

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

MARIA GABRIELA VON BOCHKOR PODCAMENI

SISTEMAS DE INOVAÇÃO E ENERGIA EÓLICA:
A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

RIO DE JANEIRO

2014

MARIA GABRIELA VON BOCHKOR PODCAMENI

**SISTEMAS DE INOVAÇÃO E ENERGIA EÓLICA:
A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA**

Tese de Doutorado submetida ao Instituto
de Economia da Universidade Federal do Rio de
Janeiro como requisito parcial para a obtenção
do título de Doutora em Economia

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Cassiolato

**RIO DE JANEIRO
2014**

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade da autora.

Maria Gabriela von Bochkor Podcameni

**Sistemas de Inovação e Energia Eólica:
A Experiência Brasileira**

Tese de Doutorado submetida ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Economia.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Eduardo Cassiolato (Orientador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Eduardo da Motta e Albuquerque
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof^a. Dra. Marina Honório de Souza Szapiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Luiz Martins de Melo
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dra. Adriane Helena Rodrigues
BNDES

Rio de Janeiro, junho de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

P742 Podcameni, Maria Gabriela von Bochkor.
Sistemas de inovação e energia eólica: a experiência brasileira / Maria Gabriela von Bochkor Podcameni. -- 2014.
364 f.; 31 cm.

Orientador: José Eduardo Cassiolato.
Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia, 2014.
Bibliografia: f.278-302.

1. Sistema nacional de inovação. 2. Energia eólica. 3. Sustentabilidade - Brasil.
I. Cassiolato, José Eduardo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. III. Título.

CDD 338.9

Dedico este trabalho ao meu pai, Abelardo Podcameni (in memoriam), meu exemplo e eterna fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Por mais solitário que a elaboração de uma tese possa parecer, trata-se de um trabalho essencialmente coletivo. Esta tese não teria sido possível sem a ajuda direta e explícita de tantos outros pesquisadores, professores, amigos e companheiros. O produto final foi construído a partir de importantes referências de conhecimento, afeto e solidariedade. Gostaria que todos os envolvidos nessa tese, e, sobretudo na minha vida, se sentissem também realizando uma grande conquista.

É uma honra terminar o doutorado em uma instituição que eu tenha tanta admiração e respeito. Foram quatro anos de muito estudo, intensos debates, maravilhosas descobertas e muita inspiração.

Ao Professor José Eduardo Cassiolato, meu orientador, um agradecimento mais que protocolar. Ao seu lado, as minhas motivações para buscar conhecimento são renovadas, assim como as minhas forças para transformar o mundo. Obrigada por ser meu guia.

À Helena Lastres, meus sinceros agradecimentos pelo carinho e encorajamento.

À Maria Izabel Ramos, um agradecimento especial. Foste a minha força e minha inspiração. Tê-la ao meu lado, me motivou ir além do medo e do cansaço e a acreditar que o sucesso era possível. Foram inúmeras situações onde estendeste a mão para mim. Estou imensamente grata.

À Graziela Zucoloto, uma irmãzinha que a vida me deu, gratidão. Além de você ser uma fonte inesgotável de conhecimento e uma pesquisadora admirável, és muito amiga.

À Adriana Hack, agradeço pela força e eterna disponibilidade. Você foi essencial.

Sou grata à Michelle Hallack. Nossa amizade vai além das fronteiras. Sua ajuda, em um momento particularmente crítico da pesquisa foi essencial. Tenho sorte de tê-la ao meu lado.

Um agradecimento especial à Adriane Helena Rodrigues, pelo apoio e incentivo na elaboração desta pesquisa.

Não poderia deixar de mencionar de forma especial uma querida amiga que sempre me acompanha e torce por mim: Maria Clara Couto Soares. Clarita: aprendo demais com você, és um exemplo para mim.

Sou grata ao Biel (Gabriel Buchmann), por ter me ensinado a sonhar, pelas experiências incríveis e pelo amor. Agradeço à Fátima Buchmann, pelo filho maravilhoso.

Obrigada a todos que colaboraram especificamente para viabilizar minha pesquisa. Pelos ensinamentos acerca do funcionamento técnico do setor energético e especificamente da fonte eólica, eu agradeço a Mauricio Aredes, Rita Cavaliere, Rodrigo Dorado, Bardo Balmann, André Lucena; ao essencial apoio na execução da pesquisa de campo, agradeço à Adriana Soares; ao suporte com os entrevistados agradeço Christiane Santos e Felipe Vieira e toda a equipe da Abeeolica; aos assistentes de pesquisa Getulio Vargas, Caio Cesar, Melissa Cordeiro e Adam V. Mehl, agradeço imensamente o suporte.

Um agradecimento especial a todos os entrevistados. Ao longo da pesquisa de campo, conheci pessoas disponíveis e dotadas de um profundo conhecimento sobre o setor elétrico, sobre energia eólica e sobre o Brasil. Apesar das minhas intermináveis entrevistas fui extremamente bem recebida por todos. Sinto-me afortunada. Dedico um agradecimento particular também a Eduardo Lopes, Roberto Miranda e Pedro Perrelli, que apadrinharam a pesquisa e não mediram esforços para me ajudar.

Agradeço ao Rodrigo Dorado e ao professor Bodmann pela importantíssima parceria e ajuda na elaboração da metodologia contida no capítulo 7.

Presto minha sincera gratidão ao corpo docente do IE/ UFRJ, em especial à Marina Szapiro e Adilson de Oliveira pelos comentários e valiosas sugestões no momento da qualificação e ao professor Carlos Eduardo Young, que sempre me inspira. Suas contribuições muito me ajudaram no desenvolvimento desta tese. Dedico um agradecimento particular também a todos os funcionários, destacando o carinho dos amigos da cantina, que até inventaram um sanduíche em minha homenagem.

Agradeço a todos da Redesist pelo aprendizado, apoio e carinho. A Redesist é uma rede de aprendizagem onde os ingredientes principais são afeto e amizade. Sinto-me afortunada de fazer parte desta rede de pesquisadores. Destaco um especial agradecimento à Fabiane e Tatiane, dois anjinhos que apareceram na minha vida. Sou grata às conversas, sempre esclarecedoras, com os pesquisadores Flavio Peixoto e

Carlos Bianchi. Vocês foram essenciais na minha formação acadêmica e pessoal. Ao Danilo e Fabio Staliviere, um agradecimento especial pela amizade e cumplicidade.

