma evidência disso é encontrada no número de empresas estrangeiras (OEMs) que se instalaram no país no decorrer da política.

Pode-se afirmar, portanto, que, pelo lado da demanda (leilões + financiamento + PCL), a política não foi orientada às atividades de inovação mais importantes dos elos dinâmicos da cadeia produtiva de aerogeradores. De fato, como evidenciado nas entrevistas, as empresas estrangeiras que se estabeleceram no país continuaram realizando as atividades de desenvolvimento de novos modelos de aerogeradores em suas matrizes localizadas no exterior. Quando muito, realizaram adaptações nesses modelos para as condições de operação encontradas no país, outro aspecto confirmado nas entrevistas.

A política industrial eólica encontrava em outros mecanismos os incentivos para a realização de atividades de P&D no Brasil. BNDES e Finep apoiaram durante todo o ciclo da política os investimentos em inovação por meio de seus mecanismos de crédito e subvenção econômica. A cláusula regulatória de investimento mínimo em inovação do setor elétrico (P&D Aneel) também direcionou recursos não-reembolsáveis para os investimentos em inovação.

Esses mecanismos apoiaram investimentos em inovação realizados por empresas nacionais - aqui entendidas aquelas empresas com origem de capital brasileiro. Alguns casos já foram citados no capítulo 3, a exemplo, dos investimentos da WEG no desenvolvimento de aerogeradores e da Tecsis no segmento de pás eólicas, assim como, de diferentes empresas do segmento do sistema de sustentação. Houve, ainda, o caso do grupo Impsa e sua subsidiária WPE, que realizaram atividades de desenvolvimento de aerogeradores no Brasil. O grupo Impsa tem seu controle acionário na Argentina, mas a proximidade com o mercado brasileiro e seu histórico de atuação no setor de energia incentivou sua entrada no mercado de geração eólica no país¹⁵⁹.

Esses instrumentos deram prioridade às atividades de inovação e identificaram os segmentos mais dinâmicos da cadeia produtiva como foco de atuação. A identificação dos elos dinâmicos foi, portanto, considerada no desenho e na alocação de incentivos. Pode-se afirmar que a política teve uma atuação nos elos dinâmicos da cadeia produtiva de aerogeradores pelo “lado da oferta”.

Isso não quer dizer que esses mecanismos foram adequados à criação de competências-chave na indústria nacional. Os instrumentos tiveram dificuldades de alocação de orçamento no decorrer da política - ver capítulo 0 e a queda do orçamento dos mecanismos de subvenção econômica e ICT-empresa da Finep. O P&D Aneel, por sua vez, realizou apenas uma chamada estratégica voltada para o desenvolvimento de aerogeradores.

¹⁵⁹ WPE/Impsa e Tecsis tiveram problemas financeiros durante a década de 2010. A primeira não opera mais no mercado brasileiro. A segunda vem se reorganizando e buscando retomar suas atividades.

O volume de incentivos alocados e, principalmente, a falta de continuidade desses mecanismos não permitiram que a atuação da política nos elos dinâmicos da cadeia produtiva se sustentasse ao longo do tempo. Pode-se afirmar que a política teve uma articulação insuficiente de seus mecanismos de incentivo - de formação de mercado e de financiamento à cadeia produtiva - no que tange a criação de capacidades dinâmicas no país nas atividades mais nobres da inovação da cadeia produtiva de aerogeradores.

A WEG permanece sendo a única empresa nacional com atuação no segmento de fabricação de aerogeradores no país e possui uma participação pequena do mercado doméstico¹⁶⁰. As escalas do mercado doméstico permitiriam um resultado mais expressivo no que tange a participação de empresas nacionais na indústria eólica (ver considerações a esse respeito no capítulo 2 - seção sobre as políticas industriais nos EUA e China).

Ainda assim, é possível afirmar que a WEG é um caso de sucesso de constituição de capacidades no elo mais importante da cadeia produtiva de aerogeradores. Seu *backlog* de projetos realizados não é desprezível e a empresa segue investindo no desenvolvimento de aerogeradores de maior potência nominal. Uma evidência disso é que a empresa está desenvolvendo modelos de aerogeradores com potência nominal de 7MW para operação em alturas superiores a 100m e com um rotor com diâmetro de 172 metros.

Investigou-se também se havia alguma distinção da política na esfera estadual que priorizasse as empresas de capital nacional. Não foram encontrados mecanismos de incentivo formais que fizessem qualquer distinção por origem de capital. Todavia, salientou-se que, no processo de desenvolvimento dessa indústria, a articulação da política se dava primeiro com as empresas já estabelecidas no país.

“Não era uma priorização formal do capital nacional, se dava nas instâncias de articulação e negociação da política. Mas a indústria nacional não tinha algumas das competências críticas para atuar nos elos mais relevantes, em especial, no desenho e integração dos aerogeradores. A demanda criada era de curto prazo e, quando existia, demandava fornecimento em um horizonte curto de tempo. A continuidade do processo por alguns anos deu um horizonte de mais longo prazo que teria ajudado caso os instrumentos tivessem priorizado formalmente o capital nacional.”

(entrevistado 17 - setor público)

A pesquisa questionou os entrevistados também sobre a importância das diferentes bases de conhecimento para o desenvolvimento da indústria eólica no país e, em particular, para as atividades da cadeia produtiva de aerogeradores.

¹⁶⁰ A participação da WEG na capacidade já instalada de geração eólica no Brasil é inferior a 6%.

Tabela 13 – Avaliação dos entrevistados sobre as bases de conhecimento da indústria eólica

Na sua visão, quais os conhecimentos mais importantes para o desenvolvimento e a inovação na indústria eólica? <i>Classifique sendo "0" irrelevante; "1" pouco relevante; "2" relevância média; e "3" muito relevante.</i>	Nota <i>(média dos respondentes)</i>
Engenharia mecânica estrutural	2,7
Engenharia de materiais e metalúrgica	2,6
Engenharia de produção	2,6
Geociências e física	2,4
Engenharia elétrica	2,4
Engenharia de mecânica de fluidos	2,1
Engenharia civil	2,1
Ciências da computação	2,0

Dentre as diferentes bases de conhecimento indicadas pelos entrevistados, destacam-se as engenharias de mecânica estrutural, de materiais e metalurgia e de produção. A primeira foi apontada como essencial tanto para o desenvolvimento de aerogeradores, como para o processo de fabricação e instalação dos aerogeradores nos parques eólicos. A engenharia de materiais e metalurgia foi indicada como mais relevante para a fabricação de alguns dos componentes dos aerogeradores, a exemplo dos fundidos que compõem o *hub* e dos materiais especiais que são utilizados nas pás eólicas. A engenharia de produção, por sua vez, foi ressaltada pela sua relevância para o desenvolvimento de novos processos produtivos e como essencial para a inserção das empresas brasileiras nas cadeias produtivas das EMNs.

As geociências e física é o grupo de conhecimentos envolvidos, por exemplo, nas atividades de estudos dos ventos e na identificação das melhores localidades de instalação dos parques eólicos. Esses conhecimentos foram indicados como importantes para a constituição de empresas de serviços, que tiveram uma atuação destacada no mapeamento das jazidas de vento nas diferentes regiões do país no início do processo de expansão da geração eólica. Essas empresas atuam também nas atividades de otimização da geração nos parques eólicos.

A engenharia elétrica foi considerada relevante para o fornecimento de alguns dos componentes do sistema eletromecânico de conversão de energia. Foi apontado que o Brasil possui competência nesse segmento, tanto na atividade industrial, quanto nas universidades e institutos de pesquisa.

Por fim, foram citadas com menor destaque a engenharia de mecânica de fluidos, a engenharia civil e as ciências da computação. Em alguns casos, todavia, com uma importância crescente nos últimos anos. A primeira está associada com a capacidade de projetar as pás eólicas e a aerodinâmica das naceles. Foi relacionada às competências disponíveis no país em engenharia aeronáutica. O caso da Tectis é emblemático nesse sentido. A empresa foi fundada por engenheiros aeronáuticos brasileiros e se estabeleceu no país antes do período de maior escala do mercado doméstico.

A Tecsis implementou um processo inovador de fabricação de pás eólicas por infusão, substituindo o método tradicional de laminação, que utilizava moldes e a aplicação manual de resina epóxi¹⁶¹ e fibra de vidro. Essa mudança resultou em um significativo ganho de produtividade, com redução de custos e melhoria na qualidade do produto. Com isso, a empresa se tornou um ator relevante no cenário internacional da indústria eólica até o final da década de 2000, exportando para o mercado americano e estabelecendo uma parceria estratégica com a GE. Contudo, no início da década de 2010, a Tecsis enfrentou problemas relacionados à qualidade na produção das pás eólicas e, posteriormente, dificuldades financeiras. É importante destacar que a empresa não desenvolvia os projetos das pás, sua vantagem competitiva residia na eficiência de seus processos produtivos.

“A Tecsis chegou a ser uma das maiores compradoras de fibra de vidro do mundo. Fez uma inovação em escala global em seu processo produtivo de pás eólicas. Até 2007 exportava 100% de sua produção. A crise econômica de 2008 abalou o mercado de energias renováveis americano e reduziu drasticamente as encomendas da GE, sua principal compradora, em um momento em que o mercado brasileiro ainda não tinha atingido seu auge.”
(entrevistado 12 - fornecedor)

A engenharia civil foi apontada como relevante para a implantação dos parques eólicos, em especial, nas atividades relacionadas às fundações das torres dos aerogeradores. Diversas empresas brasileiras de engenharia civil entraram nesse segmento fornecendo torres de concreto. Empresas do segmento de telecomunicações e transmissão de energia também forneceram torres metálicas e treliçadas para a implantação dos parques eólicos.

As ciências da computação foram apontadas pela sua relação com os sistemas de controle e operação dos aerogeradores e com as atividades de gestão dos sistemas de geração e transmissão de energia. Com o avanço do mercado de geração eólica no país e a inserção das fontes intermitentes de energia (solar e eólica) na matriz elétrica, novas competências serão demandadas para a gestão do sistema elétrico, que deveria avançar na utilização de ferramentas mais sofisticadas da inteligência artificial e *big data*.

Outras bases de conhecimento mencionadas pontualmente nas entrevistas incluem a engenharia ambiental, voltada para a prevenção e mitigação dos impactos ambientais decorrentes da expansão dos parques de geração eólica; a robótica, a mecatrônica e a automação, aplicadas à padronização da

¹⁶¹ Resina epóxi é um polímero termo-endurecível amplamente utilizado em aplicações industriais devido às suas propriedades químicas, mecânicas e adesivas. É composta por um componente base (resina) e um agente endurecedor (catalisador) que, quando misturados, iniciam uma reação química de cura, resultando em um material rígido, resistente e com alta durabilidade.

produção dos componentes dos aerogeradores; e a manutenção preditiva e inspeção por drones, que ganham relevância à medida que a idade média dos parques eólicos instalados aumenta.

Quanto ao papel do subsistema de educação e C&T na promoção dos elos dinâmicos, destacou-se a relevância das capacidades desenvolvidas em universidades e institutos de pesquisa na área de engenharia aeronáutica para a formação de competências no segmento de pás eólicas, conforme mencionado anteriormente. Também foram ressaltadas as competências existentes nas áreas de engenharia elétrica, mecânica e de metalurgia. A proximidade de algumas empresas nacionais com as universidades e institutos de pesquisa foi apontada como um dos fatores que contribuíram para a qualificação das empresas brasileiras da cadeia de fornecedores.

Todavia, o papel do subsistema de educação e C&T foi indicado como limitado no desenvolvimento de inovações nos elos dinâmicos da cadeia produtiva. Os projetos em parceria com as empresas, em geral, possuíam um baixo valor e foram pulverizados por diversas universidades, sem necessariamente seguir uma estratégia de desenvolvimento que articulasse os diferentes projetos.

A inexistência de um laboratório nacional capaz de realizar os testes das pás eólicas e de aerogeradores completos foi apontada como uma lacuna importante para um melhor posicionamento da cadeia produtiva nas atividades de inovação. A ausência de institutos de pesquisa com infraestrutura para o estudo e desenvolvimento de aerogeradores adequados às condições de vento brasileiras foi apontada como uma importante limitação encontrada no SNI de eólica.

Diante das considerações apresentadas nesta dimensão é possível afirmar que a política identificou os elos dinâmicos da cadeia produtiva de aerogeradores e os considerou, dentro de certos limites, no desenho dos mecanismos da política. A política teve êxito em adensar a cadeia produtiva, porém teve um impacto limitado em incentivar um melhor posicionamento das empresas nacionais nos elos dinâmicos dessa indústria.

Dimensão 3 - Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico.

A terceira, e última, dimensão avalia os padrões específicos da inovação e do regime tecnológico na cadeia produtiva de aerogeradores. Investiga se a política considerou as características da indústria que se deseja incentivar e os padrões que determinam suas dinâmicas de inovação. Se a política desenhou os incentivos a partir dessa ótica e promoveu segmentos específicos. Para isso, se identificou as principais oportunidades tecnológicas e os elementos que influenciam nas condições de apropriação da tecnologia e no fortalecimento das bases de conhecimento. E se a política considerou esses elementos na alocação dos incentivos, mesmo que usando mecanismos não orientados pela perspectiva dos regimes tecnológicos.

Como apresentado no modelo analítico das políticas industriais sistêmicas introduzido no primeiro capítulo, a perspectiva dos regimes tecnológicos permite organizar quatro vertentes da análise das propriedades das tecnologias e das atividades industriais: oportunidades tecnológicas; condições de apropriação das tecnologias; graus de acumulação do conhecimento tecnológico; e características das bases de conhecimento (Tabela 1 - capítulo 1).

As oportunidades tecnológicas podem ser avaliadas pelo nível (maiores ou menores oportunidades); variedade (maior ou menor número de alternativas de soluções tecnológicas); pervasiveness (possibilidade de aplicação de determinado conhecimento a vários ou a um número limitado de mercados); e origem das oportunidades para inovar.

A pesquisa de campo questionou os entrevistados sobre as oportunidades para a inovação nos aerogeradores e na cadeia produtiva que se estabeleceu no país. Em relação aos aerogeradores, confirmou-se que o aerogerador de três pás e eixo horizontal se estabeleceu na indústria eólica global como o *design* dominante, não havendo um risco iminente de alteração desse padrão. Sendo assim, as principais oportunidades para inovações de maior impacto não se encontram na reconfiguração completa desse equipamento, mas em inovações incrementais no projeto de engenharia dos aerogeradores que viabilizem a utilização de novos componentes e materiais. Todavia, a existência de um *design* dominante não impediria um regime onde estão presentes oportunidades para inovação, tanto no desenvolvimento de novos produtos como nos processos produtivos.

“As maiores oportunidades seguem, ainda, no desenho dos aerogeradores e na melhoria de processos produtivos e nos insumos de alguns componentes.”
(entrevistado 25 - fabricante de aerogerador)

Em linha com essa avaliação, destacou-se a variedade de soluções tecnológicas disponíveis para o desenvolvimento dos diferentes componentes dos aerogeradores. Tal aspecto confirma o potencial de “arraste” que essa cadeia produtiva possui junto à diferentes indústrias, como já discutido na dimensão anterior e no decorrer da tese. Os conhecimentos dessa indústria também foram relacionados a diferentes mercados, a exemplo das competências necessárias da indústria elétrica, metalmeccânica, materiais e insumos especiais, dentre outros.

Sobre a origem das oportunidades para inovar foi indicada maior preponderância dos avanços em equipamentos e componentes e nas redes externas de fornecedores. Novas descobertas da ciência não foram destacadas como relevantes no atual momento para o desenvolvimento de aerogeradores. No entanto, novas tecnologias da informação e comunicação, como a inteligência artificial e de tratamento de grandes volumes de dados (*big data*), foram apontadas como tecnologias emergentes com potencial disruptivo para a gestão das redes de geração, transmissão e distribuição de energia.

Dessa forma, no que tange às oportunidades tecnológicas, a indústria eólica e a cadeia produtiva de aerogeradores foram consideradas como tendo um nível relativamente elevado de oportunidades para inovar, com grande variedade de inovação, demandando conhecimentos que estão disseminados a diversas indústrias e com a origem principal das inovações em avanços em equipamentos, componentes e materiais desenvolvidos pelas fabricantes de aerogeradores e seus fornecedores.

Foram citadas como oportunidades de inovação para a cadeia produtiva no país, o desenvolvimento de processos produtivos e o aprendizado necessário para nacionalizar componentes, novas técnicas para a montagem dos parques eólicos, o desenvolvimento de torres híbridas para maiores alturas, dentre outros. De uma forma geral, foi confirmado que as empresas aqui estabelecidas seguem tendências definidas externamente no que tange o desenvolvimento dos componentes dos aerogeradores. A geração eólica *offshore* foi apontada como uma alternativa que pode impulsionar o desenvolvimento de inovações locais nos próximos anos.

A pesquisa investigou as condições de apropriação da tecnologia. Se havia um elevado nível de alternativas para proteger o conhecimento e os meios pelos quais a proteção do conhecimento e apropriação da tecnologia é realizado. O uso de patentes e de segredo industrial foram os meios destacados. O patenteamento de soluções é amplamente utilizado pelas fabricantes de aerogeradores.

O segredo industrial foi citado como uma estratégia recorrente nas relações entre fabricantes de aerogeradores e suas cadeias de fornecimento. Um exemplo frequentemente mencionado nas entrevistas foi o processo produtivo de pás eólicas. A maioria dos fabricantes de aerogeradores terceiriza a produção, fornecendo tanto o projeto dos componentes quanto os moldes necessários para sua fabricação. É uma prática comum a assinatura de acordos de confidencialidade antes da assinatura dos contratos de fornecimento. Estes acordos costumam conter cláusulas que proíbem a visitação por terceiros nas unidades industriais durante a fabricação de pás eólicas. Os fornecedores chegam a construir novos galpões para abrigar a produção exclusivamente direcionada a apenas um cliente fabricante de aerogerador.