Agradeço de forma especial IFRJ, que possui uma equipe de excelência que não mede esforços para que um ensino de qualidade chegue aos alunos, mesmo sem infraestrutura adequada. Agradeço de forma especial o apoio dos professores do meu departamento (CST Ambiental), com destaque a Hudson Santos, Carla Santi, Simone Lorena, Gustavo Simas, Nina e Paulo Assis.

Não poderia de mencionar meus alunos. Não existe ensinar sem aprender e junto com vocês eu tenho aprendido muitíssimo. Vocês me estimulam a ‘repensar o pensado’. Sinto me honrada por dar aula para alunos tão guerreiros, que mesmo diante de inúmeras adversidades, não desanimam.

Agradeço aos meus queridos amigos. Vocês são minha fonte de carinho e alegria. São tantos, mas não poderia deixar de mencionar Bernardo Silveira, Marcio Firmo, Flávio Flores, Pedro James, Juliana Kramer, Vitor Pereira, Felipe Ceará, Mel, Paloma Vaismann, Karina Saltoun, Nina Buchmann, Raquel Tessarolo, Sylvia Telles, Julia Queiroz, André Lucena, Romero Rocha, Eduardo Zilberman, Pedro Valente, Cristina Reis, Martha Scherer, Jerônimo, Sudha, Nyiate, Anshul, Madhuri, Nayana, Jayana, Daya, Satyan, Débora, Diana, Jayant, Jani, Damini, Gyata, Sahas, Chetan, Avibasha, Sadhana, Sagar, Anubhava, Akash e Melzinha, Nija, Beatriz Faria.

Agradeço ao Namastê-Rio e Namastê – POA. Com apoio das meditações, amigos e amor, alcancei o que nunca imaginei e agradeço imensamente.

Por fim agradeço a mãe, a minha irmã Ana Paula e ao meu pai. Sempre deixo o melhor para o final, e vocês são o melhor da minha vida. Obrigada mãe, pelo seu apoio incondicional ao longo deste processo de tese e de muitos outros. Obrigada por acreditar em mim, mesmo quando eu não acreditava. Você é minha fortaleza.

Obrigada maninha, pelo amor e cumplicidade. Obrigada por estar ao meu lado sempre. Sou imensamente grata por tê-la como irmã. Obrigada pai, por tudo que você me deu e me ensinou. Obrigada pela sua generosidade e simplicidade. Pelo amor incondicional, pelo carinho e afeto. A saudade que eu sinto não cabe em nenhuma palavra. Só não é maior que outro sentimento: a gratidão.

“Trazendo de países distantes nossas formas de convívio, nossas instituições, nossas idéias, e timbrando em manter tudo isso em ambiente muitas vezes desfavorável e hostil, somos ainda hoje uns desterrados em nossa terra. (...) Podemos construir obras excelentes, enriquecer nossa humanidade de aspectos novos e imprevistos, elevar à perfeição o tipo de civilização que representamos: o certo é que todo o fruto de nosso trabalho ou de nossa preguiça parece participar de um sistema de evolução próprio de outro clima e de outra paisagem”.

(Sérgio Buarque de Holanda, Raízes do Brasil)

RESUMO

PODCAMENI, M. G. V. B. Sistemas de Inovação e Energia Eólica: A Experiência Brasileira. Rio de Janeiro: Instituto de Economia/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Tese de Doutorado.

A presente tese tem como objetivo analisar o desenvolvimento da energia eólica no Brasil não somente sob o prisma energético, mas, sobretudo, enfatizando o desenvolvimento produtivo e tecnológico e os processos inovativos relacionados a essa fonte de energia. A base conceitual da tese é a abordagem neo-schumpeteriana de sistema nacional de inovação. Por compreender o processo inovativo como interativo e sistêmico, a análise se estende a um conjunto amplo de instituições e políticas - energéticas, tecnológicas, de financiamento e de capacitação - que afetam os processos produtivos e de acumulação de capacitações. A tese está estruturada em três partes, além de introdução e conclusão. A primeira parte é a base para a análise empírica realizada ao longo do trabalho. Essa seção discute a emergência de um paradigma tecno-econômico relacionado à sustentabilidade ambiental, apresenta o arcabouço teórico do Sistema Nacional de Inovação e, por fim, apresenta alguns estudos que analisam as estratégias globais de inovação e produção das empresas transnacionais. A compreensão do comportamento destas empresas é relevante uma vez que elas estão entre os principais atores do sistema produtivo global e dominam o desenvolvimento de tecnologias eólicas. Além disso, até agora são estas empresas que dominam o mercado brasileiro de equipamentos para energia eólica. A segunda parte da tese descreve as características tecnológicas dos equipamentos eólicos e apresenta o panorama da evolução da fonte eólica no mundo. As principais políticas públicas adotadas por alguns países que fomentaram esse desenvolvimento são também analisadas. A terceira parte apresenta um estudo de caso sobre a evolução da energia eólica no Brasil. Os principais elementos do sistema nacional de inovação brasileiro de energia eólica foram analisados: (i) as políticas de energia, de ciência, tecnologia e inovação e de financiamento para energia eólica; (ii) a estrutura produtiva, sua evolução e as estratégias produtivas e inovativas adotadas pelas empresas; e (iii) o desenvolvimento de capacitações produtivas e tecnológicas relacionadas à fonte eólica. Os resultados dessas análises apontam basicamente para: i) um baixo impacto das políticas de CTI para influenciar as estratégias de inovação e produção das empresas analisadas; ii) uma significativa diferença entre a empresa nacional e as transnacionais em relação a estratégias de produção e inovação; iii) uma forte desarticulação entre as políticas, a estrutura produtiva e a estrutura científica, e uma desarticulação entre políticas implícitas e explícitas. Como resultado mais geral da tese, reitera-se que, de uma maneira geral, as estratégias de produção e de inovação adotadas pelas transnacionais tendem a ser incompatíveis com o desenvolvimento sustentável, mesmo nas áreas que reduzem a emissão de gases de efeito estufa, como é o caso da energia eólica.