A utilização do segredo industrial se relaciona com as possibilidades de adquirir o conhecimento na cadeia produtiva e assimilar as técnicas produtivas. Foi apontado que, embora as empresas sejam especializadas e não seja simples copiar o processo produtivo dos principais componentes dos aerogeradores, a não adoção de estratégias para a proteção da tecnologia certamente levaria a um ambiente onde o conhecimento poderia ser apropriado por terceiros que possuam competências técnicas mínimas constituídas.

Outra frente explorada aborda o grau de acumulação do conhecimento tecnológico. Buscou-se avaliar a importância que as atuais tecnologias e o acúmulo de conhecimento possuem para as futuras inovações. Para isso foi discutido se há processos em que os retornos crescentes de aprendizado são relevantes; o papel que os recursos organizacionais internos às empresas possuem na geração de novos conhecimentos; e se o sucesso no passado condiciona o sucesso no futuro (“sucesso gera sucesso”).

Sobre essas questões foram destacados, nas entrevistas, os elevadíssimos requisitos de qualidade e confiabilidades exigidos dos aerogeradores e de seus componentes. São equipamentos que permanecem em operação por períodos longos, podendo atingir mais de duas décadas. A introdução de inovações é, portanto, um processo realizado sob condições rígidas de avaliação dos possíveis impactos na operação dos aerogeradores. São exigidas certificações e definidos processos de homologação dos fornecedores.

Sendo assim, os retornos crescentes de aprendizado e os recursos organizacionais internos às empresas foram considerados como muito relevantes, tanto nos fabricantes de aerogeradores como na cadeia de fornecedores. As empresas inovadoras de hoje têm mais probabilidade de serem as líderes da inovação de amanhã, em especial, no segmento de aerogeradores e de pás eólicas.

Essa afirmação não exclui a possibilidade de entrada de novas empresas no setor. No entanto, indica que esse processo pode levar um longo tempo, especialmente se for adotada uma estratégia de desenvolvimento orgânica, isto é, baseada exclusivamente na geração de conhecimento por meios internos às empresas.

Devido a essas características, é comum que as empresas optem por estratégias de entrada que envolvam a aquisição de empresas já estabelecidas ou a utilização de mecanismos de transferência de tecnologias. Um exemplo disso é o caso da WEG, que combinou a aquisição de projetos de aerogeradores de empresas americanas com o desenvolvimento interno de novos modelos (Podcameni, 2014)¹⁶².

O último aspecto abordado se refere às características das bases de conhecimento. Buscou-se avaliar as propriedades do conhecimento no qual estão baseadas as atividades inovadoras. Se o conhecimento é genérico ou específico; tácito ou codificado; complexo ou simples - no sentido de integrar diferentes tipos de conhecimentos; independente ou sistêmico - se o conhecimento é

¹⁶² Outros exemplos abordados no capítulo 2 são as fabricantes de aerogeradores chinesas, a espanhola Gamesa e a americana GE, que também adotaram estratégias de emparelhamento tecnológico baseadas em aquisições estratégicas e transferências de tecnologias.

facilmente identificável e isolado ou parte de um sistema mais amplo de forma que não possa ser retirado desse sistema.

As barreiras técnicas e competências requeridas são relevantes nessa indústria. O conhecimento é específico e especializado na maior parte das atividades da cadeia produtiva. Pode, em alguns casos, ter relação com outras indústrias, por exemplo, no segmento de torres eólicas e de equipamentos elétricos do aerogerador. A competência de projeto e integração de componentes, bem como de fabricação de pás eólicas foram indicadas como atividades especializadas dessa indústria.

Na cadeia produtiva, foi destacado que o conhecimento é predominantemente tácito, especialmente nas atividades relacionadas ao projeto de engenharia dos equipamentos e à operação dos processos de fabricação dos componentes. No entanto, existe um certo grau de codificação, como nos requisitos técnicos estabelecidos para a produção das pás eólicas, que envolvem o uso de moldes e normas específicas. Em relação aos componentes fundidos e usinados, também foi apontada alguma codificação nas especificações técnicas de produção, embora as etapas do processo de fabricação permaneçam altamente tácitas. Um exemplo citado foi a soldagem de torres metálicas, uma etapa que exige profissionais com ampla experiência, devido à sua complexidade e natureza artesanal.

O conhecimento também foi considerado complexo e sistêmico, pois integra diferentes bases de conhecimento sofisticadas e depende de relações de cooperação entre diferentes atores. Esse é o caso das atividades de desenvolvimento e fabricação de aerogeradores. Embora, para alguns componentes o conhecimento possa ser isolado, mesmo nesses casos os elevados requisitos técnicos exigidos tornam o processo de fabricação igualmente complexo, como ocorre com as pás eólicas e com componentes como os flanges das torres metálicas.

Diante dessas análises é possível fazer algumas considerações acerca dos regimes tecnológicos presentes na cadeia produtiva de aerogeradores. Identificou-se um regime tecnológico predominante e outro secundário na cadeia produtiva de aerogeradores.

Tabela 14 – Regimes tecnológicos da cadeia produtiva de aerogeradores

Regime tecnológico	Oportunidades tecnológicas	Apropriação da tecnologia	Acumulação do conhecimento	Bases de conhecimento
Predominante <i>(fabricantes de aerogeradores e organização da cadeia produtiva)</i>	Elevadas e concentradas em avanços incrementais nos projetos dos aerogeradores, em componentes e insumos.	Bom nível de condições para apropriação da tecnologia, maior uso de patentes (fabricantes de aerogeradores) e de segredo industrial (na cadeia produtiva).	Elevado grau de acumulação com retornos crescentes de aprendizado, com destaque para os elevados requisitos de qualidade e confiabilidade dos aerogeradores e seus componentes.	Conhecimento complexo, específico, sistêmico e tácito, mas com algum nível de codificação.
Secundário <i>(em alguns elos da cadeia produtiva)</i>	Relativamente elevadas, com destaque para o desenvolvimento de novos materiais e na melhoria de processos produtivos.			Conhecimento complexo, específico e altamente tácito, mas separável e possível de ser identificado e isolado.

Fonte: Elaboração própria

Regimes que contem com uma base de conhecimento complexa, com algum grau de codificação, combinada com condições de alta oportunidade e apropriabilidade, podem levar ao desenvolvimento de redes externas compostas por empresas especializadas complementares que coexistem com integradores de sistema.

Esse parece ser o regime tecnológico predominante da cadeia produtiva de aerogeradores. A estrutura dessa indústria conta com uma cadeia produtiva especializada liderada por empresas integradoras e que definem as estratégias de inovação coordenadoras das suas longas cadeias de fornecimento de insumos e componentes.

Há, todavia, algum grau de flexibilidade para o surgimento de outros regimes em algumas atividades da cadeia de fornecedores. No caso de um conhecimento separável, mas altamente tácito e com algum grau de apropriabilidade, as empresas podem ser induzidas a desenvolver alianças estratégicas de longo prazo, relacionadas a atividades inovadoras complementares a serem implementadas em conjunto e compartilhadas.

Esse parece ser o regime tecnológico presente no segmento de pás eólicas, que conta com um processo produtivo altamente customizado, com algumas etapas sendo realizadas manualmente e com restrita padronização, o que o torna, conseqüentemente, muito dependente do conhecimento tácito contido na mão de obra do chão de fábrica.

De fato, é comum, nessa indústria, a existência de alianças de longo prazo entre as empresas integradoras de aerogeradores e os fabricantes das pás eólicas. Os elevados requisitos técnicos e de segurança desses componentes reforçam a necessidade e perenidade dessas alianças.

As políticas implementadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de aerogeradores não usaram a perspectiva dos regimes tecnológicos em sua formulação. Ainda assim, é possível identificar que alguns dos elementos acima discutidos foram considerados no desenho dos diferentes mecanismos da política ou não estiveram presentes.

Em primeiro lugar, conforme discutido nas dimensões anteriores, os fabricantes de aerogeradores foram um dos focos prioritários das políticas, que buscaram atrair investimentos, tanto locais quanto, principalmente, externos, nesse segmento da cadeia produtiva. Essas políticas estabeleceram ambientes com menor nível de incerteza, que promoveram o investimento na melhoria de processos produtivos nos fornecedores de componentes. Esses avanços foram essenciais para que essas empresas pudessem se inserir nas cadeias de fornecimento dos fabricantes de aerogeradores.

A política foi bem-sucedida em aproveitar as oportunidades para inovar no que se refere às melhorias de processos produtivos. No entanto, não obteve o mesmo êxito em atrair para o país as

atividades mais inovadoras relacionadas ao desenvolvimento de novos projetos de aerogeradores, com exceção das atividades conduzidas pela única empresa nacional do segmento, a WEG.

Outro aspecto que pode ser ressaltado é que a política teve êxito em reduzir as barreiras à entrada, promovendo a diversificação das empresas brasileiras na cadeia produtiva de aerogeradores. Em um regime tecnológico caracterizado por um elevado grau de acumulação de conhecimento e retornos crescentes de aprendizado, a política conseguiu incentivar a cooperação na cadeia produtiva, acelerando o processo de aprendizado nas etapas de produção de componentes e insumos. Esse avanço foi crucial para que as empresas pudessem atender aos altos requisitos técnicos e de confiabilidade exigidos pela indústria. Ressalta-se, ainda, o papel dos fabricantes na qualificação de suas cadeias de fornecedores, induzido pela política de conteúdo local do BNDES.

Entre as bases de conhecimento passíveis de identificação e de serem isoladas, destacam-se as medidas da política direcionadas ao segmento de pás eólicas. O Brasil já possuía competências nesse segmento da cadeia produtiva. A exigência de fabricação local desse componente estratégico, sem a obrigatoriedade de aquisição de insumos locais no período inicial da metodologia setorial de credenciamento de aerogeradores em 2012 (NMCA), favoreceu a entrada de novas empresas nesse elo da cadeia de fornecedores.

4.5. A cadeia produtiva de aerogeradores resultante da política

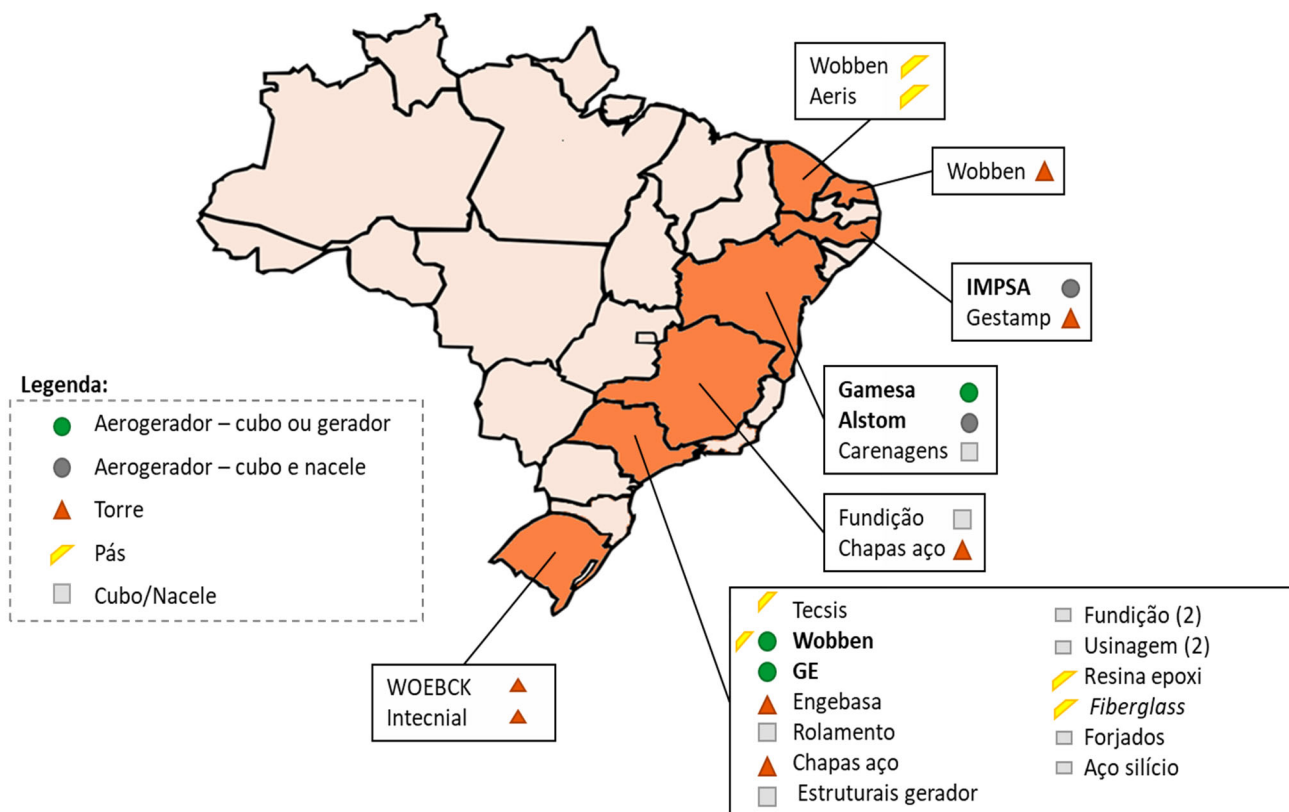
A política industrial eólica teve o êxito de incentivar o adensamento produtivo local e a constituição de uma importante cadeia produtiva de aerogeradores e seus componentes no país. No início da trajetória da política, o Brasil possuía apenas algumas empresas atuando nessa indústria.

Até 2007, durante a fase de implantação dos projetos do Proinfa, o Brasil contava com apenas um fabricante de aerogeradores e um de pás eólicas. Ao final do primeiro ciclo da política de credenciamento de aerogeradores, em 2016, a cadeia produtiva havia se expandido significativamente, com seis fabricantes de aerogeradores operando localmente e credenciados no BNDES, que demandavam bens e serviços de pelo menos 102 fornecedores e mais de 3 mil subfornecedores¹⁶³. A formação dessa cadeia produtiva contou com cerca de R\$ 1,3 bilhão de investimentos no setor industrial, que viabilizou a implantação de pelo menos 53 novas unidades industriais.

As Figuras 11 e 12 apresentam a distribuição geográfica da cadeia produtiva em 2013, passados os primeiros marcos da metodologia de credenciamento, e após suas principais etapas em 2016.

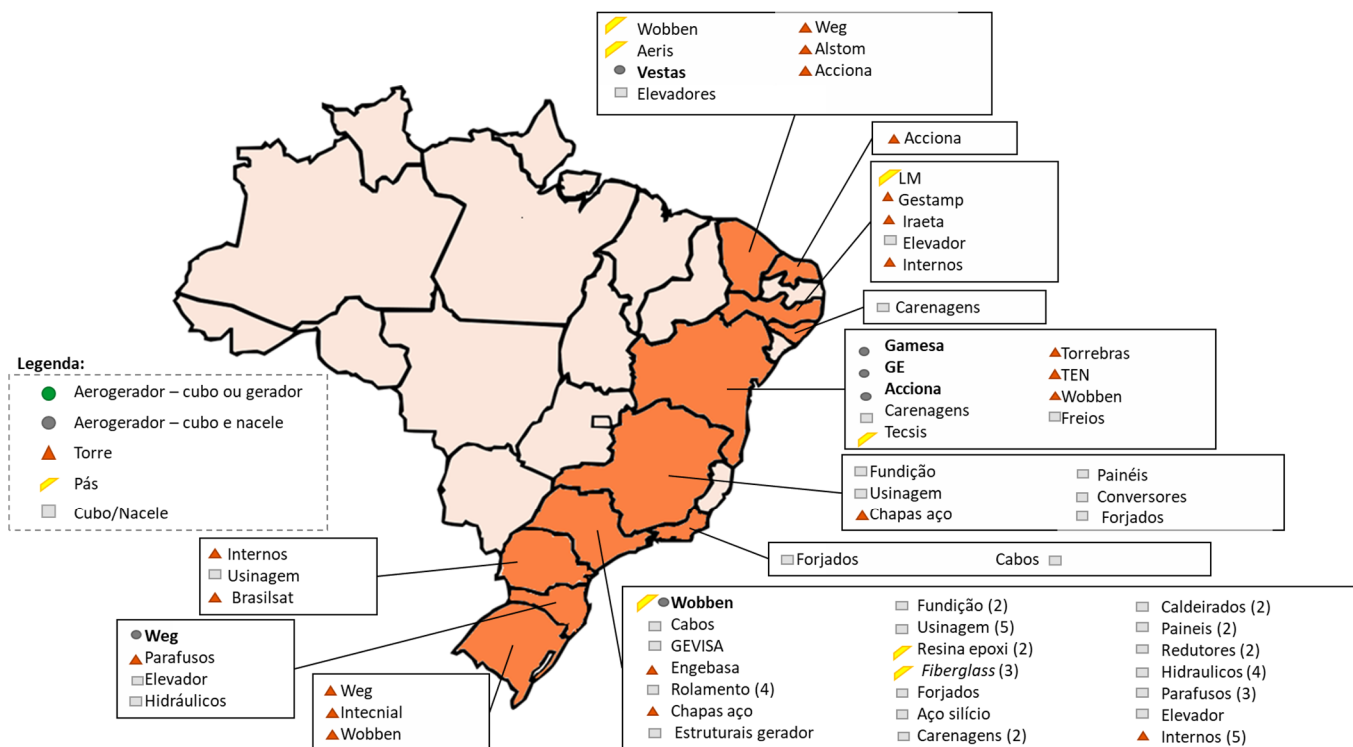
¹⁶³ Fonte: BNDES.