Palavras-Chave: Energia Eólica, Sistema Nacional de Inovação e Sustentabilidade

ABSTRACT

PODCAMENI, M. G. V. B. Sistemas de Inovação e Energia Eólica: A Experiência Brasileira (Systems of innovation and wind power: The Brazilian experience) . Rio de Janeiro: Economics Institute/Federal University of Rio de Janeiro, 2014. PhD Thesis.

This thesis aims to analyze the development of wind energy in Brazil not only from the viewpoint of the energy system, but mostly with respect to the productive and technological development and the innovative processes related to this kind of energy. The conceptual basis of the thesis is the neo-Schumpeterian approach of national innovation system. By understanding the innovation process as interactive and systemic, the current analysis encompasses a broad range of institutions and policies - energy, technology, financing and capacity building - that affect the processes of production and accumulation of skills. The thesis is structured in three parts, besides an introduction and the conclusion. The first part is the basis for the empirical analysis carried out. It discusses the emergence of a techno-economic paradigm related to environmental sustainability, presents the theoretical framework of the National System of Innovation and analyzes the multinationals' global strategies of innovation and production. Understanding the behavior of multinational firms is relevant since they are among the main actors of the global production system and dominate the development of wind technologies. The second part of this thesis describes the technical characteristics of wind turbine equipment and provides an overview of the development of wind power in the world, analyzing the main public policies that fostered this development. The third part presents a case study about the development of wind energy in Brazil. The main analyzed elements were: (i) energy policies, science, technology and innovation policies and financing for wind energy; (ii) the evolution of the production structure and production and innovative strategies adopted by companies in this productive structure; and (iii) the development of productive and technological capabilities related to wind power. The results of these evaluations point to: i) a low impact of science, technology and innovation policies to influence the innovation strategies and production of analyzed firms; ii) a significant difference between national and multinational firms with respect to production and innovation strategies; iii) a relevant disconnection between policies, the production structure, and the scientific structure, and a mismatch between implicit and explicit policies. As a more general result, the results of the thesis reiterates that, in general, production and innovation strategies adopted by multinationals tend to be incompatible with sustainable development, even in areas that reduce the emission of greenhouse gases, such as wind energy. These findings are presented in detail at the end.

Key Words: Wind Power, National System of Innovation and Sustainability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Capacidade eólica instalada total no mundo entre 1996 e 2012.....	23
Figura 2 - Componente verde do pacote anti crise	38
Figura 3 - Versão Ampla e Restrita do Sistema Nacional de Inovação.....	44
Figura 4 - Aerogerador de eixo vertical	63
Figura 5 - Aerogerador de eixo horizontal	64
Figura 6 - Padrão Dominante de Aerogerador de Eixo Horizontal	65
Figura 7 - Evolução Tecnológica da Altura dos Aerogeradores	66
Figura 8 - Indústria Eólica.....	69
Figura 9 - Evolução de Empresas Chinesas no Mercado Energético Interno	115
Figura 10 - Crescimento Global	121
Figura 11 - Evolução da energia eólica por país desde 1980 até 2012	123
Figura 12 - Evolução da energia eólica por país desde 1980 até 1998	123
Figura 13 - Dez maiores países em novas capacidades instaladas (Jan-Dez 2012).....	126
Figura 14 - Países com maiores capacidades acumuladas em energia eólica (Dezembro 2012)	127
Figura 15 - Participação das OEMs no Mercado norte-americano (2012)	129
Figura 16 - Participação no Mercado: Alemanha em 2006.....	130
Figura 17 - Participação no Mercado: Espanha (2006).....	130
Figura 18 - Participação no Mercado indiano (2006)	131
Figura 19 - Participação no Mercado Energia Eólica China 2013	131
Figura 20 - Capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil em 2001...	135
Figura 21 - Mapa eólico brasileiro.....	136
Figura 22 - Energia Armazenada em Reservatórios Hidrelétricos e a Geração Eólica no Nordeste Brasileiro	136
Figura 23 - Capacidade Instalada de Energia Eólica na Matriz Elétrica Brasileira entre 2005 e 2012 e estimado para 2013 a 2017 (MW).....	138
Figura 24 - Matriz Elétrica Brasileira 2013(%).....	138
Figura 25 - Distribuição regional da cadeia produtiva das turbinas eólicas.....	188
Figura 26 - Distribuição dos Investimentos em novos negócios nos segmentos cuja nacionalização é exigida no âmbito das novas regras de credenciamento do BNDES	208
Figura 27 - Evolução do número de grupos de pesquisa em energia eólica	217
Figura 28 - Classificação dos Grupos de Pesquisa em Áreas do Conhecimento	218
Figura 29 - Distribuição Regional dos grupos de pesquisa que possuem interação com a estrutura produtiva	220
Figura 30 - Distribuição Regional das empresas que possuem interação com os grupos de pesquisa em energia eólica	222
Figura 31 - Distribuição dos tipos de relações do grupo de pesquisa com o setor produtivo	224
Figura 32 - Distribuição dos tipos de remuneração entre grupos de pesquisa e o setor produtivo	226
Figura 33 - Classificação das linhas de pesquisa.....	228
Figura 34 - Distribuição regional das linhas de pesquisa.....	229
Figura 35 - Classificação temática das linhas de pesquisa de energia eólica.....	231
Figura 36 - SNI de energia eólica a partir do subsistema de política	241
Figura 37 - SNI de energia eólica a partir do subsistema produtivo.....	245