Figura 11 – Cadeia produtiva de aerogeradores no Brasil em 2013



Fonte: BNDES

Figura 12 – Cadeia produtiva de aerogeradores no Brasil em 2016



Fonte: BNDES

Nos últimos anos e, em especial, em 2024, a cadeia produtiva passa por um processo de desmobilização. Cinco fabricantes de aerogeradores mantêm plantas produtivas no país, embora algumas estejam com atividades paralisadas. Essas empresas demandam bens e serviços de aproximadamente 60 fornecedores e 1.600 subfornecedores.

Destaca-se, ainda, o investimento produtivo na região nordeste do país. Estados como Bahia, Pernambuco e Ceará receberam investimentos em novas plantas industriais de aerogeradores, pás e torres eólicas, assim como, de diversos outros componentes. Os polos industriais e portuários de Pecém/CE, Suape/PE e Camaçari/BA tiveram um papel importante na atração de investimento produtivo. Os estados dessa região souberam articular suas políticas locais para aproveitar as oportunidades presentes no processo de expansão da geração eólica, gerando emprego local e reduzindo custos logísticos, um fator crítico para a competitividade dessa indústria.

4.6. Conclusão do capítulo

O presente capítulo apresentou o SNI de energia eólica e seus subsistemas. Identificou os principais atores e as diferentes interações entre esses subsistemas. Em seguida discutiu os resultados da pesquisa de campo e das entrevistas realizadas com o objetivo de avaliar as políticas de desenvolvimento da indústria eólica e seu impacto na cadeia produtiva de aerogeradores.

O modelo analítico elaborado no capítulo 1 foi utilizado como referência para a estruturação da pesquisa de campo e para a discussão dos três eixos de análise das políticas industriais sistêmicas na área de energia. As onze dimensões que constituem esses eixos de análise foram avaliadas no capítulo à luz das considerações presentes nos capítulos 2 e 3 que trataram da indústria eólica e das políticas industriais para o seu desenvolvimento no Brasil, com o objetivo de fornecer um olhar detalhado sobre as diferentes dinâmicas que estiveram presentes nas duas décadas de duração da política.

No primeiro eixo “SNI e a visão sistêmica nas políticas industriais” foi possível abordar os momentos em que a política teve maior orientação aos desafios nacionais e discutir o alinhamento das políticas explícitas e implícitas. O desafio nacional, nesse caso, foi o de viabilizar a segurança energética por meio da expansão e diversificação da matriz elétrica brasileira. Esse desafio orientou políticas que foram desenhadas com a participação ativa de atores públicos e privados locais na maior parte do período analisado, em especial na primeira década da política, buscando a solução dos problemas de política por meio de capacidades locais e da atração de investimento estrangeiro direto.

O desenvolvimento da energia eólica teve impacto no desenvolvimento regional em diferentes regiões do Brasil (nordeste, sudeste e sul), embora esse não tenha sido um objetivo explícito das políticas. Analisou-se como a política promoveu a interação entre atores públicos e privados e se foi capaz de mediar conflitos e incentivar o estabelecimento de compromissos de longo prazo na cadeia

produtiva de aerogeradores. A criação de ambientes de menor incerteza e demanda crescente foram elementos fundamentais para isso. Discutiu-se como a política incentivou a criação de novas capacidades e o aprendizado na cadeia de fornecedores. Abordou-se como os diferentes subsistemas foram articulados, com destaque para os subsistemas de demanda, de produção e inovação, de C&T e educação e de financiamento. As principais dificuldades na implementação da política foram identificadas.

O segundo eixo “Inovação nas políticas e nas organizações públicas” discutiu a governança da política industrial eólica a partir das análises da política energética e das políticas industriais implementadas até 2014 (PITCE, PDP e PBM). Foi destacada a importância dos mecanismos de diálogo formais e informais entre instituições públicas. As capacidades das principais organizações públicas foram analisadas, buscando-se identificar os principais elementos que viabilizaram ou dificultaram a implementação da política. É possível afirmar que essas organizações possuíam capacidades já constituídas, que foram fundamentais para a execução das políticas e para os resultados obtidos. A existência da política de conteúdo local da Finame foi central para a conexão entre a política energética e a estrutura produtiva local.

Além disso, foi avaliado o processo de inovação no âmbito das políticas, tomando o caso da política de conteúdo local do BNDES como referência. Nesse processo, a autonomia da equipe técnica, o alinhamento interno entre o corpo técnico e a gestão de alto nível na instituição, a diretriz de política interna à instituição e a capacidade de assumir riscos da organização foram essenciais para lidar com os desafios enfrentados. A instituição demonstrou a capacidade de estabelecer rotinas e reconfigurar seus recursos internos, teve, portanto, capacidades dinâmicas para a execução de seu mandato. No período após a crise política e econômica de 2015 e 2016 esses elementos estiveram menos presentes com resultados distintos para a implementação da política.

O terceiro eixo “Regimes tecnológicos e as estruturas industriais” avaliou como a política articulou o desenvolvimento de uma indústria estratégica (indústria eólica) à estrutura produtiva do país. Discutiu-se como foram identificadas as capacidades existentes na indústria brasileira e como isso influenciou no desenho da política. Em seguida, foi abordado se a política esteve orientada à constituição de capacidades nos elos dinâmicos da cadeia produtiva de aerogeradores. Constatou-se que a política teve grande êxito em atrair investimento estrangeiro direto na fabricação de aerogeradores, porém sem o mesmo efeito na internalização de capacidades dinâmicas em empresas nacionais.

Ao fim, foi realizada uma análise sobre os regimes tecnológicos presentes na cadeia produtiva de aerogeradores. A pesquisa identificou haver um regime tecnológico predominante e outro secundário, que explicam a conformação dessa cadeia produtiva e os espaços disponíveis para internalização de capacidades dinâmicas na indústria brasileira. A política teve um olhar para alguns desses elementos.

No entanto, constatou-se que, mesmo no período de maior alinhamento dos diferentes mecanismos de incentivo durante a primeira década da política, foram encontradas dificuldades em impulsionar o desenvolvimento de capacidades dinâmicas nas empresas nacionais. As mudanças no cenário interno e externo tiveram consequências para a continuidade das políticas e afetaram, principalmente, a articulação dos instrumentos. Esses elementos serão abordados na conclusão da tese.

5. Conclusão da tese

A presente tese analisou duas décadas de políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil. Nesse período, uma nova cadeia produtiva de aerogeradores se instalou no país, se expandiu e entrou em crise. A política industrial eólica passou por diferentes fases: uma primeira fase inicial de estabelecimento da política entre 2002 e 2009; uma segunda fase de aceleração do desenvolvimento dessa indústria entre 2009 e 2016; e uma terceira fase de transição da política a partir de 2016 e crise da cadeia produtiva no período recente. A experiência de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil foi o objeto da pesquisa, que buscou analisar o processo de elaboração e implementação de políticas industriais sistêmicas na área de energia.

Com esse objetivo, a tese foi organizada em quatro capítulos, além da introdução e desta conclusão. O referencial teórico apresentado no primeiro capítulo abordou os diferentes conceitos das políticas industriais a partir da perspectiva dos sistemas de inovação, a exemplo da importância das capacidades locais para o desenho das políticas e da efetividade da política em promover a interação entre os diversos atores públicos e privados do sistema nacional de inovação. As políticas industriais sistêmicas devem ser capazes de articular seus instrumentos, mesmo diante de interesses divergentes e potenciais conflitos, criando ambientes de menor incerteza, estimulando a cooperação, o aprendizado e os compromissos de longo prazo entre os diferentes agentes presentes no subsistema de produção e inovação e os demais atores dos demais subsistemas.

Também foram abordados temas relacionados ao papel das organizações públicas na construção das políticas. Essas são organizações que precisam ter as capacidades adequadas para avaliar o ambiente da política e identificar oportunidades de atuação. As organizações públicas precisam ter autonomia para operacionalizar seus instrumentos e estabelecer novas formas de solucionar os desafios de política, ao mesmo tempo que devem estar alinhadas às diretrizes definidas politicamente nas políticas industriais. Além disso, devem estar inseridas em uma governança que as permitam interagir e inovar em seus procedimentos e normas internas, coordenando suas ações e as dos demais agentes em benefício dos objetivos de desenvolvimento.

Adicionalmente, como forma de compreender os padrões da inovação, foi utilizada a abordagem de regimes tecnológicos. Para isso, são relevantes os conceitos de indústrias estratégicas, elos dinâmicos, tecnologias habilitadoras, oportunidades tecnológicas, condições de apropriação da tecnologia e grau de acumulação e características do conhecimento. A partir de todos esses conceitos foi elaborado um modelo analítico com três eixos que se desdobram em dimensões de análise das políticas industriais sistêmicas.

O segundo capítulo abordou a indústria eólica no mundo e no Brasil, a evolução dessa indústria, a identificação de seus elos dinâmicos e os principais aspectos da engenharia e tecnologia que influenciam na organização das atividades da cadeia produtiva de aerogeradores. Duas experiências de desenvolvimento dessa indústria foram analisadas, os casos dos EUA e da China, detalhando as políticas e os instrumentos utilizados.

Esse capítulo permitiu identificar alguns fatos estilizados do desenvolvimento dessa indústria como, por exemplo, a prevalência de políticas industriais focadas no desenvolvimento da energia eólica orientadas pela demanda, a importância do mercado regional para os fabricantes de aerogeradores nos diferentes países líderes em geração de energia eólica e uma forte correlação entre a expansão da geração dessa fonte de energia e o desenvolvimento de uma indústria local.

Essa correlação decorre das características dessa indústria, com destaque para a dimensão dos componentes dos aerogeradores e os elevados custos logísticos, mas também resulta da realização de políticas industriais robustas por parte dos diferentes países. Observou-se que todos os países que se tornaram mercados relevantes de energia eólica foram capazes de desenvolver empresas nacionais fabricantes de aerogeradores e incentivar a constituição de uma cadeia de fornecedores local.

O terceiro capítulo apresentou as políticas de desenvolvimento da indústria eólica no Brasil. Foram identificados os principais instrumentos utilizados, que foram organizados em políticas de formação do mercado de geração eólica (Proinfa, leilões e mercado livre), políticas de financiamento ao investimento em geração de energia e políticas de financiamento à inovação e à cadeia produtiva. Destacou-se o enorme potencial de geração de energia eólica no Brasil (*onshore* e *offshore*) e como esse potencial foi materializado na inserção dessa fonte na matriz elétrica brasileira, em paralelo ao desenvolvimento de uma indústria local.

É importante ressaltar a escala dessa inserção. A geração eólica atingiu, em 2023, 14% da capacidade de geração de energia elétrica total instalada no Brasil, tonando-se, junto com a geração de energia fotovoltaica, uma das duas principais novas fontes alternativas renováveis no país. Além disso, a geração eólica está distribuída em três principais regiões geográficas (litoral norte da região nordeste do Brasil, interior da Bahia e litoral da região sul). Tal aspecto, incentivou a implantação de novas indústrias nas regiões nordeste e sul do Brasil, como foi o caso dos investimentos em novas unidades fabris nos complexos industriais e portuários de Pecém (CE), Suape (PE), Camaçari (BA) e Guaíba (RS). Esses investimentos ocorreram a despeito de o desenvolvimento regional não ter sido um elemento central no desenho da política.

A inserção da geração eólica na matriz elétrica brasileira foi acompanhada da elevação do fator de capacidade na geração de energia ao longo do tempo, demonstrando uma curva de aprendizado dessa

indústria e sua capacidade de melhor aproveitar o vento “classe Brasil”, que possui melhor qualidade do que o vento de outros países onde a geração de energia eólica é relevante. Outros elementos desse processo merecem destaque, como a redução do custo médio de investimento nos parques eólicos, a elevação da potência nominal dos aerogeradores fabricados no país, a redução nos prazos de implantação dos parques eólicos e a redução no custo de geração dessa fonte de energia, observada na maior parte do período da implementação da política¹⁶⁴.

A geração eólica se consolidou como uma alternativa importante para a geração de energia elétrica no país. Esses resultados foram atingidos articulando a expansão da geração de energia ao desenvolvimento de uma indústria local, em um ciclo virtuoso do desenvolvimento do setor elétrico e de sua base produtiva, em especial, no período compreendido entre 2006 e 2013.

O quarto capítulo interligou os três capítulos anteriores com o propósito de avaliar o caráter sistêmico das políticas de desenvolvimento da cadeia produtiva de aerogeradores no Brasil. Para isso, utilizou-se o modelo analítico elaborado no primeiro capítulo como base para a realização de pesquisa de campo, que considerou, ainda, as análises sobre as características dessa indústria e das experiências dos EUA e China, apresentadas no segundo capítulo, bem como as principais políticas implementadas no país, discutidas no terceiro capítulo.

Além disso, foi elaborada uma representação esquemática do sistema nacional de inovação de energia eólica, identificando seus principais atores, elementos das políticas, bem como, seus diferentes subsistemas (a demanda e os consumidores de energia, o contexto econômico e político nacional e externo, os subsistemas de política e regulação, de financiamento, de produção e inovação, de C&T e educação e de operação e monitoramento).

A pesquisa de campo permitiu constatar que as diferentes fases da política (início, aceleração e transição e crise) tiveram efeitos distintos no adensamento produtivo. O desafio nacional estabelecido na fase inicial da política foi a segurança energética motivada pela crise de racionamento de energia de 2001. Esse desafio esteve presente na maior parte do ciclo da política, porém, no período mais recente de abertura do mercado de energia, durante a terceira fase da política, prevaleceu um movimento de substituição de fontes de energia pelos agentes privados, buscando a redução dos custos de energia por meio da migração do mercado regulado para o mercado livre.

A política, que foi orientada pela demanda em todo o seu período, apresentou uma mudança substancial no perfil dessa demanda. Na fase inicial, a demanda estabelecida pelo Proinfá era “firme”, ou seja, previa a contratação de um nível específico de capacidade instalada de geração de energia a um preço fixo. Durante a fase de aceleração da política, os leilões de energia estabeleceram uma

¹⁶⁴ Para uma descrição detalhada desses aspectos recomenda-se EPE (2018, 2020) e Oliveira (2019).

demanda previsível em meio a um ambiente concorrencial que buscava a redução dos preços de geração de energia. Já na terceira fase da política, a transição para o mercado livre de energia resultou em uma demanda por aerogeradores mais fragmentada e volátil.

A cadeia produtiva de aerogeradores se estabeleceu nas duas primeiras fases da política. Após 2016, houve um processo de concentração das encomendas de aerogeradores em alguns fabricantes e uma maior fragilidade da indústria e da política à choques externos, a exemplo da forte concorrência da energia solar fotovoltaica nos últimos anos, que vem desmobilizando a cadeia produtiva. Esse cenário levou à paralização de fábricas e à saída do mercado de alguns fabricantes de aerogeradores e seus componentes, a exemplo da Siemens Gamesa, da GE e de sua subsidiária LM-Wind. Os dois primeiros movimentos - concentração da demanda e saída do mercado de fabricantes locais - foram observados mesmo nos anos de demanda por aerogeradores mais aquecida da terceira fase da política.

Portanto, uma demanda estável, previsível e com escala parece ser aspecto fundamental para o adensamento produtivo, especialmente em atividades e setores como o de bens de capital sob encomenda, como os aerogeradores, e de investimentos intensivos em capital, como os parques eólicos. Durante suas duas primeiras fases, a política demonstrou uma notável capacidade de coordenação da demanda e de direcionamento dessa demanda para a cadeia produtiva. No entanto, essa coordenação foi enfraquecida na fase final, comprometendo a previsibilidade necessária para o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva de aerogeradores.

A política foi influenciada pelas condições do ambiente onde estava inserida. O crescimento da economia em alguns anos, o racionamento de energia em 2001 e o risco de falta de energia em 2008, foram elementos fundamentais para viabilizar maior coesão em torno do objetivo de expandir e diversificar a matriz elétrica. Nesse sentido, a pesquisa de campo apontou que o período compreendido entre 2006 e 2013 foi o que mais se aproximou ao que pode ser chamado de um projeto nacional de desenvolvimento, no qual as políticas implícitas tiveram maior alinhamento com as políticas explícitas de desenvolvimento da indústria eólica e sua cadeia produtiva.

Nesse período, a economia cresceu, algumas das variáveis macroeconômicas (câmbio, taxa de juros e inflação) apresentaram um comportamento mais favorável ao investimento produtivo, e o planejamento energético e o financiamento do BNDES ajudaram na coordenação do investimento e na mobilização dos diferentes atores do setor de energia. Essas condições criaram ambientes de menor incerteza ao investimento produtivo tanto no setor de energia, quanto na cadeia produtiva.

Nesse mesmo sentido, é importante ressaltar as limitações impostas pelas políticas implícitas às políticas explícitas. A economia, que havia apresentado maior dinamismo até 2013, contraiu nos anos 2015 e 2016, período em que se observou severa crise econômica e uma ruptura política no país, que

desarticulou a política eólica e o processo de desenvolvimento em curso. O baixo dinamismo da economia posterior influenciou a taxa de investimento, que se manteve em patamar baixo, tanto de forma agregada em percentual do PIB, como setorialmente na indústria.

No contexto dos instrumentos da política, a adoção de uma política fiscal contracionista pelo governo federal, intensificada após 2014, resultou em restrições orçamentárias que reduziram as fontes de financiamento para o crédito à inovação e levaram ao contingenciamento de recursos do FNDCT. O ambiente político e as diretrizes de políticas dele decorrentes foram, portanto, determinantes para as mudanças observadas nos principais instrumentos da política industrial eólica e, conseqüentemente, para os resultados obtidos.

A pesquisa revelou que a política industrial de energia eólica no Brasil ocorreu pela conexão da política energética com a política de financiamento e sua associação à política de conteúdo local do BNDES. Não teve, portanto, um caráter formal e uma governança própria, mesmo durante os períodos das políticas industriais formais realizadas até 2014 (PITCE, PDP e PBM). Ainda assim, foi capaz de articular instituições públicas, como o MME, EPE, Aneel e BNDES, e organizar suas funções de políticas. Isso foi possível pela governança da política energética e pela robustez dos mecanismos de financiamento no BNDES. A colaboração entre as instituições do setor de energia e o banco público de desenvolvimento desempenharam um papel central para o êxito na inserção da geração eólica no país e para o adensamento produtivo local.

Avaliou-se que essas instituições públicas possuem capacidades constituídas para o desempenho de suas funções. A pesquisa constatou que, apesar de limitações importantes, como restrições orçamentárias e a rotatividade de pessoal observada em algumas dessas instituições, elas foram capazes, em períodos específicos, de estabelecer rotinas de colaboração e implementação das políticas. Destacam-se as inovações promovidas pelo BNDES, tanto no financiamento aos parques de geração, quanto na política de conteúdo local de aerogeradores. Algumas dessas inovações foram incorporadas nos procedimentos internos da instituição e foram levadas para outros setores da economia. A capacidade dessas instituições de atuar com autonomia e de inovar no contexto da política foi, portanto, um elemento relevante para os resultados alcançados.

A política alavancou o investimento nos parques eólicos e na cadeia produtiva. Ela foi capaz de impulsionar o estabelecimento de uma cadeia produtiva local de aerogeradores composta por forte predomínio de empresas multinacionais estrangeiras na fabricação dos aerogeradores e por uma cadeia de fornecedores heterogênea, que contou com a presença de empresas nacionais fabricantes de componentes e prestadores de serviços especializados. Essas características condicionaram os processos de inovação na cadeia produtiva. A pesquisa revelou que predominaram as inovações de

processos, visando qualificar os fabricantes de componentes e prestadores de serviços para sua inserção nas cadeias de fornecimento das empresas multinacionais fabricantes de aerogeradores.

Todavia, salvo em alguns casos pontuais, observou-se um processo limitado de inovação de produtos e uma baixa capacidade de formação de redes de cooperação entre empresas e a infraestrutura de C&T. O investimento na qualificação da infraestrutura de C&T também pode ser considerado aquém do esperado.

Embora algumas iniciativas nesse sentido mereçam menção, a exemplo do importante programa de investimento na rede de institutos Senai de inovação e de tecnologia a partir de 2012, apoiado pelo BNDES, a política não direcionou recursos para a implantação de um laboratório nacional voltado para o desenvolvimento, testes e certificações de aerogeradores, como observado em todos os outros países com mercados relevantes de geração eólica e com uma presença mais marcante de empresas nacionais fabricantes de aerogeradores (CGEE, 2012, 2014). O investimento necessário para tal, entre R\$ 500 milhões a R\$ 1 bilhão (CGEE, 2014), embora elevado em volume, não representava sequer 5% do investimento nos parques eólicos de um único ano de realização da política. Faltou, portanto, coesão política para alocação de orçamento com essa finalidade.

Em relação aos investimentos realizados pelas empresas multinacionais, as fabricantes de aerogeradores estrangeiras confirmaram realizar esforços relevantes voltados à qualificação da cadeia de fornecedores e na implantação de capacidades produtivas locais. Todavia, seus esforços de inovação no país concentram-se na adaptação dos aerogeradores, que permanecem sendo desenvolvidos em suas matrizes. A forma de proteção intelectual majoritariamente adotada corrobora esse aspecto. As empresas da cadeia produtiva de aerogeradores localizadas no país afirmaram utilizar frequentemente o segredo industrial e raramente depositam patentes no país.

Nesse contexto, a WEG Equipamentos Elétricos S/A, única empresa nacional presente no segmento de fabricação de aerogeradores, se destaca por realizar atividades de desenvolvimento de aerogeradores no Brasil. A empresa possui um histórico de projetos importante, embora não seja uma das empresas líderes em participação de mercado dessa indústria no país. A presença pouco relevante de empresas nacionais nos elos dinâmicos da cadeia produtiva é um traço marcante da experiência brasileira de política industrial eólica.

Esses resultados da política podem ser relacionados à baixa articulação dos instrumentos de fomento à inovação com os instrumentos de formação do mercado de geração eólica e de financiamento aos parques eólicos. Instrumentos de crédito e não-reembolsável estiveram disponíveis para a indústria brasileira. Todavia, poderiam ter sido melhor articulados com as políticas de demanda e sofreram com restrições orçamentárias relevantes em diversos momentos da política.

Além disso, na política de conteúdo local e no financiamento do BNDES, bem como, nos mecanismos de formação do mercado (Proinfra e leilões), foram exigidas contrapartidas de produção local sem a diferenciação de origem de capital das empresas. Tampouco, foram estabelecidos mecanismos direcionados à transferência de tecnologia combinados com uso do poder de compra do estado ou com o uso da margem de preferência, como observado em outros setores, a exemplo dos projetos estruturantes do setor de defesa e das Parcerias para o Desenvolvimento Produtivo (PDPs) na área de saúde.

No mercado de capitais, a política também teve uma atuação limitada. O BNDES, por meio de sua subsidiária BNDESPAR, teve uma participação acionária na empresa Tectis, fabricante de pás eólicas. A empresa chegou a ter uma participação relevante de mercado eólico no início da política, porém enfrentou, posteriormente, dificuldades financeiras relacionadas à problemas de qualidade no processo de fabricação e à queda nas encomendas de um de seus principais clientes, a GE, em parte por conta da queda na demanda por aerogeradores nos EUA.

Sendo assim, a política incentivou a atração de investimento estrangeiro direto na indústria, porém teve uma capacidade limitada de estimular investimentos e dinâmicas de aprendizado mais relevantes por parte das empresas nacionais.

A investigação realizada nesta tese permite **concluir** que a política industrial foi relevante e bem-sucedida na atração de investimentos nos parques de geração eólica e no adensamento produtivo durante as duas primeiras fases da política, incluindo a diversificação de outras indústrias já estabelecidas no país para a indústria eólica. Contudo, apresentou limitações na articulação efetiva dos instrumentos de incentivo às atividades inovativas e foi incapaz de criar um núcleo dinamizador da atividade industrial. Isso se refletiu em uma inserção limitada de empresas nacionais nos elos estratégicos da cadeia produtiva, como a fabricação de aerogeradores, que fossem capazes de desenvolver competências críticas para competir com as multinacionais já consolidadas no setor e liderar o processo de expansão dessa indústria. Mesmo nas poucas exceções, os vínculos com os demais atores do Sistema Nacional de Inovação foram frágeis, resultando em atuações de nicho e em participações de mercado pouco expressivas no cenário atual.

Diante dessas considerações e das análises realizadas na tese, embora a política tenha apresentado algumas características das políticas sistêmicas, especialmente no período compreendido entre 2006 e 2013, e o Brasil tenha se constituído como um mercado de geração eólica relevante durante boa parte do período analisado, não é possível confirmar a hipótese de que a política industrial eólica tenha se revelado como um exemplo de política industrial sistêmica em sua execução e nos seus resultados.

Cabem, ainda, alguns comentários finais sobre as limitações da presente tese e as oportunidades para novas linhas de pesquisa relacionadas às políticas industriais sistêmicas na área de energia.

Um primeiro aspecto diz respeito ao desenvolvimento regional e aos impactos ambientais decorrentes da expansão da energia eólica no Brasil. No que se refere ao desenvolvimento regional, pode-se afirmar que este não foi um elemento considerado no desenho dos principais instrumentos da política industrial eólica. Ainda assim, a presente tese poderia ter aprofundado a análise das políticas estaduais e regionais, investigando a capacidade de organização dessas políticas e os possíveis espaços para o desenho de políticas industriais que pudessem ser articuladas ao desenvolvimento do território no futuro.

Em relação aos impactos ambientais, é importante ressaltar que este não foi um elemento de investigação da tese, que focou no processo de elaboração e implementação das políticas industriais sistêmicas e seus impactos na base produtiva. Todavia, a escala da inserção da energia eólica já atingida no país torna o estudo dos impactos ambientais um tema absolutamente relevante também para o desenho das políticas industriais e constitui-se como um campo de pesquisa para futuras investigações.

Outro aspecto que merece maior atenção diz respeito à característica do investimento produtivo e em inovação. Investimentos produtivos possuem uma característica particular e são, com frequência, compromissos irreversíveis realizados pelas empresas. Envolvem investimento relevante em capital e em tecnologias que são, muitas vezes, específicas a determinadas atividades e setores. Esses compromissos ocorrem também na esfera organizacional das empresas, por exemplo, nas opções estratégicas de integração vertical ou no estabelecimento de relações de longo prazo com os fornecedores. Esses investimentos são realizados por elevarem a produtividade, em especial, na indústria. O problema é que, justamente por essas características, possuem um elevado custo de mudança.

Na presente tese foi demonstrado como uma maior previsibilidade da demanda alavancou o investimento na indústria e como a mudança no perfil da demanda, resultou na reorganização da cadeia produtiva, reduzindo a sua expansão e fragilizando alguns de seus segmentos. O ponto a ser destacado é que, enquanto a constituição de novas capacidades é um processo cumulativo e que apresenta retornos crescentes de escala, interrupções abruptas na demanda e choques externos podem ter efeitos muito rápidos de desmobilização das cadeias produtivas. Desse ponto de vista é essencial que as políticas industriais tenham capacidade não apenas de coordenar a demanda e influenciar nas decisões de investimento, mas também de agir em momentos adversos.

Essa foi uma das fragilidades identificadas da política industrial eólica. Nos momentos de queda ou mudança abrupta na demanda por motivos diversos - choques externos e internos, a exemplo da crise econômica e política de 2015 e 2016 e o baixo dinamismo da economia brasileira nos anos seguintes ou da rápida transição para o mercado livre com expansão repentina da demanda e posterior queda pela concorrência da geração fotovoltaica - a política foi pouco efetiva em mediar os conflitos existentes na cadeia produtiva com o objetivo de preservar as capacidades constituídas nos anos anteriores. A desmobilização da atividade produtiva é um processo que ocorre numa velocidade maior do que a constituição de novas capacidades. Poucos anos adversos podem desmobilizar indústrias desenvolvidas em um longo tempo.

Portanto, tão importante quanto refletir sobre as alternativas para a constituição de novas indústrias e tecnologias é a discussão da utilização das capacidades já constituídas e sua manutenção ao longo do tempo. Esse é um tema que foi explorado na presente pesquisa, mas que merece maior aprofundamento em futuros trabalhos.

Outra possível linha de pesquisa futura tem relação com os efeitos da abertura do mercado de energia no debate sobre a construção de estratégias que viabilizem a combinação do desenvolvimento do setor de energia à sua base técnica. Historicamente, o desenvolvimento do sistema de energia elétrica no Brasil se deu com a constituição de capacidades locais relevantes de engenharia para a implementação dos projetos de usinas hidrelétricas. No caso da geração eólica, como ficou evidenciado na presente tese, uma cadeia produtiva foi constituída para a fabricação local dos aerogeradores e para o fornecimento de alguns dos seus componentes também produzidos localmente. Já na geração fotovoltaica, que vem se expandindo rapidamente nos últimos anos, o mesmo processo não é observado.

A pesquisa de campo revelou que o setor de energia está diante de desafios significativos que podem exigir melhorias no atual modelo do setor elétrico, visando garantir a sustentabilidade da expansão da matriz elétrica e de seus diferentes atores no longo prazo, alinhando-os aos objetivos de segurança energética e modicidade tarifária. Entre as discussões mais relevantes para o futuro desse setor no Brasil está a necessidade de reformulação do modelo de precificação da energia, que deveria passar a considerar atributos específicos das diferentes fontes de energia - como disponibilidade, resiliência, qualidade e confiabilidade - e não apenas a energia efetivamente gerada. Contudo, nesta tese, essa temática foi abordada exclusivamente no contexto da política industrial eólica, buscando compreender suas implicações para o desenvolvimento da cadeia produtiva de aerogeradores.

As contribuições a respeito da estruturação de políticas industriais sistêmicas discutidas nesta tese oferecem considerações importantes para esse e outros debates relacionados ao setor de energia no futuro e para o desenvolvimento de novas cadeias produtivas. O desenho de um sistema de energia

com maior resiliência e capacidade para enfrentar as incertezas da mudança climática deve incorporar o desenvolvimento da sua base produtiva como um de seus objetivos. A inclusão desse objetivo na política energética deve ser avaliada, assim como seus desdobramentos para os diferentes instrumentos da política.

Em um ambiente onde a geração descentralizada e o mercado livre serão mais relevantes, o espaço de estruturação de políticas industriais orientadas pela demanda se reduz. A coordenação da demanda torna-se mais complexa e dependente de mecanismos indiretos, como os da regulação. Portanto, uma possível frente de investigação é a que busca compreender como as discussões da presente tese podem ser incorporadas no modelo de um sistema elétrico, onde a geração descentralizada e o mercado livre serão mais importantes. Nesse contexto, a expansão da pesquisa de campo envolvendo as concessionárias de energia e os geradores independentes de energia deveria ser considerada.

Outro ponto a ser destacado tem relação com o papel das políticas industriais “verdes” na área de energia e sua possível contribuição para o estabelecimento de um projeto nacional de desenvolvimento. Serão as políticas industriais na área de energia capazes de impulsionar a inovação em diferentes setores e com efeitos sistêmicos relevantes? Além disso, podem ter êxito em gerar os efeitos multiplicadores e os encadeamentos produtivos suficientes para liderar esse processo de desenvolvimento, especialmente em economias complexas e de maior porte como é o caso da economia brasileira?

A esse respeito, um primeiro aspecto a ser abordado é que a área de energia pode ser menos intensiva em novas tecnologias do que pode se supor e, provavelmente, será menos intensiva no uso de novas tecnologias do que setores mais dinâmicos, como os da indústria eletrônica, de semicondutores, farmacêutica e aeronáutica.

Embora as fronteiras entre as diferentes atividades e setores esteja cada vez mais difícil de ser identificada e a inovação ocorra, frequentemente, nas interdependências entre os diferentes setores e dependa da cooperação entre os diversos agentes presentes no SNI, é importante observar que, ao menos no futuro próximo, uma parcela relevante do processo de expansão das energias renováveis se dará com base em tecnologias que já existem há algum tempo. Mesmo as novas fontes renováveis de geração eólica e solar fotovoltaica caminharam na curva de aprendizado e possuem relativo grau de maturidade.

Há espaço para o desenvolvimento dessas tecnologias e novas maneiras de produzir podem ser descobertas. Todavia, mesmo o uso de novas tecnologias da inteligência artificial e sua aplicação para o gerenciamento de redes elétricas, tão necessárias por conta da maior participação das fontes intermitentes na matriz elétrica, podem encontrar limites relacionados à dificuldade de reduzir

significativamente as perdas nos sistemas de geração e transmissão pelas próprias características técnicas e físicas da eletricidade¹⁶⁵. Em suma, a rápida adoção de energias renováveis pode não depender tanto da inovação de ponta, mas talvez, principalmente, das inovações incrementais capazes de reduzir os custos de tecnologias já conhecidas.

Além disso, algumas das principais tecnologias na área de energia são bens de produção em massa. Os painéis fotovoltaicos são um exemplo a ser citado. Isso significa que eles exigem um grande investimento inicial e, à medida que a produção aumenta, tanto os custos quanto os preços podem cair de forma persistente. Se isso for verdade, países que adotem estratégias de desenvolvimento baseadas nesses bens podem realizar grandes investimentos para o aumento da capacidade produtiva de bens cujos preços estejam sujeitos a uma redução contínua ao longo do tempo.

Evidentemente, podem ser formados oligopólios em escala internacional com a capacidade de influenciar a formação dos preços desses bens globalmente, a exemplo de alguns setores onde a China vem assumindo a liderança, como na energia fotovoltaica, em que a queda nos preços decorre da maior escala de produção e da redução de custos e que também são impulsionados como parte de uma estratégia de longo prazo desse país em acessar novos mercados.

Ainda assim, o ponto a se destacar dessas considerações é que pode ser possível que as indústrias de energia permitam ganhos mais limitados de produtividade na indústria nos próximos anos, por uma maior dificuldade de manutenção de margens e rendas elevadas em alguns dos seus segmentos em comparação a outras indústrias de maior intensidade tecnológica. A mesma discussão pode ser realizada sobre os encadeamentos produtivos da indústria de energia e sua capacidade de multiplicar ganhos sistêmicos na economia.

Na presente pesquisa, foi analisado qualitativamente o potencial “arraste” da indústria eólica em termos das suas principais bases de conhecimento. Os aerogeradores demandam conhecimentos relacionados a diferentes áreas da engenharia de materiais, elétrica, mecânica e metalúrgica. Além disso, a política industrial eólica brasileira promoveu um processo de diversificação da base industrial metalmeccânica já estabelecida no país. Todavia, a presente tese teve como foco o processo de elaboração das políticas industriais e, portanto, realizou uma análise limitada dessas questões.

Sendo assim, investigar os encadeamentos produtivos e tecnológicos dos investimentos na área de energia seria um campo de pesquisa a ser explorado no futuro. O uso de metodologias quantitativas para essa investigação é recomendado. Avaliar, por exemplo, as interseções desses investimentos com

¹⁶⁵ As perdas na transmissão de energia elétrica ocorrem devido às características físicas inerentes à eletricidade e aos materiais usados nos sistemas de transmissão. Essas perdas podem ser classificadas como perdas técnicas, que decorrem das propriedades dos materiais condutores e da natureza da energia elétrica, e perdas não técnicas, que são causadas por fatores externos, como roubo de energia ou falhas operacionais. Como perdas técnicas podem ser citados o efeito Joule, efeito Corona, perdas por reatância e correntes parasitas, dentre outras.

os diferentes setores, a exemplo do setor de bens de capital, e tecnologias, como as tecnologias da indústria 4.0 (manufatura avançada, internet das coisas - *IoT*, inteligência artificial, *big data*, etc.) pode contribuir para o desenho das políticas industriais.