Figura 38 - SNI de energia eólica a partir do subsistema de capacitação científica e tecnológica.....	250
Figura 39 - Mostra como os elementos do SNI de energia eólica ressaltados nesta seção	257
Figura 40 - Potencialidades do SNI de Energia Eólica no Brasil – Potencialidades do SNI de Energia Eólica no Brasil.....	264
Quadro 1 - Principais Produtores de Equipamentos Eólicos no Brasil em 2013	183
Quadro 2 - Principais estratégias produtivas adotadas pelas empresas	194
Quadro 3 - Esquematização das estratégias produtivas e inovativas das empresas fabricantes de aerogeradores	210
Quadro 4 - Tipos de relações do grupo de pesquisa com o setor produtivo	223
Quadro 5 - Tipos de remuneração do grupo de pesquisa com o setor produtivo	225
Tabela 1- Dimensão verde dos planos de estímulo econômico.....	39
Tabela 2 - Dez maiores fabricantes mundiais de aerogeradores	128
Tabela 3 - Projetos eólicos contratados no âmbito do PROINFA	144
Tabela 4 - Projetos eólicos contemplados no programa de subvenção econômica	162
Tabela 5 - Encomenda e chamada pública de energia eólica apoiados pelo CT- Energia	168
Tabela 6 - Projetos selecionados no edital MCT/CNPQ/FNDCT 05/2010159.....	170
Tabela 7 - Programas de energia eólica do programa de P&D da Aneel.....	174
Tabela 8 - Projetos de energia eólica enviados para Chamada 17.....	179

SIGLAS

ABEEÓLICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA
ACL - AMBIENTE DE COMERCIALIZAÇÃO LIVRE
ACR - AMBIENTE DE COMERCIALIZAÇÃO REGULADO
AMPLA – AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS S/A
ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
AWEA - AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION
AWT - ADVANCED WIND TURBINE
BNB - BANCO DO NORDESTE DO BRASIL
BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL
BTM – BRASAGEM E TRATAMENTO EM METAIS.
CAPES – COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR
CASE - COMISSÃO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA
CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
CEEE-GT – COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS
CELESC-DIS - CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A.
CELPA - CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ S/A.
CELPE - COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE PERNAMBUCO
CEMAR - COMPANHIA ENERGÉTICA DO MARANHÃO
CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS
CENER - CENTRO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVÁVEIS
CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA
CER - CONTRATOS DE ENERGIA RESERVA
CESP - COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO
CFI - CRÉDITO FISCAL DE INVESTIMENTO
CGTF - CENTRAL GERADORA TERMELÉTRICA FORTALEZA S/A
CHESF - COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO
CMSE – COMITÊ DE MONITORAMENTO DO SETOR ELÉTRICO
CNPQ – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA
CO2 – DIÓXIDO DE CARBONO
COFINS – CONTRIBUIÇÃO PARA O FINANCIAMENTO DA SEGURIDADE SOCIAL
COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA
COPPETEC - COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS
CPFL - COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ
CPFL-PAULISTA - COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ
CT&I - CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO

CTA - CENTRO TECNOLÓGICO AEROESPACIAL
CTA - CENTRO TECNOLÓGICO DA AERONÁUTICA
CTI – CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO
DGP - DIRETÓRIO DE GRUPOS DE PESQUISA
DOE - DEPARTMENT OF ENERGY
DUKE - DUKE ENERGY INTERNATIONAL, GERAÇÃO PARANAPANEMA S/A.
EA - ELECTRICITY ACT
EEG - RENEWABLE ENERGY SOURCES ACT
EEP - ENERGY RESEARCH PROGRAM
EFL - ELECTRICITY FEED-IN ACT
ELETRONORTE - CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A.
ELETROSUL – ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S/A
ENERSUL – EMPRESA ENERGÉTICA DE MATO GROSSO DO SUL S.A.
EPACT – ENERGY POLICY ACT
EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA
ETN – EMPRESA TRANSNACIONAL
EUA – ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA
EWEA - EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION
FHC – FERNANDO HENRIQUE CARDOSO
FINEP – FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS
FNDCT – FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
GE – GENERAL ELECTRIC COMPANY
GEE - GASES DE EFEITO ESTUFA
GHC - REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES
GW – GIGAWATT (MEDIDA DE POTÊNCIA)
GWEC - GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL
HIDROPAN - HIDROELÉTRICA PANAMBI S/A.
ICGS - INTERESSE EXCLUSIVO DE CENTRAIS DE GERAÇÃO PARA CONEXÃO COMPARTILHADA
ICMS – IMPOSTO SOBRE CIRCULAÇÃO DE MERCADORIAS E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS
ICSA – INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
IDE – INVESTIMENTO DIRETO EXTERNO
IMPSA – INDÚSTRIAS METALÚRGICAS PESCARMONA
IN - ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO
IPI – IMPOSTO SOBRE PRODUTOS INDUSTRIALIZADOS
IREDA – INDIAN RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT AGENCY LTD.
KW – Quilowatt (medida de potência)
KWH – QUILOWATT-HORA
LEE - LEILÕES DE ENERGIA EXISTENTE
LEN - LEILÕES DE ENERGIA NOVA
LER - LEILÕES DE ENERGIA RESERVA
LFA - LEILÃO DE FONTES ALTERNATIVAS

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
MEC- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MNES - MINISTÉRIO DA FONTES DE ENERGIA NÃO CONVENCIONAIS
MNRE – MINISTRY OF NEW AND RENEWABLE ENERGY
MONEL - MONJOLINHO ENERGÉTICA S/A
MTOI - M. TORRES OLVEGA INDUSTRIAL
MW – MEGAWATT (MEDIDA DE POTÊNCIA)
NASA - SIGLA EM INGLÊS DE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE
ADMINISTRATION – ADMINISTRAÇÃO NACIONAL VESTAS, ENERCON E
NORDEX AL DA AERONÁUTICA E DO ESPAÇO
NREL - NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY
NWTC - NATIONAL WIND TECHNOLOGY CENTER
O&M – OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
OECD – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO
OEMS - ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURERS
P&D – PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
PASEP – PROGRAMA DE FORMAÇÃO DO PATRIMÔNIO DO SERVIDOR
PÚBLICO
PCH - PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS
PDP - POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO PRODUTIVO
PETROBRÁS - PETRÓLEO BRASILEIRO S/A.
PIA – PESQUISA INDUSTRIAL ANUAL
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
PIS – PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO SOCIAL
PITCE - POLÍTICA INDUSTRIAL, TECNOLÓGICA E DE COMÉRCIO EXTERIOR
POTIGUAR S.A. - COMPANHIA ENERGÉTICA POTIGUAR S.A.
PROÁLCOOL - PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL
PROINFA – O PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE
ENERGIA ELÉTRICA
PTC - CONCESSIONÁRIAS PRIVADAS DE ELETRICIDADE
PTE - PARADIGMA TECNO-ECONOMICO
PUCRS – PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PURPA - PUBLIC UTILITY REGULATORY POLICIES ACT
REPI - FEDERAL RENEWABLE ENERGY PRODUCTION INCENTIVE
RN – RIO GRANDE DO NORTE
ROL - RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA
SECEX - COMÉRCIO EXTERIOR
SENAI – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
SERC - COMISSÕES ESTADUAIS DE ENERGIA ELÉTRICA
SNI - SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO
TECSIS – TECNOLOGIA E SISTEMAS AVANÇADOS
TICs - TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