Por fim, é importante destacar que essa discussão ganha relevância diante das mudanças recentes no cenário geopolítico internacional. O setor de energia está mudando rapidamente. A demanda crescente por energia em algumas das economias mais importantes do mundo encontrará limitações nas alternativas para expandir a capacidade de geração de energias renováveis localmente e a custos competitivos. A elevação recente dos preços de energia na Comunidade Europeia, causada pela interrupção no fornecimento de gás natural russo, e a dificuldade de países como a Alemanha em encontrar alternativas para a geração de energia no curto prazo, são situações que ilustram os desafios presentes na expansão da matriz elétrica em grandes economias em meio às tensões geopolíticas e à mudança climática. A eleição americana de 2024 e uma possível reorientação da política energética desse país que, nos últimos anos, buscou incentivar as energias renováveis, tem o potencial de mudar significativamente o cenário global do setor de energia, trazendo desafios adicionais para a difusão das energias renováveis e para o necessário processo de transição energética.

Países como o Brasil, que possuem boas alternativas para a geração de energia renovável, devem acompanhar esse cenário atentamente e identificar oportunidades para alavancar o uso das fontes renováveis de forma articulada ao desenvolvimento da indústria. Fontes alternativas como a eólica *onshore* e *offshore*, que possuem imenso potencial de geração de energia ainda pouco explorados no país, podem ser combinadas com tecnologias como a do hidrogênio, que permitam a exportação de energia para países que encontrem dificuldades em descarbonizar suas economias. A observação do setor de energia como um todo, e não apenas o setor elétrico, sugere que há importantes oportunidades para o Brasil relacionadas aos biocombustíveis (p.ex. etanol, combustível de aviação sustentável – “SAF”, metanol “verde”) e o setor de transporte terrestre, marítimo e aeronáutico.

Nesse sentido, a expansão da geração de energia no Brasil pode estar voltada não apenas ao atendimento da demanda interna por energia do mercado doméstico brasileiro, como também à demanda por energia de outras economias. Essas são alternativas que abrem novas perspectivas para uma indústria local e para a implementação de políticas industriais sistêmicas na área de energia nos próximos anos. Se uma estratégia como essa se tornar viável, a experiência de política industrial eólica das últimas duas décadas pode contribuir com alguns dos aprendizados discutidos nesta tese e indicar caminhos que aproveitem as capacidades constituídas no Sistema Nacional de Inovação brasileiro. A área de energia e a indústria a ela associada poderiam, assim, se estabelecer como uma das frentes de expansão do processo de desenvolvimento sustentável e inclusivo no Brasil nas próximas décadas.

6. Bibliografia

ABRACEEL – Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. *Expansão da Oferta de Geração para o Mercado Livre*. Apresentação em PowerPoint, julho, 2023.

ALMUDI, I.; FATAS-VILLAFRANCA, F.; IZQUIERDO, L. R. Industry dynamics, technological regimes and the role of demand. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 23, p. 1073-1098, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00191-013-0303-y>. Acesso em: 19/10/2024.

AMSDEN, A. H.; HIKINO, T. Nationality of ownership in developing countries: who should “crowd out” whom in imperfect markets? In: IDE-JETRO CONFERENCE ON ECONOMIC DEVELOPMENT, Tóquio, 2006.

ANFAVEA, Anuário da indústria automobilística brasileira 2024. ANFAVEA. 2024. Disponível em <https://anfavea.com.br/site/anuarios-2/>. Acesso em: 20/10/2024.

AROCENA, R.; SUTZ, J. Sistemas de innovación y países en desarrollo. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), 2002.

AROCENA, R. Power, innovation systems and development. *Innovation and Development*, v. 8, n. 2, 2017.

ARROW, K. J. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. National Bureau of Economic Research, Princeton University Press.

BARBIERI, P.; CIABUSCHI, F.; FRATOCCHI, L.; VIGNOLI, M. What do we know about manufacturing reshoring? *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, v. 11, n. 1, p. 79-122, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JGOSS-02-2017-0004>. Acesso em: 09/12/2024.

BALDWIN, R., & WEDER DI MAURO, B. *Mitigating the COVID Economic Crisis: Act Fast and Do Whatever It Takes*. CEPR Press. 2020.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). *Effectiveness Report 2007-2014: The Contribution of the BNDES to National Development*, BNDES, Rio de Janeiro, 2nd edition. 2016.

BELL, M. *Technological Learning and the Development of Production and Innovative Capacities in the Third World*. In: UNCTAD (Ed.). *Technology and Skills in the Development of the Third World*. Geneva: UNCTAD, 1991. p. 25-38.

BELL, M.; PAVITT, K. *Accumulating Technological Capability in Developing Countries*. In: ROBINSON, M. (Ed.). *Technology Transfer and International Production: The Development of Capacity in Developing Countries*. London: Routledge, 1992. p. 55-75.

BIELSCHOWSKY, Ricardo. Estratégia de desenvolvimento e as três frentes de expansão no Brasil: um desenho conceitual. *Economia e Sociedade*, Campinas, v. 21, ed. especial, p. 729–747, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-06182012000400002>. Acesso em: 05/11/2024

CASSIOLATO, José Eduardo.; LASTRES, Helena M.M. *Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política*. São Paulo em perspectiva. 19:34-45. 2005

_____. *Tecnoglobalismo e o papel dos esforços de PD&I de multinacionais no mundo e no Brasil*. *Parcerias Estratégicas*, n. 20, June 2005.

_____. Discussing innovation and development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective? *Globelics Working Paper Series*, 2008. Disponível em: <https://repository.gatech.edu/server/api/core/bitstreams/ed359127-10d1-4f79-ae45-56643922147c/content>

_____. Inovação e desenvolvimento: a força e permanência das contribuições de Erber. In: Monteiro Filha, D.; Prado, L.C.D.; Lastres, H.M.M. (org.) *Estratégias de Desenvolvimento, Política Industrial e Inovação: Ensaio em memória de Fábio Erber*. 1ª ed. Rio de Janeiro: BNDES, v.1, pgs. 379-418, 2014.

CASSIOLATO, José; LASTRES, Helena; SZAPIRO, Marina; VARGAS, Marco. Local Systems of Innovation in Brazil, Development and Transnational Corporations: a Preliminary Assessment Based on Empirical Results of a Research Project. 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237250624>. Acesso em 25/10/2024.

CASTELLACI, Fulvio; ZHENG, Jinghai. Technological regimes, Schumpeterian patterns of innovation and firm-level productivity growth. *Industrial and Corporate Change*, v. 19, n. 6, p. 1829-1865, dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/dtq051>. Acesso em: 19/10/2024.

CASTRO, Nivalde José de; CASSIOLATO, José Eduardo; LA ROVERE, Renata Lèbre; MATOS, Marcelo Pessoa de; PODCAMENI, Gabriela; MOSZKOWICZ, Maurício; ROSENTAL, Rubens. Programa de P&D da Aneel: avaliação & perspectivas. Rio de Janeiro: Publit, 2020.

CGEE. Análises e percepções para o desenvolvimento de uma política de C, T & I no fomento da energia eólica no Brasil. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012. Disponível em https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Energia_eolica_montado_28112012_9535.pdf/1ed80f6c-ccc2-4dbf-97e2-48ea5a3837f6?version=1.6 Acessado em 06/11/2024.

_____. Programa demonstrativo para inovação em cadeia produtiva selecionada: energia eólica. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014. Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/5152>. Acesso em: 06/11/2024.

COUTINHO, Luciano. Regimes macroeconômicos e estratégias de negócios: uma política industrial alternativa para o Brasil no Século XXI, 2005.

CHANG, Ha-Joon. *Policy Space in Historical Perspective: with special reference to Trade and Industrial Policies*. Genebra: UNCTAD, 2005.

_____. Industrial policy: Can we go beyond an unproductive confrontation? In: *Annual World Bank Conference on Development Economics*. Washington, DC: World Bank, p. 83–109. 2011.

CHANG, Ha-Joon; ANDREONI, Antonio – Industrial Policy in a Changing World: Basic Principles, Neglected Issues and New Challenges. Cambridge Journal of Economics. 40 Years Conference, 2016.

DE BACKER, K. et al. Reshoring: Myth or Reality? OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n. 27, OECD Publishing, Paris, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/5jm56frbm38s-en>. Acesso em: 09/12/2024.

DODGSON, M. The Management of Technological Learning: Lessons from a Biotechnology Company. Berlin: Walter de Gruyter, 1991.

_____. Organizational Learning: A Review of Some Literatures. *Organization Studies*, v. 14, n. 3, p. 375-394, 1993.

DEPARTMENT OF ENERGY/ U.S., FY 2023 Congressional Budget Request, Budget in a Brief, 2022. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/doe-fy2023-budget-in-brief-v2.pdf> Acesso em: 25/10/2024

_____. Land-based wind market report. 2022a. <http://www.osti.gov/scitech> Acesso em: 24/10/2024

DOSI, Giovanni – Technological Paradigms and Technological Trajectories. *Research Policy*, 11(3), 147-162. 1982

_____. Institutional Change and Technical Change in Economics. *Journal of Economic Issues*, 16(4), 1007-1035. 1982b.

_____. *Technical Change and Industrial Transformation: The Theory and an Application to the Semiconductor Industry*. London: Macmillan, 1984.

_____. The Nature of the Innovative Process. In G. Dosi (Ed.), *Technical Change and Economic Theory* (pp. 221-238). Pinter Publishers. 1988.

DOSI, G.; ORSENIGO, L. *Technology and Market Structure: The Emergence of the Oligopolistic Industries and the Evolution of Market Structure*. In: DOSI, G. et al. (Eds.). *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, 1982. p. 293-315.

DUTRA, R. M. Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do PROINFA. Rio de Janeiro. Tese de doutorado do Programa de Planejamento Energético COPPE/UFRJ. 2007.

EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, v.14, n.4, oct. 1989.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Projetos eólicos nos leilões de energia: evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas. Atualização Leilões 2018-2019. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

_____. Plano Nacional de Energia 2050 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

ERBER, Fabio. Desenvolvimento industrial e tecnológico da década de 90: uma nova política para um novo padrão de desenvolvimento. *Ensaio FEE*, Porto Alegre, v.13, n. 1, pgs. 9-42, 1992.

FERRAZ, João Carlos; RAMOS, Luma; PLATTEK, Bruno. Innovations in development finance and conditioning factors: BNDES and the fostering of sustainability-related industries in Brazil. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2021/02), 2021. Available at: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/wp2021-02>. Acesso em: 01/07/2024.

FERRAZ, João Carlos; RAMOS, Luma; PLATTEK, Bruno. Development finance innovations and conditioning factors: The case of the Brazilian Development Bank and sustainable industries. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 42, n. 4, p. 977-997, out./dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-31572022-3303>. Acesso em: 30/11/2024.

FREEMAN, Christopher. *The Economics of Industrial Innovation*. MIT Press.1982.

_____. Technological infrastructure and international competitiveness. Draft paper submitted to the OECD ad hoc group on science, technology and competitiveness. Paris: OCDE, 1982b.

_____. Networks of Innovators: A Synthesis of Research Issues. *Research Policy*, v. 20, n. 5, p. 499-514, 1991.

_____. The Economics of Technical Change. *Cambridge Journal of Economics*, v. 18, n. 5, p. 463-514, 1994.

_____. The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 1995.

FREEMAN, Christopher.; SOETE, L. A Economia da Inovação Industrial. 3ª ed. Pinter Publishers, 1997.

FUKUYAMA, Francis. The end of history and the last man. New York: Free Press, 1992.

GADELHA, Carlos Augusto Grabois. Política industrial: uma visão neo-schumpeteriana sistêmica e estrutural. *Revista de Economia Política*, v. 21, n. 4, p. 3-18, out./dez. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-31572001-0953>. Acesso em: 10 dez. 2024.

_____. Política industrial, desenvolvimento e os grandes desafios nacionais. Em "O Futuro do Desenvolvimento, ensaios em homenagem a Luciano Coutinho". Editora Unicamp. Pgs. 215-251. 2016.

GERRING, J. What is a case study and what is it good for? *American Political Science Review*, v.98, n.2, may, 2004.

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

HAMILTON, Alexander. Report to Congress on the Subject of Manufactures, 1791.

HARTLEY, J. Case study research. In: CASSELL, C.; SYMON, G. Essential guide to qualitative methods in organizational research. London: Sage, 2004, cap. 26.

HEINER, R. A. The Origin of Predictable Behavior. *The American Economic Review*, v. 73, n. 4, p. 560-595, 1983.

HERRERA, A. Los determinantes sociales de la política científica em America Latina: Política científica explícita e política científica implícita. *Redes*, Vol. 2, nº 5, pags. 117-131, diciembre, 1995.

HIRATUKA, Célio; SARTI, Fernando. Transformações na estrutura produtiva global, desindustrialização e desenvolvimento industrial no Brasil. *Revista de Economia Política*, v. 37, n. 1, pp. 189-207, jan-mar, 2017.

HOU, Tie; WANG, Victoria. Industrial espionage – A systematic literature review (SLR). *Computers & Security*, [s.l.], v. 98, p. 102019, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.102019>. Acesso em: 17/02/2025.

IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022.

IRENA; COP28; COP29; GRA; MOEA; GOVERNMENT OF BRAZIL. *Delivering on the UAE Consensus: Tracking progress toward tripling renewable energy capacity and doubling energy efficiency by 2030*. International Renewable Energy Agency, COP28 Presidency, COP29 Presidency, Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan, and Government of Brazil, Abu Dhabi, 2024.

JOHNSON, Bengt. *Institutional Learning*. In: LUNDVALL, B.-Å. (Ed.). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Pinter Publishers, p. 23-44. 1992.

KALECKI, Michal. *Political Aspects of Full Employment*. *The Political Quarterly*, v. 14, n. 4, p. 322-331, 1943.

KAPCZYNSKI, Amy; MICHAELS, Joel. Administering a democratic industrial policy. *Harvard Law & Policy Review*, Forthcoming. Yale Law School, Public Law Research Paper; Yale Law & Economics Research Paper. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4711216>. Acesso em: 19/10/2024.

KARO, Erkki; KATTEL, Reiner. The Bit and the Rainforest: Towards an Evolutionary Theory of Policy Capacity. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, IIPP Working Paper Series (IIPP WP 2018-03). 2018. Disponível em: <http://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/wp2018-03>

KATTEL, Rainer; MAZZUCATO, Mariana. Mission-oriented innovation policy and dynamic capabilities in the public sector. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2018-5). 2018. Disponível em: <http://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/wp2018-05>

KATTEL, Rainer.; DRECHSLER, Wolfgang; KARO, Erkki. *How to Make an Entrepreneurial State: Why Innovation Needs Bureaucracy*. London: Yale University Press, 2022.

KLEPPER, Stephen. Industry Life Cycles. *Industrial and Corporate Change*, Volume 6, Issue 1, 1997, Pages 145–182, 1997.

KLINE, Stephen J.; ROSENBERG, Nathan. An overview of innovation. In: LANDAU, R. e ROSENBERG, N. (eds.), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1986, p. 275–305.

KUPFER, D.; FERRAZ, J. C.; MARQUES, F. S. The Return of Industrial Policy in Brazil. In: STIGLITZ, J. E.; LIN, J. Y. (eds). *The Industrial Policy Revolution I*. International Economic Association Series. London: Palgrave Macmillan, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1057/9781137335173_20. Acesso em: 09/11/2024.

LA ROVERE, Renata Lebre. Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas. In: Pelaez, V.; Szmrecsanyi, T. (org.) *Economia da Inovação Tecnológica*. São Paulo: Hucitec, 2006

LAZONICK, William. The financialization of the U.S. Corporation: what has been lost and how it can be regained. *Seattle University Law Review*. vol. 36, 2012.

_____. The functions of the Stock Market and the fallacies of shareholder value. Working Paper at the Institute for New Economic Thinking and the European Union Horizon 2020 Research and Innovation Programme, 2017.

LAZONICK, William; HOPKINS, Matt. Soaking up the sun and blowing in the wind: the clean tech needs patient capital. AIR Working Paper #13-08/01, Cambridge, Massachusetts, 2013.

LEE, Chang-Yang; NOH, Jaesun. The relationship between R&D concentration and industry R&D intensity: a simple model and some evidence. *Economics of Innovation and New Technology*, v. 18, n. 4, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10438590802159088>. Acesso em: 19/10/2024.

LEMA, R., FU, X., & RABELLOTI, R. Green windows of opportunity: Latecomer development in the age of transformation toward sustainability. *Industrial and Corporate Change*, 29(5), 1193–1209. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa044>, 2020.

LEWIS, Joanna; WISER, Ryan. Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industrial policy support mechanisms. *Journal of Energy Policy*, vol. 35, issue 3, 1844-1857, 2005.

_____. A review of international experience with policies to promote wind power industry development. Prepared for the Energy Foundation China Sustainable Energy Program, 2005b.

LIAO, Z The evolution of wind energy policies in China (1995–2014): An analysis based on policy instruments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, p. 464–472, April 2016.

LINDBERG, Leon N.; MAIER, Charles S. *The politics of inflation and economic stagnation: theoretical approaches and international case studies*. Washington, DC: Brookings Institution Press, 1985.

LIST, Friedrich. *The National System of Political Economy*, <https://oll.libertyfund.org/title/lloyd-the-national-system-of-political-economy>, 1841.

LUNDEVALL, Bengt-Åke. *Product Innovation and User-Producer Interaction*. Aalborg: Aalborg University Press, 1985.

_____. Innovation as an Interactive Process: From User-Producer Interaction to the National System of Innovation. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Eds.). *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, 1988. p. 349-369.

_____. *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers, 1992.

_____. *National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Anthem Press, 2010

LUNDEVALL, Bengt-Åke; BORRÁS, S. Science, Technology and Innovation Policy, In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. e NELSON, R. R. (Eds). *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press, 2006.

LUNDEVALL, B.-Å.; INTERAKUMMERD, K.; LAURIDSEN, J. *Asia's Innovation Systems in Transition*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2006.

LUNDEVALL, B.-Å.; JOSEPH, K. J.; CHAMINADE, C.; VANG, J. (Eds.). *Combining Global Value Chains and Innovation Systems for Development*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015.

MARCH, J. G.; SIMON, H. A. *Organizations*. 2. ed. New York: Wiley, 1968.

MALERBA, Franco; ORSENIGO, Luigi. Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities. *Industrial and Corporate Change*, vol. 6, issue 1, 83-117, 1997.

MALKIN, Anton; HE, Tian. The geoeconomics of global semiconductor value chains: extraterritoriality and the US-China technology rivalry. *Review of International Political Economy*, 31(2), 674–699. <https://doi.org/10.1080/09692290.2023.2245404>, 2023.

MANSFIELD, E. Academic Research and Industrial Innovation. *Research Policy*, v. 20, n. 1, p. 1-12, 1991.

MAZZUCATO, Mariana. *Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism*. London: Allen Lane, 2021.

MIGUEZ, T. Análise e impacto do BNDES Finame a partir das empresas credenciadas, dos produtos financiados e da cadeia de fornecedores. *Nova Economia*, [S. l.], v. 30, n. 3, p. 833–869, 2021. <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/novaeconomia/article/view/5962> - Acessado em: 30/10/2024.

MIGUEZ, Thiago; FREITAS, Fabio. Matrizes de Absorção de Investimento (MAIs): Metodologia de Estimção para o Sistema de Contas Nacionais Referência 2010. Texto para Discussão 024 | Discussion Paper 024. Rio de Janeiro: Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ), 2021. <https://www.ie.ufrj.br/publicacoes-j/textos-para-discussao.html>. Acessado em: 09/11/2024.

MININ, Alberto Di. *Transnational Corporations and the International Transfer of Knowledge: The Role of Subsidiaries*. 2005. Tese (Doutorado) – SPRU, University of Sussex, Brighton, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA. Matriz Energética Nacional 2030. colaboração Empresa de Pesquisa Energética , Brasília : MME : EPE, 2007.

_____. Plano Nacional de Energia 2030. colaboração Empresa de Pesquisa Energética, Brasília : MME : EPE, 2007b.

_____. Plano Nacional de Energia 2050. colaboração Empresa de Pesquisa Energética, Brasília : MME : EPE, 2020.

MUCHIE, M.; GAMMELTOFT, P.; LUNDVALL, B.-Å. (Eds.). *Putting Africa First: The Making of African Innovation Systems*. Aalborg: Aalborg University Press, 2003.

NASSIF, André. Há evidências de desindustrialização no Brasil? *Revista de Economia Política*, v. 28, n. 1, pp. 72-96, 2008.

NELSON, Richard. *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford University Press. 1993.

NELSON, R. R. The Link between Science and Invention: The Case of the Transistor. In: NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH. *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton: Princeton University Press, 1962. p. 549-584.

NELSON, Richard R.; ROSENBERG, Nathan. (Eds.). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. New York: Oxford University Press, 1993.

NELSON, Richard, & WINTER, Sidney G. The Nature and Dynamics of Organizational Capabilities. *Economic Journal*, 92(December), 1-33. 1982.

_____. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Belknap Press of Harvard University Press. 1982.

NONAKA, Ikujiro; KONNO, Noboru. The concept of Ba: Building a foundation for knowledge creation. *California Management Review*, 40 (3), 40-54, 1998.

OECD. *The COVID-19 Crisis: A Catalyst for Government Transformation?* OECD Publishing. 2020.

_____. *Oslo Manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data*. Paris: OCDE, 3ª ed, 2005. 230.

_____. Frascati Manual: proposed standard practice for surveys for research and experimental development. Paris: OCDE, 6^a ed, 2002.

_____. The measurement of scientific and technological activities: using patent data as science and technological indicators – Patent Manual 94. Paris: OCDE, 1994.

_____. Draft of Chapter 2 of the Background Report resulting from the Technology Economy Programme (TEP). 1990 (mimeo).

_____. GALINDO-RUEDA, F.; VERGER, F. *OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity*. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, n. 2016/04. Paris: OECD Publishing, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/5jlv73sqpp8r-en>. Acesso em: 16/10/2024.

OLIVEIRA, Carlos Eduardo Cruz Lopes de. Avaliação do impacto da alteração das condições de financiamento sobre a energia eólica no Brasil: evolução e perspectivas. 180 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), UFRJ, COPPE, Rio de Janeiro, 2019.

ORSENIGO, Luigi. The Dynamics of Competition in a Science-Based Technology: The Case of Biotechnology. *Research Policy*, v. 22, n. 4, p. 343-364, 1993.

O'REILLY, C. A.; HARRELD, J. B.; TUSHMAN, M. L. Organizational ambidexterity: IBM and emerging business opportunities. *California Management Review*, v. 51, p. 75–99, 2009.

PACK, H.; SAGGI, K. Is there a case for industrial policy? A critical survey. *The World Bank Research Observer*, v. 21, n. 2, p. 267–297, 2006.

PAINTER, Martin; PIERRE, Jon. Unpacking policy capacity: issues and themes. In: PAINTER, Martin; PIERRE, Jon (eds.). *Challenges to State Policy Capacity: Global Trends and Comparative Perspectives*. Basingstoke: Palgrave Macmillan, p. 1-18, 2005.

PAPANASTASSIOU, M., PEARCE, R. & ZANFEI, A. Changing perspectives on the internationalization of R&D and innovation by multinational enterprises: A review of the literature. *J Int Bus Stud* 51, 623–664 (2020). <https://doi.org/10.1057/s41267-019-00258-0>

PATEL, Pari. *Localized production of technology for global markets*. *Cambridge Journal of Economics*, v. 20, n. 2, p. 151-165, 1996.

PAVITT, Keith. Technologies, Products and Organization in the Innovating Firm: What Adam Smith Tells Us and Joseph Schumpeter Doesn't. *Research Policy*, 13(3), 141-171. 1984.

_____. Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory. *Research Policy*, v. 13, n. 6, p. 343-373, 1984a.

PEDROLETTI, Daniel; CIABUSCHI, Francesco. Reshoring: A review and research agenda. *Journal of Business Research*, v. 164, 2023, p. 114005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114005>. Acesso em: 09/12/2024.

PENG, Han; LI, Songyin; SHANGGUAN, Linjian; FAN, Yisa; ZHANG, Hai. Analysis of Wind Turbine Equipment Failure and Intelligent Operation and Maintenance Research. *Sustainability*, v. 15, n. 10, p. 8333, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15108333>. Acesso em: 12/12/2024.

PEREZ, Carlota. *Microelectronics, Long Waves and World Structural Change: New Perspectives for Developing Countries*. *World Development*, v. 13, n. 3, p. 441-463, 1985.

_____. *Technological Revolutions and Techno-Economic Paradigms*. *Cambridge Journal of Economics*, v. 13, n. 1, p. 47-61, 1989.

_____. *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar Publishing, 2002.

_____. *A Vision for Latin America: A resource-based strategy for technological dynamism and social inclusion*. In: Drechsler, Wolfgang; Kattel, Rainer; Reinert, Erik (Eds.). *Techno-Economic Paradigms: Essays in Honour of Carlota Perez*. London: Anthem Press, p. 119-147. 2004.

_____. Capitalism, technology and a green global golden age: The role of history in helping to shape the future. In M. Jacobs & M. Mazzucato, eds., *Rethinking Capitalism: Economics and Policy for Sustainable and Inclusive Growth*. London: Wiley Blackwell, Vol. 1, pp. 191–217. 2016.

PIKETTY, Thomas. *Capital in the Twenty-First Century*. Cambridge: Harvard University Press, 2014.

PINTO JR., Helder Q. (Org.). *Economia da Energia*. Elsevier, 2016.

PISANO, G. P.; SHIH, W. C. *Restoring American Competitiveness*. *Harvard Business Review*, v. 87, n. 7-8, p. 114-125, 2009.

_____. *Producing Prosperity: Why America Needs a Manufacturing Renaissance*. Boston: Harvard Business Review Press, 2012.

PODCAMENI, Maria Gabriela V. B. – *Sistemas de inovação e energia eólica: a experiência brasileira*. Tese de doutorado, Instituto de Economia da UFRJ, 2014.

POLANYI, Michael. *A Dimensão Tácita*. Lisboa: Inovatec, 2010. Cap.1

POLANYI, Karl. *A grande transformação: as origens de nossa época*. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1980.

PLATZER, Michaela D. *U.S. Wind turbine manufacturing: federal support for na emerging industry*. Congressional Research Service Report for Congress, 2012.

PRICE, D. J. de Solla. *The Science of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. Stanford: Stanford University Press, 1984.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada*. Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática, Conference of the Parties (COP) 21, 2015.

QUEIROZ, Helder (org.); ALMEIDA, E.; BOMTEMPO, José Vítor; IOOTY, M.; BICALHO, R. G. – *Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial*. Elsevier, 2016.

REINERT, Erik S. *How Rich Countries Got Rich... and Why Poor Countries Stay Poor*. London: Constable, 2008.

REVILLA, Antonio J.; FERNÁNDEZ, Zulima. *The relation between firm size and R&D productivity in different technological regimes*. *Technovation*, v. 32, n. 11, p. 609-623, nov. 2012.

ROSENBERG, N. *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge University Press, 1982.

_____. Why Do Firms Do Basic Research (with Their Own Money)? *Research Policy*, v. 19, n. 2, p. 165-174, 1990.

_____. Scientific Instrumentation and University Research. *Research Policy*, v. 21, n. 4, p. 381-390, 1992.

ROWTHORN, B. Conflict, inflation and money. *Cambridg Journal of Economics*, vol. 1, nº 1, 1977.

SCHUMPETER, Joseph. A. A Teoria do Desenvolvimento Econômico. Tradução de Maria Sílvia Possas. Editora Abril Cultural, 1911.

_____. *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. McGraw-Hill Book Company, 1939.

_____. *Capitalismo, Socialismo e Democracia*. Editora Fundo de Cultura, 1942.

SHARP, M. Technological Innovation and Industrial Policy in the European Community. Science Policy Research Unit (SPRU) Working Paper, University of Sussex, 1985.

_____. Technology Policy in the 1990s: Old Trends and New Realities. *Journal of Common Market Studies*, v. 29, n. 3, p. 233-250, 1991.

SHIELDS, Matt; STEFEK, Jeremy; OTERI, Frank; MANIAK, Sabina; KREIDER, Matilda; GILL, Elizabeth; GOULD, Ross; MALVIK, Courtney; TIRONE, Sam; HINES, Eric. A Supply Chain Road Map for Offshore Wind Energy in the United States. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2023. NREL/TP-5000-84710. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/84710.pdf>. Acesso em: 25/10/2024.

SHOVE, Elizabeth; WALKER, Gordon. CAUTION! Transitions ahead: politics, practice, and sustainable transition management. *Environment and Planning A*, v. 39, n. 4, p. 763-770, 2007.

SIMON, H. A. A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 69, n. 1, p. 99-118, 1955.

SLAUGHTER, S. Innovation and the Political Economy of Participation: Production and Participation in Scientific and Technical Knowledge. *Science, Technology, & Human Values*, v. 18, n. 2, p. 196-220, 1993.

SOLBERG SØILEN, Klaus. Economic and industrial espionage at the start of the 21st century – Status quaestionis. *Journal of Intelligence Studies in Business*, Halmstad, v. 6, n. 3, p. 51-64, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.37380/jisib.v6i3.196>. Acesso em: 17/02/2025.

SQUEFF, G. Desindustrialização: luzes e sombras no debate brasileiro. Texto para Discussão n. 1747, IPEA, 2012.

SURANA, Kavita; ANADON, Laura Diaz. Public policy and financial resource mobilization for wind energy in developing countries: A comparison of approaches and outcomes in China and India. *Global Environmental Change*, v. 35, p. 340-359, 2015. ISSN 0959-3780. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.10.001>. Acesso em: 26/10/2024.

STAKE. R. E. Case studies. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (ed.) *Handbook of qualitative research*. London: Sage, 2000. p. 435-454.

SZAPIRO, Marina; VARGAS, M.A.; CASSIOLATO, José Eduardo. Avanços e limitações da política de inovação brasileira na última década: uma análise exploratória. *Revista Espacios*, vol. 37, nº 5, 2016.

SZAPIRO, Marina; VARGAS, M.A.; BRITO, Maria M.; CASSIOLATO, José Eduardo; "Global Value Chains and National Systems of Innovation: policy implications for developing countries". Texto para discussão 005, UFRJ, 2016a.

SZAPIRO, M. H. S.; MATOS, M.; CASSIOLATO, J. E. Sistema de Inovação e Desenvolvimento. In: Marcia Rapini; Janaína Ruffoni; Leandro Silva; Eduardo Albuquerque. (Org.). *Economia da Ciência, Tecnologia e Inovação: Fundamentos Teóricos e a Economia Global*. 2ed. Belo Horizonte: Face-UFMG, 2021, p. 323-350.

TAKEUCHI, H.; NONAKA, I. *The New New Product Development Game*. *Harvard Business Review*, v. 64, n. 1, p. 137-146, 1986.

TEECE, David John. *Towards an Economic Theory of the Multiproduct Firm*. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 3, n. 1, p. 39-63, 1982.

_____. *Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy*. *Research Policy*, v. 15, n. 6, p. 285-305, 1986.

_____. *Technological Change and the Nature of the Firm*. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Eds.). *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, p. 256-281. 1988.

_____. Dynamic capabilities: Routines versus entrepreneurial action. *Journal of Management Studies*, v. 49, n. 8, p. 1395-1401, 2012.

TEECE, David; PISANO, Gary. Dynamic capabilities of firms: an introduction. IIASA Working Paper WP No. 94-103, International Institute for Applied Systems Analysis: Laxenburg, Austria, 1994.

TOLMASQUIM, M. T. Novo modelo do setor elétrico brasileiro. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

TUSHMAN, Michael L.; MURMANN, Johann Peter. *Dominant Designs, Technology Cycles, and Organizational Outcomes*. *Research in Organizational Behavior*, v. 20, p. 231-266, 1998.

UNCTAD. *World Investment Report 2024: Investment Facilitation and Digital Government*. New York; Geneva: United Nations, 2024.

UTTERBACK, J. M. The Dynamics of Product and Process Innovation in Industry, in Hill C. and Utterback, J. M. (eds), 1979

UTTERBACK, J. M.; ABERNATHY, W. J. *A Dynamic Model of Process and Product Innovation*. *Omega*, v. 3, n. 6, p. 639-656, 1975.

VON HIPPEL, E. *Successful Industrial Products from Customer Ideas*. *Journal of Marketing*, v. 42, n. 1, p. 39-49, 1978.

_____. *The Role of Users in the Innovation Process*. *Research Policy*, v. 5, n. 3, p. 210-222, 1980.

_____. *The Sources of Innovation*. New York: Oxford University Press, 1988.

VANEK, Jaroslav. *The General Theory of Labor-Managed Market Economies*. Ithaca: Cornell University Press, 1970.

VIEIRA, Filipe de Castro; PAULA, Luiz Fernando de. Bancos de desenvolvimento e mercados de capitais no financiamento de energia eólica no Brasil: substituição ou complementaridade? *Texto para Discussão*, n. 018, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.ie.ufrj.br/publicacoes-j/textos-para-discussao.html>. Acesso em: 14/12/2024.

WACHSMANN, U.; TOLMASQUIM, M. T., 2003. Wind power in Brazil—transition using German experience. *Renewable Energy*, v. 28, n. 7, p. 1029-1038, 2003.

WARD, Benjamin. The firm in Illyria: market syndicalism. *American Economic Review*, v. 48, n. 4, p. 566-589, 1958.

WINTER, S. G. Knowledge and Competence as Strategic Assets. In: TEECE, D. J. (Ed.). *The Competitive Challenge: Strategies for Industrial Innovation and Renewal*. Cambridge: Ballinger Publishing Company, 1987. p. 159-184.

WISER, Ryan; BOLINGER, Mark. *Wind Technologies Market Report*. Lawrence Berkeley National Laboratory, p. 17, agosto, 2012.

Wiser, R.; Bolinger, M.; Hoen, B.; Millstein, D.; Rand, J.; Barbose, G., et al. (2023). *Land-Based Wind Market Report: 2023 Edition*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/51c9d2vt> Data de acesso: 25/10/2024.

WU, X.; RAMESH, M.; HOWLETT, M. Policy capacity: a conceptual framework for understanding policy competences and capabilities. *Policy and Society*, Volume 34, Pages 165-171. 2015.

WU, X.; HOWLETT, M.; RAMESH, M. *Policy Capacity and Governance – Assessing Governmental Competences and Capabilities in Theory and Practice*. Palgrave Macmillan. 2018.

YIN, R. K. *Case study research: design and methods*. London: Sage, 1984.

ZHANG, S.; ANDREW-SPEED, P.; ZHAO, X.; HE, Y. Interactions between renewable energy policy and renewable energy industrial policy: a critical analysis of China's policy approach to renewable energy. *Journal of Energy Policy* 62, pgs. 342-353, 2013.

ZHANG, Y.; TANG, N.; NIU, Y.; DU, X. Wind energy rejection in China: current status, reasons and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Review*, n. 66, p322–344, 2016.