TRACTEBEL - TRACTEBEL ENERGIA S/A
TSN - TRANSMISSORA SUDESTE NORDESTE
TUST - TARIFA DE USO DOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO
TUSTFR - TARIFA DE USO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE FRONTEIRA
U.S. – ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA
UFAL – UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UFC – UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
UFMG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
UFPE – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
UFRJ – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
UFSM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNCTAD - UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND
DEVELOPMENT
UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME
USD – UNITED STATES DOLLAR
UTNF – USINA TERMÉLETRICA NORTE FLUMINENSE S/A
WWF - WORLD WILDE FUND FOR NATURE

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	21
PARTE I – ELEMENTOS ANALÍTICOS	30
CAPÍTULO 1 - ENERGIA EÓLICA, SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA	31
1.1. INTRODUÇÃO	31
1.1.1. Crise Ecológica.....	32
1.1.2. Mudanças Tecnológicas e a Atual Crise Ecológica.....	34
1.1.3. Elementos da emergência de um novo paradigma produtivo	36
1.2. SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO	41
1.2.1. SNI: Inovação como processo sistêmico	41
1.2.2. SNI: implicações de política	46
1.2.3. Transnacionais no SNI.....	52
1.3. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	57
PARTE II – ENERGIA EÓLICA	59
CAPÍTULO 2 – INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA	60
2.1. INTRODUÇÃO	60
2.2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS	62
2.2.1. Tipos do Aerogerador	62
2.2.2. Trajetória Tecnológica do Aerogerador.....	66
2.3. CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA EÓLICA	68
2.4. PRODUTORES DE AEROGERADORES	72
2.5. ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO DE AEROGERADORES	75
2.6. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	81
CAPÍTULO 3 - POLÍTICAS DE APOIO À ENERGIA EÓLICA NO MUNDO	83
3.1. INTRODUÇÃO	83
3.2. PRINCIPAIS INSTRUMENTOS DE APOIO À INDÚSTRIA EÓLICA	85
3.3. PANORAMA HISTÓRICO	90
3.3.1. Dinamarca	90
3.3.2. Alemanha	94
3.3.3. EUA	98
3.3.4. Espanha	102
3.3.5. Índia	106
3.3.6. China	110
3.4. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	118
CAPÍTULO 4 - PANORAMA DA INDÚSTRIA EÓLICA NO MUNDO	120
4.1. INTRODUÇÃO	120
4.2. PANORAMA GLOBAL DA CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA EÓLICA.....	121
4.3. CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA EÓLICA POR PAÍS	122
4.4. PANORAMA DAS OEMs NO MUNDO	128
4.5. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	133
PARTE III - A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL	134
CAPÍTULO 5 - POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS PARA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL	140
5.1. INTRODUÇÃO	140

5.2. POLÍTICAS DE ESTRUTURAÇÃO DE MERCADO	141
5.3. POLÍTICA INDUSTRIAL	152
5.3.1. Índice de nacionalização (IN) atrelado aos programas de energia	152
5.3.2. Linhas de financiamento preferenciais e IN atrelado às linhas de financiamento.....	153
5.4. POLÍTICA DE CTI.....	158
5.4.2. Subvenção Econômica.....	161
5.4.3. Fundo Setorial	166
5.4.4. Programa de P&D do setor elétrico brasileiro.....	171
5.4.4.1. Características gerais do programa.....	171
5.4.4.2. Energia eólica no âmbito do programa de P&D da Aneel.....	173
5.5. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	180
CAPÍTULO 6 - DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA PRODUTIVA DA CADEIA DE EQUIPAMENTOS EÓLICOS NO BRASIL.....	182
6.1. INTRODUÇÃO	182
6.2. CADEIA PRODUTIVA DE EQUIPAMENTOS EÓLICOS NO BRASIL..	183
6.3. ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO DAS EMPRESAS DE EQUIPAMENTOS EÓLICOS NO BRASIL	189
6.4. IMPACTO DA MUDANÇA NAS REGRAS DE CONTEÚDO LOCAL DO BNDES NAS ESTRATÉGIAS PRODUTIVAS	192
6.5. ESTRATÉGIAS DE INOVAÇÃO	196
6.6. IMPACTO DA NOVA METODOLOGIA DO BNDES NOS PROCESSOS DE INOVAÇÃO	205
6.7. SÍNTESE DAS ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO E INOVAÇÃO DAS EMPRESAS.....	209
6.8. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	211
CAPÍTULO 7 - ESTRUTURA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA BRASILEIRA EM ENERGIA EÓLICA.....	214
7.1. INTRODUÇÃO	214
7.2. EVOLUÇÃO TEMPORAL.....	216
7.3. CLASSIFICAÇÃO POR REGIÃO.....	217
7.4. CLASSIFICAÇÃO EM ÁREAS DO CONHECIMENTO	217
7.5. ANÁLISE DAS RELAÇÕES COM O SETOR PRODUTIVO.....	218
7.6. ANÁLISE DAS LINHAS DE PESQUISA	227
7.7. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	233
CAPÍTULO 8 - SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	236
8.1. INTRODUÇÃO	236
8.2. SUBSISTEMA DE POLÍTICA	236
8.3. SUBSISTEMA PRODUTIVO.....	242
8.4. SUBSISTEMA CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO.....	247
8.5. OUTROS ASPECTOS DO SNI EM ENERGIA EÓLICA.....	250
8.6. AS POTENCIALIDADES DO SNI EM EÓLICA	258
8.7. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	264
CONCLUSÃO DA TESE	266
REFERÊNCIAS	278
APÊNDICES	303
ANEXO	361

INTRODUÇÃO

“It has recently become fashionable to insist on an impending energy crisis. This euphemistic term conceals a contradiction and consecrates an illusion. It masks the contradiction implicit in the joint pursuit of equity and industrial growth. It safeguards the illusion that machine power can indefinitely take the place of manpower. To resolve this contradiction and dispel this illusion, it is urgent to clarify the reality that the language of crisis obscures: high quanta of energy degrade social relations just as inevitably as they destroy the physical milieu” (IVAN ILLICH, 1974).