Anexo 1 – Dimensões de análise das políticas industriais sistêmicas

Eixo	Dimensão	Definição do eixo / dimensão	Questões síntese
Eixo analítico 1 - SNI e a visão sistêmica	Desafios nacionais (E1.D1)	Orientação das políticas aos desafios nacionais: uma política que esteja ancorada em um projeto nacional de desenvolvimento e que seja orientada por missões e desafios nacionais. A política é capaz de articular as políticas explícitas e implícitas. Esses desafios de desenvolvimento definem uma visão de futuro de longo prazo, que é capaz de dar direcionalidade ao investimento e ao processo de inovação.	A política estava inserida em um projeto integral de desenvolvimento (alinhamento dos programas de política).
			A política possuía uma visão de futuro e definia desafios de desenvolvimento com base nessa visão.
			A política definia objetivos (e metas) com base nos desafios selecionados.
			Tendo em vista os desafios selecionados e os objetivos, a política teve êxito em incentivar o investimento e dar direcionalidade ao investimento produtivo e em inovação.
			A política explícita estava articulada com a política implícita e vice-versa.
	Resolução de problemas por meio de capacidades locais (E1.D2)	Foco na resolução de problemas por meio das capacidades locais: dimensão que avalia o caráter específico da política e se a mesma leva em conta a territorialidade e o arranjo institucional local. A política incorpora em sua formulação a análise das características do arranjo institucional e do SNI. A política possui foco nos problemas locais e incentiva a participação ativa dos diferentes atores na resolução desses problemas por meio das capacidades locais. A política contempla o desenvolvimento territorial e impulsiona o desenvolvimento inclusivo e com equidade, para isso promove maior representação da sociedade civil na política (“poder compensatório”).	A política incorporou em sua formulação as capacidades existentes no arranjo institucional e no SNI.
			As iniciativas da política foram desenhadas visando o desenvolvimento de capacidades locais.
			A política incentivou a participação de diferentes atores na superação dos desafios que identificou como prioritários.
			A política contemplou o desenvolvimento regional/territorial como desafio e para a definição das iniciativas.
			A política impulsionou o desenvolvimento inclusivo e com equidade.

Eixo	Dimensão	Definição do eixo / dimensão	Questões síntese
Continuação... Eixo analítico 1 - SNI e a visão sistêmica	Interação entre atores públicos e privados <i>(E1.D3)</i>	Interação entre atores públicos e privados: uma política capaz de promover a cooperação entre os diversos atores públicos e privados. Mobiliza atores críticos públicos e privados e fortalece as relações e vínculos entre esses. É capaz de mediar e mitigar conflitos entre os diferentes atores, criando compromissos de longo prazo nas estruturas produtivas e fortalecendo os vínculos produtivos nos subsistemas de produção e inovação. A política promove novas capacidades para lidar com esses conflitos (“poder administrativo”).	<p>A política promoveu a cooperação entre os diversos atores públicos e privados.</p> <p>A política mobiliza atores críticos, públicos e privados.</p> <p>A política foi capaz de mediar e mitigar conflitos entre os diferentes atores públicos e privados.</p> <p>A política promoveu novas capacidades para a gestão desses conflitos e incentivou os compromissos de longo prazo entre os diferentes atores públicos e privados.</p> <p>A política incentivou o fortalecimento dos vínculos produtivos (empresas e fornecedores).</p>
	Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas <i>(E1.D4)</i>	Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas: uma política que estimula o aprendizado e a capacitação dos atores do SNI e impulsiona a criação e a disseminação do conhecimento entre esses atores. É efetiva em estabelecer processos de cooperação e em promover o acúmulo de competências e capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas e de inovação. Viabiliza o acúmulo de novas competências e incentiva o transbordamento desse aprendizado para outras atividades e indústrias.	<p>A política estimulou a capacitação dos diferentes atores e o aprendizado nas estruturas produtivas.</p> <p>A política impulsionou a criação de novos conhecimentos e a sua disseminação entre os diferentes atores.</p> <p>A política promoveu o desenvolvimento de capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas e de inovação</p> <p>A política incentivou o transbordamento dessas capacidades para outras atividades e indústrias.</p> <p>A política incentivou a formação de redes de conhecimento e produção.</p>

Eixo	Dimensão	Definição do eixo / dimensão	Questões síntese
<p style="text-align: center;"><i>(Continuação...)</i></p> <p style="text-align: center;">Eixo analítico 1 - SNI e a visão sistêmica</p>	<p style="text-align: center;">Articulação dos diferentes subsistemas do SNI</p> <p style="text-align: center;"><i>(E1.D5)</i></p>	<p>Articulação dos diferentes subsistemas do SNI: a política identifica e dá ênfase aos mecanismos de incentivo mais relevantes para os processos de desenvolvimento. Uma política que articula a demanda e as políticas de financiamento com os demais subsistemas produtivos e de ciência e tecnologia. Articula seus diferentes mecanismos com vistas a alavancar o investimento produtivo e a cooperação entre atores ou grupos de atores. É capaz de alinhar as diferentes ações com as políticas regulatórias, tributárias e de comércio exterior. Considera as características do contexto geopolítico, econômico, político, social, cultural e local na alocação de incentivos com o objetivo de criar um contexto favorável ao investimento em atividades inovadoras e ao acúmulo de competências-chave nos diferentes subsistemas da política.</p>	<p>A política articulou diferentes instrumentos de incentivo e os subsistemas do SNI.</p>
			<p>A política articulou a demanda, as políticas de financiamento e os demais subsistemas produtivos e de ciência e tecnologia.</p>
			<p>Outras políticas como a tributária, de regulação, de representação e comércio exterior foram articuladas com os demais incentivos.</p>
			<p>A formulação da política considerou o contexto econômico, político, social, cultural local na alocação dos incentivos.</p>
			<p>A articulação dos incentivos e instrumentos de política foi efetiva em alavancar o investimento produtivo e em inovação.</p>
<p style="text-align: center;">Eixo analítico 2 - Um olhar evolucionário nas políticas e organizações públicas</p>	<p style="text-align: center;">Governança da política.</p> <p style="text-align: center;"><i>(E2.D1)</i></p>	<p>Governança da política: A política possui um processo de planejamento estabelecido e que evolui ao longo do tempo com o desenrolar da política. Esse processo possui etapas bem estabelecidas como a definição de agenda, formulação, adoção, implementação, avaliação e revisões. A política possui uma governança que organiza as funções de política e as distribui pelas diferentes organizações públicas, fortalecendo os efeitos dessas funções e a complementariedade entre as organizações. Implementa mecanismos de diálogo e articulação entre organizações públicas responsáveis pelo desenho das políticas com as demais organizações e instituições públicas responsáveis por outras políticas públicas. A política permite e incentiva uma abordagem intersetorial entre Ministérios e diferentes atores da política.</p>	<p>A política possui um processo de planejamento estabelecido e que evoluiu ao longo do tempo com o desenrolar da política.</p>
			<p>Esse processo possui etapas bem estabelecidas como a definição de agenda, formulação, adoção, implementação, avaliação e revisões.</p>
			<p>A política implementa mecanismos de diálogo e articulação entre organizações públicas responsáveis pelos mecanismos de incentivo.</p>
			<p>A política possui uma governança que organiza as funções de política entre as organizações.</p>
			<p>A política viabiliza e incentiva uma abordagem intersetorial entre Ministérios e diferentes organizações da política.</p>

Eixo	Dimensão	Definição do eixo / dimensão	Questões síntese	
(Continuação...) Eixo analítico 2 - Um olhar evolucionário nas políticas e organizações públicas	Capacidades nas organizações públicas (E2.D2)	Capacidades nas organizações públicas: As principais organizações públicas executoras da política possuem capacidades (estáticas e dinâmicas) constituídas. Essas organizações públicas possuem rotinas organizacionais estabelecidas que a permitem atuar com eficiência operacional e explorar novas oportunidades ("ambidestria organizacional"). Há, nessas organizações, processos estabelecidos de busca e seleção voltados para identificação ("sensing") e aproveitamento ("seizing") de oportunidades que orientem a sua atuação e o aprendizado na dimensão da política. Possuem competências técnicas e organizacionais suficientes para o desempenho das suas funções de política e uma burocracia qualificada e com experiência na execução de políticas industriais.	<p>As organizações públicas possuem capacidades constituídas para a execução das políticas.</p> <p>As organizações públicas possuem rotinas organizacionais estabelecidas e atuam com eficiência operacional.</p> <p>Possuem processos estabelecidos de busca e seleção voltados para a identificação e aproveitamento de novas oportunidades.</p> <p>Possuem competências técnicas e organizacionais adequadas para o desempenho das suas funções de política.</p> <p>Possuem uma burocracia qualificada e com experiência na execução de políticas industriais.</p>	
		Inovação nas organizações públicas e nas políticas (E2.D3)	Inovação nas organizações públicas e nas políticas: As principais organizações executoras da política têm um mandato bem definido e autonomia para a implementação da política. A governanda da política e as capacidades internas das organizações incentivam a inovação no ambiente da política e impulsionam o aprendizado institucional. Esse aprendizado retroalimenta os ambientes de seleção e permite identificar as melhores práticas da política. As organizações públicas são capazes de assumir riscos no processo de execução das políticas e têm liberdade para inovar em seus procedimentos, processos e instrumentos operacionais.	<p>As organizações executoras da política têm um mandato bem definido e autonomia para a implementação da política.</p> <p>A governança da política e as capacidades internas das organizações incentivam a inovação na política e orientam o aprendizado.</p> <p>Esse aprendizado retroalimenta os ambientes de seleção e permite identificar as melhores práticas da política.</p> <p>As organizações públicas assumem riscos para o fomento a novas atividades da estrutura produtiva e à inovação.</p> <p>As organizações públicas inovam em seus procedimentos, processos e instrumentos operacionais.</p>

Eixo	Dimensão	Definição do eixo / dimensão	Questões síntese
Eixo 3 - Regimes tecnológicos e as estruturas industriais	E3.D1 Indústrias estratégicas e matriz produtiva local	Indústrias estratégicas e estrutura produtiva local: A política identifica e incentiva indústrias estratégicas de forma articulada à estrutura produtiva do país. Atua nas principais atividades consideradas promissoras e nos objetivos do projeto de desenvolvimento. Possui processos estabelecidos para a seleção das indústrias com possibilidades de expansão e rápido crescimento. Esse processo de seleção e priorização conta com o apoio dos diferentes atores do SNI. O processo de seleção é revisto periodicamente e atualizado quando necessário.	A política identifica e incentiva indústrias estratégicas de forma articulada à estrutura produtiva do país.
			Atua nas principais atividades consideradas promissoras em linha com os objetivos do projeto de desenvolvimento.
			Possui processos estabelecidos para a seleção das indústrias com possibilidades de expansão e rápido crescimento.
			Esse processo de seleção e priorização conta com o apoio dos diferentes atores do SNI.
			O processo de seleção é revisto periodicamente e atualizado quando necessário.
	E3.D2 Elos dinâmicos e bases de conhecimento.	Elos dinâmicos e bases de conhecimento: A política identifica os elos dinâmicos e, a partir disso, os incentivos são desenhados para viabilizar a endogeneização da capacidade inovadora e das competências-chave da atividade industrial foco da política. Os diferentes mecanismos e incentivos são voltados para a criação de capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas que incentivam a inovação e utilizam as bases de conhecimento habilitadoras. A política prioriza o desenvolvimento de empresas nacionais nos elos dinâmicos.	A política identifica os elos dinâmicos e as competências-chave da atividade industrial.
			A identificação dos elos dinâmicos e competências-chave é considerado no desenho e alocação de incentivos.
			Os diferentes instrumentos de política são voltados para a criação de capacidades dinâmicas nas estruturas produtivas.
			As capacidades viabilizaram o desenvolvimento de inovações e a utilização das bases de conhecimento.
			A política prioriza o desenvolvimento de empresas nacionais nos elos dinâmicos.

Eixo	Dimensão	Definição do eixo / dimensão	Questões síntese
Eixo 3 - Regimes tecnológicos e as estruturas industriais <i>(Continuação...)</i>	E3.D3 Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico.	Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico: a política considera as características da indústria que se deseja incentivar e os padrões que determinam suas dinâmicas de inovação. Desenha os incentivos a partir dessa ótica e promove segmentos específicos. A política é capaz de identificar as principais oportunidades tecnológicas e os elementos que influenciam nas condições de apropriação da tecnologia e no fortalecimento das bases de conhecimento. A política considera esses elementos na alocação dos incentivos, mesmo que usando mecanismos não orientados pela perspectiva dos regimes tecnológicos.	Oportunidades tecnológicas: Qual a caracterização da indústria quanto às oportunidades tecnológicas para a inovação.
			Condições de apropriação da tecnologia: Quais as condições predominantes para a apropriação da tecnologia.
			Grau de acumulação do conhecimento: Qual a relevância do conhecimento acumulado intra- e interssetorial para as inovações futuras.
			Características do conhecimento: Quais as principais propriedades das bases de conhecimento dessa indústria.
			A política considera esses elementos na alocação dos incentivos e no desenho de seus instrumentos.

Anexo 2 – Dimensões de análise, referências e elementos relevantes da política industrial para o desenvolvimento da indústria eólica

Eixo Analítico	Dimensões	Autores e referências	Elementos relevantes da política e da indústria eólica	Exemplos de questões e perguntas relacionadas
Eixo 1 SNI e a visão sistêmica nas políticas industriais	1 - Orientação aos desafios nacionais	Gadelha, 2016; Herrera, 1995; Coutinho, 2005; Szapiro, 2016; Gadelha, 2011; Mazzucato, 2021.	Crise energética de 2001; Maior crescimento da economia no período 2007-12; Crise econômica de 2008; Planejamento energético.	<ul style="list-style-type: none"> - A crise energética de 2001 abriu espaço político para se incentivar as energias renováveis? De que forma? - A atuação do Governo para reverter os efeitos da crise econômica de 2008 contribuiu para o desenvolvimento da indústria eólica? Como? - O planejamento energético deu previsibilidade e alavancou a demanda por energia eólica? Teve relação com a execução dos leilões de energia? - A política foi efetiva em dar direcionalidade aos investimentos na indústria?
	2 - Foco na resolução de problemas por meio das capacidades locais	Lundvall, 1988, 1992; Bell, 1991; Freeman, 1995; Lastres, 1999; Cassiolato et al, 2005; Dosi, 1982, 1988; Bell e Pavitt, 1992.	Proinfa; Novas organizações na energia (ex. EPE); Indústria eólica no NE/SUL; Incorporação da base metalmeccânica.	<ul style="list-style-type: none"> - A política se ancorou no arranjo institucional vigente? - Incentivou-se o desenvolvimento regional? - O foco da política residiu apenas na atração de investimento estrangeiro (IED)? - Teve êxito em combinar IED com a base industrial local? - Novas organizações e instituições públicas foram criadas? Quais? E com que funções?
	3 - Interação entre atores públicos e privados	Lundvall, 1985, 1988, 1992; Winter, 1987; Szapiro, 2016; Cassiolato e Lastres, 2005; Chang e Andreoni, 2016; Slaughter, 1993; Kapczynski e Michaels, 2024.	Planejamento energético; CNPE; Articulação MME-EPE-BNDES; Política de credenciamento do BNDES; Programa de Nacionalização Progressiva do BNDES.	<ul style="list-style-type: none"> - A política promoveu a cooperação entre os diferentes atores? - Incentivou o compartilhamento de riscos e a realização de compromissos de longo prazo? Como? - Reforçou os vínculos produtivos e estratégias de fornecimento de mais longo prazo? - Qualificou fornecedores locais que não atuavam na área de energia?
	4 - Aprendizado coletivo e capacidades dinâmicas	Lundvall, 1988, 1992; Freeman, 1982; Dosi, 1982; Lastres, 1999; Orsenigo, 1993; Cassiolato e Lastres, 2005, 2014;	Cláusula de P&D Aneel; Linhas de financiamento à inovação; Novos entrantes e diversificação produtiva.	<ul style="list-style-type: none"> - Houve políticas de qualificação da cadeia produtiva? - Incentivou-se a cooperação entre fabricantes de aerogeradores? e entre fornecedores? - A regulação do setor de energia incentivou o adensamento produtivo? De que forma? - Houve casos de <i>spillovers</i>? E de diversificação produtiva para outros setores?
	5 - Articulação dos diferentes subsistemas do SNI	Cassiolato e Lastres, 2005, 2014; Szapiro, 2016; Freeman, 1987, 1995; Nelson, 1982, 1992, 1993; Lundvall, 1988, 1992, 2010; Mansfield, 1991; Nelson e Rosenberg, 1993; Rosenberg, 1990, 1992	Leilões de energia; CNPE/EPE; Articulação das Linhas de Financiamento e Regras de Conteúdo Local do BNDE; Contexto geopolítico/crise de 2008;	<ul style="list-style-type: none"> - As políticas de demanda foram articuladas com as políticas financiamento à indústria? - Houve alinhamento entre os principais instrumentos de política? - A subvenção econômica e o apoio à inovação priorizaram o desenvolvimento cooperativo? - Os contextos geopolítico, econômico e político foram considerados no desenho das políticas? - O subsistema de inovação e produção foram articulados?

(continuação...)