A crise de 2007-2008 trouxe, mais uma vez, para o centro do debate contemporâneo a discussão sobre os limites de um modelo de organização social, econômica e produtiva baseado na exploração de recursos naturais finitos e na utilização intensiva de energia além das necessidades humanas. Vários autores percebem a crise como sendo de natureza energética. Porém como sugerido por Ivan Illich (1974), os partidários da crise energética acreditam e continuam a propagar implicitamente uma visão peculiar pela qual o crescimento do consumo energético pode se dar indefinidamente.

Junto com o debate sobre a crise econômica e seu componente energético, a necessidade de intervenção governamental direcionada a viabilizar o desenvolvimento de formas alternativas de energia menos danosas ao meio ambiente foram reintroduzidas na agenda de política nos diferentes países.

Dentre estas, a energia eólica tem se destacado. Desde meados do século XIX a energia dos ventos começou a ser utilizada para a produção de eletricidade, mas sua utilização foi marginal, concentrando seu uso em locais afastados das redes de distribuição que levavam energia elétrica para as cidades. O elevado custo da energia eólica restringia a expansão da fonte (DUTRA, 2008). Na década de setenta, em função do choque de petróleo e da elevação dos preços dos combustíveis fósseis, houve um esforço para diversificar a matriz energética mundial. Diversos países do mundo, incluindo o Brasil, criaram programas para o desenvolvimento tecnológico da fonte eólica e de fomento à implantação de energia eólica.

No final da década de 1990, mesmo com a estabilização do preço do petróleo, os programas de incentivo ao desenvolvimento e utilização da energia eólica se intensificam. Os programas de incentivos para esta tecnologia tinham como objetivo superar as barreiras tecnológicas e econômicas que refletiam a baixa competitividade desta fonte energética. Além da adoção de incentivos econômicos e regulatórios para

estimular a inserção da fonte eólica na matriz energética, os programas também apoiavam o desenvolvimento tecnológico da referida fonte.

Diferentemente da década de 1970, onde a busca de alternativas energéticas foi motivada pela elevação do preço do petróleo, o apoio à fonte eólica da década de 1990 estava associado às preocupações com os problemas ambientais. A década de 1990 foi marcada por uma intensificação das discussões sobre sustentabilidade. Neste contexto, o debate acerca dos efeitos cumulativos sobre a natureza dos padrões de produção e consumo globais adquiriu espaço central, tanto dentro dos governos, quanto nas conferências internacionais. Por exemplo, a realização da Eco92 foi um exemplo da importância que a temática ambiental adquiriu nesta década¹.

A intensificação do apoio a fontes de energia renováveis a partir de meados da década de 1990 representa a promoção de uma nova trajetória sustentável e uma contraposição à dependência aos combustíveis fósseis e a outros recursos não renováveis. Desde então, as estratégias dos governos para alcançar a sustentabilidade têm se enraizado na possibilidade de dissociação entre o crescimento econômico por um lado, e a produção material e o uso da energia convencional por outro. A sustentabilidade deveria ser alcançada por meio de uma revolução na eficiência do uso de materiais, recursos e energia e no desenvolvimento tecnológico das fontes de energia renováveis. Nesse contexto, os incentivos à fonte eólica se tornam ainda mais relevantes. Tendo em vista a abundância de recursos eólicos no planeta, a fonte eólica tem sido apontada como um dos pilares para a construção de uma sociedade sustentável:

“A operação dos parques eólicos não apresenta emissão de gases, e a produção e o transporte de pás e torres implicam emissões de apenas 9 g de CO₂ equivalente para cada kWh gerado, ou cerca de 100 vezes menos do que as emissões médias de uma térmica a carvão (...) ainda cria empregos e traz benefícios ao meio ambiente, à economia e à sociedade local (...) a energia eólica é o caminho da sustentabilidade” (GREENPEACE, 2012)².

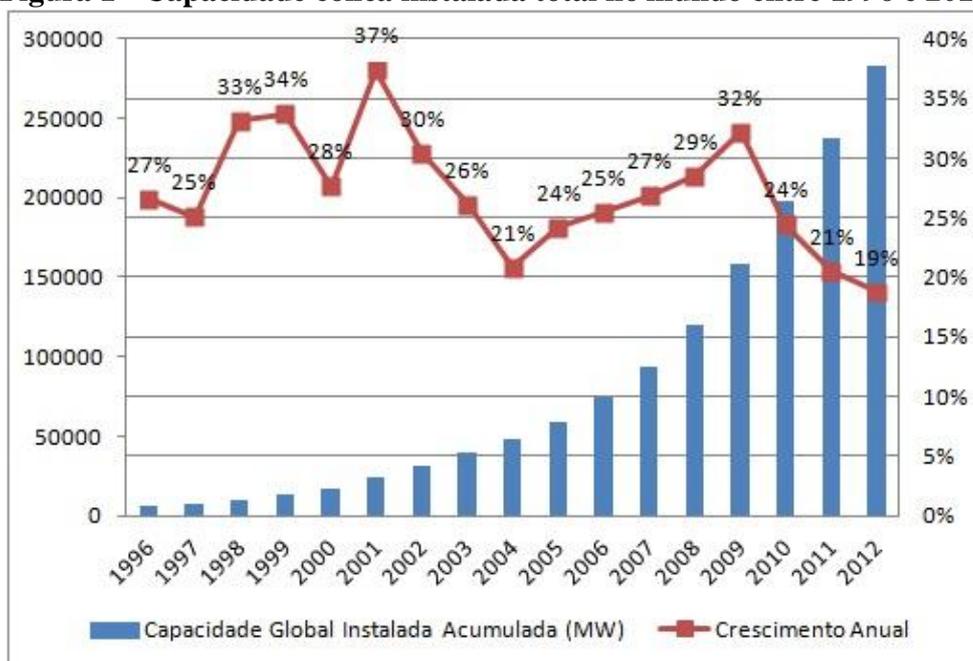
Em função da importância crescente da fonte eólica, os incentivos governamentais relacionados a esta fonte se expandiram significativamente ao longo da década de 1990 e 2000. Em 1995 apenas 30 países adotavam algum tipo de incentivo às fontes renováveis. Em 2005, este número subiu para 55 e seis anos depois alcançou 118 (REN21, 2011).

¹ A discussão acerca do impacto das atividades humanas sobre a natureza é antiga. A partir da década de 1960, o movimento ambientalista começa a criar força. A publicação do livro “a primavera silenciosa” publicado em 1962 pode ser considerado um marco. O argumento aqui ressaltado, porém, passaram a ser discutidas no âmbito das grandes conferências e a influenciar as estratégias de governos e de empresas.

² Entrevista com Ricardo Baitelo, coordenador da campanha de energias renováveis do Greenpeace Brasil <http://sustentabilidade.com.br/?2065/setor-eolico-brasileiro-espera-atrair-investimentos-de-16-bilhoes>.

O aumento na eficiência dos equipamentos eólicos e a redução nos custos dos sistemas eólicos permitiram uma significativa expansão da fonte eólica no mundo, principalmente a partir de 1996, como pode ser observado na figura 1. De 1996 até 2012, por exemplo, a capacidade instalada de energia eólica saltou de um pouco mais de 6.200 MW para 282.430 MW (GWEC 2013)³.

Figura 1 - Capacidade eólica instalada total no mundo entre 1996 e 2012



Fonte: GWEC (2013)

É possível perceber ainda pela figura 1 que apesar da forte expansão da capacidade instalada da fonte eólica nos anos 1990 e início dos anos 2000, a partir de 2009, houve uma desaceleração no ritmo de expansão da fonte eólica nos países avançados, principalmente na Europa e nos Estados Unidos. O desaquecimento dos principais mercados de energia eólica estava relacionado à crise financeira internacional

³Apesar das duas crises do petróleo dos anos 1970 e da mobilização em torno da necessidade de se alterar profundamente a matriz energética global, a composição da oferta mundial de energia primária continua sendo predominantemente baseada em combustíveis fósseis. De acordo com dados da *International Energy Agency*, a utilização do petróleo teve um declínio relativo, passando de aproximadamente 46% da oferta mundial em 1973 para 32% em 2011 (International Energy Agency, 2013). Porém, esta queda foi compensada por um uso mais intensivo de carvão, gás natural e energia nuclear que preencheram a grande maioria de uma demanda global de energia que quase dobrou de 6.109 Mtoe em 1973 para 13.113 Mtoe em 2011³. Desta maneira, apesar dos enormes investimentos global que têm ocorrido na última década em fontes energéticas limpas, como eólica e solar, estas ainda são responsáveis por uma parcela muito reduzida, aproximadamente 1% da oferta global de energia em 2011.

desencadeada em 2008 e motivou os empresários do setor a buscar novos mercados, principalmente nos países emergentes⁴.

Por outro lado, as perspectivas da energia eólica no Brasil foram positivamente influenciadas pela crise internacional. A partir de 2009, o Brasil teve grande crescimento no volume de projetos eólicos contratados. Atualmente (2014), a energia eólica ainda possui participação marginal na matriz elétrica brasileira (1,3%). No entanto, nos últimos cinco anos, houve uma significativa expansão no número de projetos contratados e o volume de projetos já contratados de energia eólica para entrar em operação em 2016 é de 8,1 GW, o que representa 5,5% da matriz elétrica brasileira. A expectativa é de que a fonte alcance 10% da matriz energética em 2020.

Motivação

Perante a expansão da fonte eólica no mundo e no Brasil, duas questões motivaram esta pesquisa. A primeira de cunho mais geral e a segunda mais específica, focada no Brasil.

Em relação à primeira, questiona-se em que medida a expansão da fonte eólica no mundo é capaz de contribuir para a sustentabilidade. Conforme ressaltado, o desenvolvimento da energia eólica no mundo está associado a preocupações ambientais. É inegável que a substituição (mesmo parcial) dos combustíveis fósseis por energia eólica representa um avanço do ponto de vista ecológico. Reduzir o consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos que são facilmente esgotáveis ou danosos ao meio ambiente, substituindo-os por recursos ou produtos renováveis e/ou abundantes é essencial para manter o equilíbrio ecológico do planeta.

A sustentabilidade, porém, possui outras esferas, além da ecológica. Como ressalta Ignacy Sachs (1993), a sustentabilidade possui oito dimensões: social, econômica, ecológica, ambiental, cultural, territorial, de política nacional e de política internacional. A sustentabilidade econômica requer, por exemplo, ultrapassar as barreiras ao acesso limitado da ciência e da tecnologia. Segundo o autor:

“(A Sustentabilidade Econômica) deve ser tornada possível através da alocação e do gerenciamento mais eficiente dos recursos e de um fluxo constante de investimentos públicos e privados. Uma condição importante é a de ultrapassar as configurações externas negativas resultantes do ônus do

⁴ A crise internacional teve seu epicentro nos países centrais, afetando mais estes dos que o resto mundo. Dessa forma, houve uma desaceleração dos mercados tradicionais de energia eólica, os EUA e Europa. Já os países emergentes (China, Brasil e Índia) foram menos impactados.

serviço da dívida e da saída líquida de recursos financeiros do Sul, dos termos de troca desfavoráveis, das barreiras protecionistas ainda existentes no Norte e do acesso limitado à ciência e tecnologia. A eficiência econômica deve ser avaliada em termos macrossociais, e não apenas através do critério da rentabilidade empresarial de caráter microeconômico (SACHS, 1993 p. 37).

Fica evidente que os desafios da sustentabilidade vão muito além da gestão dos recursos naturais. A construção de um modelo sustentável de desenvolvimento passa por garantir a capacidade inovativa e uma autonomia na pesquisa científica e tecnológica dos países (SACHS, 2002).