Eixo Analítico	Dimensões	Autores e referências	Elementos relevantes da política e da indústria eólica	Exemplos de questões e perguntas relacionadas
Eixo 2 Inovação nas políticas e nas organizações públicas	1- Articulação das organizações e governança da política	Cassiolato e Lastres, 1999; Lundvall, 2010; Freeman, 1987; Chang, 2005; Lundvall, 2003. Muchie, Gammeltoft e	PDP, PBM, PITCE; Novas organizações e comitês criados; Planejamento da política; Alterações e revisões da política.	<ul style="list-style-type: none"> - As políticas contaram com um processo de planejamento bem desenhado? - Os mecanismos de diálogo entre organizações públicas funcionaram? - Havia uma governança bem definida nas políticas? - Havia um processo de acompanhamento e revisão da política? Ele foi efetivo? - As funções de política das organizações estavam claras e funcionaram?
	2 – Capacidades dinâmicas nas organizações públicas	Nelson e Winter, 1982; Mazzucato, 2014; Teece, 1982, 1986, 1988, 2007, 2012; Wu et al, 2015; Harreld e Tushman, 2009 Ferraz, Ramos, Plattek, 2021, 2022.	Organizações com histórico de atuação (MME, BNDES, FINEP); Com um quadro qualificado; Estabilidade institucional e robustez das organizações.	<ul style="list-style-type: none"> - O arranjo institucional contava com organizações relevantes para a execução das políticas? - Essas organizações tinham mandatos bem definidos e autonomia para desempenhar suas funções de políticas? - Possuíam um corpo técnico qualificado e com experiência nas suas atividades? - Essas organizações tinham robustez/solidez para assumir os riscos inerentes ao desenvolvimento de uma atividade nascente no país?
	3 - Inovação nas organizações públicas e nas políticas	Nelson e Winter, 1982; Karo e Kattel, 2018; Wu et al, 2018; Kattel e Karo, 2016; Kattel e Mazzucato, 2018; Kattel et al 2016; Evans, 1995; Kapczynski e Michaels, 2024.	Novas formas de contratação de energia; Novas linhas de financiamento; Programa de Sustentação do Investimento; Revisão das regras de credenciamento.	<ul style="list-style-type: none"> - As organizações públicas possuíam rotinas bem definidas para o desempenho de suas funções? - Seus processos internos eram adequados para gerar novidades e novas abordagens de política? - Havia etapas bem definidas como as de definição de agenda, formulação, adoção, implementação, avaliação e revisões das políticas?
Eixo 3 Regimes tecnológicos e as estruturas industriais	1 - Indústrias estratégicas e estrutura produtiva local	Freeman, 1995; Erber, 1992; Tushmann e Murmann, 1988 Takeuchi e Nonaka, 1986;	Base metalmecânica e indústria de equipamentos elétricos já estabelecidas; Foco das políticas na atração de investimento de fabricantes de aerogeradores.	<ul style="list-style-type: none"> - A política focou em segmentos estratégicos da indústria eólica? - O adensamento produtivo foi articulado com a cadeia de fornecedores? - A política foi capaz de incentivar os segmentos de maior potencial de expansão?
	2 - Elos dinâmicos e bases de conhecimento	Cassiolato e Lastres, 2005, 2014; Gertler, 2003; Szapiro et al, 2016; Malerba e Orsenigo, 1997; Perez, 1985, 1989; Polanyi, 2010; Utterback e Albernathy, 1975; Zucoloto e Cassiolato, 2012.	Atração de fabricantes de aerogeradores; Não-reembolsável para P&D local; Formação de <i>player</i> nacional no segmento de aerogeradores.	<ul style="list-style-type: none"> - A política teve clareza quanto ao padrão de concorrência da indústria eólica? - Foi capaz de incentivar os elos dinâmicos e inovadores dessa indústria? - Novas tecnologias adaptadas à realizada brasileira foram desenvolvidas? - Priorizou-se o incentivo às empresas nacionais? E foi capaz de gerar <i>players</i> nacionais relevantes?
	3 - Padrões específicos da inovação e do regime tecnológico	Malerba e Orsenigo, 1990, 1993, 1997; OCDE, 2016; Malerba, 2002; Pavitt, 1984a; Revilla e Fernandez, 2012, 2014; Lee e Noh, 2009; Almudi et al, 2013.	Forma de inserção da indústria; Contratos de longo prazo entre fabricantes de aerogeradores e fornecedores; Novas empresas de pás e torres eólicas.	<ul style="list-style-type: none"> - A política enunciou as prioridades de incentivo à inovação? - Identificou e utilizou <i>roadmaps</i> tecnológicos? - Direcionou incentivos para essas prioridades? - Alavancou o investimento em infraestrutura de C,T&I associados às competências-críticas da indústria eólica?

Fonte: Elaboração própria.

Anexo 3 – Questões das entrevistas – pesquisa de campo

1	Considerando uma possível definição de projeto nacional de desenvolvimento como um conjunto coordenado de políticas, estratégias e ações planejadas e implementadas pelo Estado com o objetivo de promover o crescimento econômico sustentável, reduzir as desigualdades sociais, melhorar a qualidade de vida da população e fortalecer a competitividade do país no cenário global, como você avaliaria a contribuição da política eólica (leilões, PDE, etc.) para a construção de um projeto nacional de desenvolvimento? Considera que a política eólica esteve inserida em um projeto nacional de desenvolvimento? Em que dimensões? Em que períodos isso esteve mais evidente? Como foi a construção inicial da política?
2	Desafio nacional pode ser definido como uma questão ou problema de natureza econômica, social, tecnológica ou ambiental que requer uma abordagem coordenada e estratégica por parte do Estado e da sociedade para ser enfrentado e superado. Nesse sentido, a política de eólica buscava resolver um desafio nacional? Qual(is)? Segurança energética? Energia a um custo mais acessível? De que forma buscava resolver esse(s) desafio(s)? Diversificação da matriz elétrica? Desenvolvimento regional?
3	Esse(s) desafio(s) foram desdobrados em objetivos específicos? Poderia citar alguns? Como a política foi implementada para alcançá-los? Poderia identificar os seus principais instrumentos?
4	Tendo em vista os seguintes desafios da política eólica - segurança energética e diversificação da matriz elétrica, modicidade tarifária, descarbonização da matriz elétrica, desenvolvimento industrial e regional e impacto no entorno dos projetos - você considera que a política teve êxito? Como e com que resultados? Em relação ao desafio do desenvolvimento da indústria, a política incentivou o investimento em capacidade produtiva e em inovação? De que forma?
5	Quais os elementos externos à política que influenciaram positivamente ou impuseram restrições aos seus resultados? De que forma o contexto macroeconômico influenciou a política? Qual a influência na política de eventos como a crise energética de 2001, a crise econômica de 2008 e a crise econômica e política de 2013-15?
6	O arranjo institucional existente foi uma importante alavanca do estabelecimento da política de energia eólica? Quais as características desse arranjo que favoreceram a execução da política? Como esse arranjo se modificou ao longo do tempo? E essa evolução foi benéfica para a política? De que forma?
7	A inserção da geração de energia eólica no Brasil se beneficiou de capacidades locais já existentes no setor de energia? Quais? E no SNI? E mais especificamente na indústria? A política impulsionou essas capacidades e as utilizou para acelerar o processo de desenvolvimento da energia eólica e da indústria? De que forma?
8	A política foi construída com a participação dos diferentes atores públicos e privados? A participação desses atores contribuiu para a execução da política? De que forma? Quais os atores privados de maior destaque? E os públicos?
9	A política impulsionou o desenvolvimento regional? Como e em que regiões? O desenvolvimento regional era um objetivo da política? Ou ocorreu independente dela e por outros fatores? Quais?
10	A política contemplava em seus objetivos a redução da desigualdade de renda e social (gênero, raça, classe social, etc.)? Alavancou um desenvolvimento inclusivo e com equidade? Como e por meio de que mecanismos?
11	A política promoveu a cooperação no setor de energia? Como e com quais atores? E na indústria e na cadeia produtiva de aerogeradores? Quais os principais segmentos industriais incentivados pela política?

12	Atores críticos são aqueles que tiveram papel central na execução da política (públicos) ou eram essenciais para os resultados da política (privados). A política foi capaz de mobilizar atores críticos, públicos e privados, para a sua implementação? Quais? E por quê esse ator era relevante para a execução da política?
13	A política incentivou os compromissos de longo prazo entre os diferentes atores? Quais evidências disso? Nas cadeias produtivas e nas relações cliente-fornecedor de bens e serviços? Os contratos de fornecimento foram alongados com o decorrer da política? Processos de verticalização ou outsourcing ocorreram e incentivaram o investimento local?
14	Quais as principais contradições e conflitos que estiveram presentes na execução da política? Entre que atores? A política teve êxito em mediar esses conflitos? Como?
15	A política teve êxito em incentivar a entrada de empresas na indústria eólica? Fortaleceu os vínculos produtivos nessa cadeia industrial? Como? Quais as evidências disso?
16	A política incentivou a criação de novas capacidades na indústria eólica? E na cadeia produtiva? Quais capacidades criadas você destacaria? E de que forma a política as incentivou?
17	Novos conhecimentos foram absorvidos pelas empresas? Quais? Esses conhecimentos se disseminaram entre os diferentes atores da indústria eólica? Quais as evidências disso você apontaria?
18	Quais as principais inovações realizadas pela indústria no País? De processos/produtos/organizacionais? Quais as principais capacidades e conhecimentos que foram necessários para essas inovações ocorrerem? A política as promoveu?
19	As capacidades inovadoras criadas transbordaram para outras atividades e indústrias? Poderia citar evidências disso?
20	A política incentivou a formação de redes de conhecimento e produção? Incentivou a cooperação com universidades, institutos de pesquisa e laboratórios? De que forma? Destacaria alguns exemplos das redes de conhecimento e produção que foram formadas? E de inovações que ela gerou?
21	<p>Quais os principais instrumentos da política você destacaria? Esses instrumentos estiveram articulados? De que forma?</p> <p>Indique a relevância dos instrumentos a seguir, sendo "0" sem importância; "1" pouco importante; "2" importância média; e "3" muito importante.</p> <p>Planejamento Decenal de Expansão de Energia (PDE) da Empresa de Planejamento Energético (EPE)</p> <p>Criação dos Ambientes de Contratação de Energia Livre e Regulado (ACL e ACR)</p> <p>Leilões de energia (LER, LEN, LFA, etc.)</p> <p>Programa de Incentivo à Geração de Energia renovável - Proinfa</p> <p>Programa de Sustentação do Investimento - PSI BNDES</p> <p>Credenciamento de Fornecedores do BNDES e Índice de Nacionalização</p> <p>Novos Modelos de Financiamento do BNDES à Geração de Energia</p> <p>Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI)</p> <p>Linhas de financiamento à inovação e editais de subvenção da FINEP</p> <p>P&D ANEEL</p> <p>Outros, especifique: ausência ou presença de um política industrial. Plano de industrialização.</p>
22	Houve articulação da demanda com as demais políticas de financiamento e conteúdo local? Como incentivaram os subsistemas de produção e inovação? Havia uma articulação com os instrumentos de fomento à inovação? Cite evidências, se possível.
23	Outras políticas como a tributária, de regulação, de representação e comércio exterior foram articuladas com os instrumentos citados anteriormente? Foram relevantes para a política?

24	A formulação da política considerou o contexto econômico, político, social, cultural local e no exterior na alocação dos incentivos? De que forma? Como esse contexto influenciou na execução e os resultados da política? Cite exemplos, se possível.
25	Os instrumentos e a articulação entre eles foram efetivos em alavancar o investimento em energia? E na indústria? E em inovação?
26	A política possui um processo de planejamento? Esse processo era formal e organizado? Era revisitado periodicamente com revisões e adequações necessárias ao desenrolar da política? Qual organização pública ou instância da política conduzia esse processo?
27	O processo de planejamento e implementação da política possui etapas bem estabelecidas como, por exemplo, a definição de agenda, formulação, adoção, implementação, avaliação e revisões?
28	A política possui uma governança bem estabelecida e que é efetiva em organizar os diferentes papéis e funções de política entre as organizações públicas? Impulsionou uma atuação articulada entre essas organizações? Essa articulação foi importante para a execução e os resultados da política? Poderia citar exemplos?
29	A política possui mecanismos de diálogo entre as organizações públicas? São mecanismos formais como comitês, conselhos etc.? Quais os principais fóruns, conselhos e comitês da política? Ou predominaram as ações informais e bilaterais entre organizações públicas?
30	A governança da política permite interações com outras políticas públicas? Absorve elementos dessas políticas na sua formulação e implementação? Há fóruns ou mecanismos formais que incentivem essa articulação intersetorial?
31	Qual a sua avaliação sobre as capacidades técnicas das organizações públicas que participam da política? Na sua avaliação essas organizações possuem um histórico de atuação e capacidades constituídas para a execução da política? Poderia fazer alguns destaques positivos ou negativos a esse respeito?
32	As organizações possuem rotinas organizacionais e atuam com eficiência nas suas funções? Poderia citar exemplos?
33	Essas organizações possuem processos que as permitem identificar novas oportunidades de atuação? Esses processos são formalizados? Houve oportunidades identificadas que levaram a mudanças internas dessas organizações e melhoria nos seus instrumentos?
34	As suas capacidades internas são adequadas para o desempenho de suas funções? Aqui considere capacidades da organização como tipo de organização social, disponibilidade de recursos, orçamento, características desses recursos, robustez da organização (inclusive financeira) para atuar nas políticas e incentivar novos segmentos industriais, etc.
35	Essas organizações possuem uma burocracia qualificada e com experiência na execução de políticas industriais e de inovação?
36	Essas organizações possuem um mandato bem definido no âmbito da política e autonomia para sua atuação e implementação da política? Identifique casos ilustrativos, se possível.
37	Você considera que houve aprendizado nessas organizações no decorrer da política? Cite exemplos, se possível. Como esse aprendizado se relaciona com a governança da política e as capacidades internas dessas organizações?
38	O aprendizado organizacional decorrente desse processo retroalimenta os processos internos e permitem identificar as melhores práticas da política? Cite exemplos, se possível.
39	As organizações públicas são capazes de assumir riscos para o fomento a novas atividades e setores nascentes como a indústria eólica no Brasil? Que tipos de incertezas eram relevantes e estiveram presentes na implementação da política?
40	As organizações inovaram em seus procedimentos, processos e instrumentos? Cite exemplos, se possível.

41	Tendo a indústria eólica em foco, quais cadeias produtivas já estabelecidas no País se beneficiaram do processo de expansão da energia eólica no Brasil? E quais novos segmentos foram atraídos para o País? A política incentivou o adensamento produtivo local de forma articulada com a base industrial existente? Como?
42	Considerando os desafios já citados (segurança energética, descarbonização da matriz elétrica, desenvolvimento regional), a política identificou segmentos mais promissores na indústria e os incentivou de forma articulada a esses desafios?
43	Considerando os desafios já citados (segurança energética, descarbonização da matriz elétrica, desenvolvimento regional), a política identificou segmentos mais promissores na indústria e os incentivou de forma articulada a esses desafios?
44	Esse processo de seleção e priorização era coordenado por qual instituição? Contava com a participação de outros atores do SNI? De qual subsistema? Financiamento, CT&I, Político, outros? Como se dava essa articulação?
45	Esse processo de seleção das indústrias acompanhava a evolução dessas indústrias no País? Era capaz de avaliar essa evolução? E o próprio processo era revisto e atualizado quando necessário?
46	Na sua visão e considerando as indústrias estratégicas comentadas na dimensão anterior, quais as competências e conhecimentos são os mais importantes para o desenvolvimento e a inovação? Classifique sendo "0" irrelevante; "1" pouco relevante; "2" relevância média; e "3" muito relevante. Engenharia elétrica Engenharia mecânica estrutural Engenharia de mecânica de fluidos Engenharia civil Engenharia de materiais e metalúrgica Engenharia de produção Ciências da computação Geociências e física Outros, especifique:
47	A identificação desses segmentos críticos e competências-chave foi considerado no desenho da política e na alocação dos incentivos? De que forma? Poderia citar exemplos?
48	Os instrumentos e os incentivos da política são voltados para a criação de novas capacidades e para o aprendizado na indústria? Como era essa orientação? E como impulsionaram esse aprendizado?
49	Essas capacidades criadas e as competências adquiridas pelas empresas viabilizaram o desenvolvimento de inovações e tecnologias habilitadoras no Brasil? Cite evidências disso. Qual o tipo de inovação predominante: de produto? De processo? Organizacional?
50	A política prioriza o desenvolvimento de empresas nacionais? Em que segmentos? Teve êxito em incentivar essas empresas? Cite exemplos.
51	Oportunidades tecnológicas: A indústria eólica, embora já possua relativo grau de maturidade, apresenta ainda importantes oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias como, por exemplo, o desenvolvimento de novos aerogeradores de maior potência, pás mais leves e de maior comprimento, novos projetos de aerogeradores com design alternativo, torres mais elevadas e com menor custo, projetos de aerogeradores adequados às características dos ventos locais. Você considera que a política incorporou um olhar para essas oportunidades tecnológicas em seu planejamento e para a alocação de incentivos? Por meio de quais instrumentos? Como buscou aproveitá-las para o desenvolvimento da base industrial local?

52	<p>Condições de apropriação da tecnologia: Nessa indústria como as empresas protegem o conhecimento e as tecnologias em relação à imitação? Qual o tipo de estratégia de propriedade intelectual predominantemente adotado pelas empresas (patentes, segredo industrial, inovação continuada, controle de ativos complementares)? Considera que o conhecimento pode ser facilmente adquirido e a inovação copiada? Ou há um elevado nível de proteção ao conhecimento nessa indústria?</p>
53	<p>Grau de acumulação do conhecimento: Na sua visão, o quão importante é o conhecimento acumulado nessa indústria para futuras inovações? Há casos relevantes de novos entrantes que realizaram a diversificação para essa indústria por meio de inovações? As empresas inovadoras são predominantemente dessa indústria ou há com frequência inovações que vêm de outras indústrias? Cite exemplos.</p>
54	<p>Características do conhecimento: Quais as características do conhecimento nessa indústria que são importantes para a inovação? São conhecimentos genéricos ou específicos? Tácitos ou que se encontram codificados e disponíveis? São complexos ou simples? Dependem de um sistema e uma rede de atores ou é facilmente identificável e isolado de forma a ser mais facilmente absorvido pelas empresas?</p>
55	<p>A política considerou algum desses elementos para a alocação de incentivos e para o desenho dos instrumentos? De que forma? Essas condições foram de alguma forma consideradas para a definição das contrapartidas de localização na política do BNDES? Ou em outros instrumentos como os leilões? Como? Há evidências?</p>