Desta forma, a primeira motivação da tese é contribuir para o debate sobre mudança tecnológica e sustentabilidade, a partir da análise dos processos de inovação em energia eólica no Brasil.

O segundo aspecto que motivou a elaboração desta tese se refere à rápida expansão da fonte eólica no Brasil e a recente estruturação da cadeia produtiva de equipamentos eólicos.

Conforme apontado por Simas (2012), o desenvolvimento da energia eólica possui forte potencialidade de contribuir com o desenvolvimento socioeconômico em nível regional e local. A autora estimou o potencial de geração de emprego até 2020 na cadeia produtiva de energia eólica no Brasil em 11 mil empregos permanentes, além dos empregos temporários associados à instalação de parques eólicos. Este processo de geração de emprego pode movimentar a economia local.

Ademais, a fonte eólica possui uma trajetória tecnológica extremamente dinâmica, marcada por recorrentes inovações e por uma forte articulação com as capacitações científicas.

Assim, a segunda motivação desta pesquisa é compreender se o desenvolvimento da energia eólica no Brasil está concatenado com o fortalecimento de capacitações produtivas, tecnológicas e científicas do país.

Objetivos da pesquisa

A presente tese tem como objetivo central analisar o desenvolvimento produtivo e tecnológico e os processos inovativos relacionados à energia eólica no Brasil. Ela foi desenvolvida no âmbito do projeto 'Observatório de Políticas Públicas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil', conduzido na Rede de Pesquisa em Sistemas e

Arranjos Produtivos e Inovativos Locais (RedeSist). O objetivo do Projeto era analisar as políticas de desenvolvimento industrial, científico e tecnológico das áreas chamadas estratégicas, entre elas a energia eólica.

A base conceitual da tese é a abordagem neo-schumpeteriana de sistema nacional de inovação. Por compreender o processo inovativo como interativo e sistêmico, a análise se estende a um conjunto amplo de instituições e políticas - energéticas, tecnológicas, de financiamento e de capacitação - que afetam os processos produtivos e de acumulação de capacitações. O objetivo final é analisar de forma sistêmica a evolução da fonte eólica no Brasil, enfatizando as possibilidades de desenvolvimento produtivo, tecnológico e científico e apontando a falta de interação entre os agentes que compõe o sistema nacional de inovação de energia eólica.

A questão geral a ser respondida na tese é: *o desenvolvimento da fonte eólica no país está estabelecendo uma relação positiva com os vetores do desenvolvimento brasileiros, reforçando as capacitações científicas e produtivas locais?*

A questão geral se desdobra nas seguintes perguntas:

P1: *O desenvolvimento da indústria de aerogeradores no Brasil está reforçando as capacitações produtivas, científicas e tecnológicas do país?*

P2: *Qual papel das políticas (CTI, energéticas e de financiamento) nos processos produtivos e inovativos da cadeia de aerogeradores no país?*

P3: *As evidências sobre o desenvolvimento da fonte eólica no Brasil podem contribuir para a discussão sobre mudança tecnológica e sustentabilidade?*

Os objetivos específicos podem ser identificados como:

- 1) Descrever a cadeia produtiva instalada no Brasil;
- 2) Compreender a estratégia produtiva e inovativa das principais empresas que compõe a indústria de aerogeradores no Brasil;
- 3) Analisar as políticas de CTI direcionadas à energia;
- 4) Analisar os impactos das políticas energéticas no padrão produtivo e inovativo da indústria de aerogeradores no Brasil;
- 5) Analisar o impacto das políticas de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que possui especificações de conteúdo local mínimo, no padrão produtivo e inovativo da indústria de aerogeradores no Brasil;

6) Mapear a existência de capacitações científicas nas áreas de conhecimentos centrais ao desenvolvimento tecnológico do aerogerador e sua interação com as unidades produtivas.

Pressupostos

Esta pesquisa tem com objetivo testar os seguintes pressupostos em relação ao desenvolvimento da fonte eólica no país:

- 1) O Sistema Nacional de inovação de energia eólica é fragilizado, com poucas interações entre os agentes que o compõem;
- 2) Os processos inovativos na cadeia de produção dos equipamentos de energia eólica no Brasil são de caráter incremental;
- 3) Há uma baixa capacidade das políticas de CTI de mobilizarem as capacitações científicas existentes para o desenvolvimento de processos inovativos;
- 4) As estratégias das empresas fabricantes de equipamentos eólicos tendem a ser pouco compatíveis com a ideia de sustentabilidade apresentada nesta introdução.

Metodologia

A elaboração desta tese foi realizada em duas etapas. Para a primeira parte, utilizou-se extensa revisão da literatura relacionada aos paradigmas científicos; paradigmas e trajetórias tecnológicas; paradigmas tecno-econômicos; crise ambiental; desenvolvimento sustentável; capitalismo e crise; processo de inovação; sistemas de inovação; políticas de inovação; globalização e financerização da economia; investimento direto externo e transnacional; energia eólica; políticas voltadas para energia eólica no Brasil e no mundo. Mais do que uma revisão teórica, a análise procurou concatenar tais conceitos de forma a construir uma base conceitual para a pesquisa.

Para a segunda parte deste trabalho foram utilizadas bases de dados secundárias que serviram tanto para análise introdutória das evidências empíricas quanto para a

configuração do painel de instituições relevantes na dinâmica dos fenômenos analisados. Esses dados se constituíram em informações quantitativas e qualitativas sobre os recursos dos fundos setoriais, do programa de subvenção econômica, do programa de P&D da Aneel e dos financiamentos do BNDES a fonte eólica; e dados do Diretório de grupos de pesquisa do CNPq.

Também foram coletados dados primários através de entrevistas (com roteiros estruturados) com atores-chave que compõem o sistema nacional de inovação em energia eólica. O objetivo das entrevistas era analisar os subsistemas do sistema nacional de inovação de energia eólica e a interação entre eles. Os questionários de entrevistas, a abrangência regional da pesquisa, a lista das instituições e das pessoas entrevistadas estão disponíveis nos apêndices 1, 2, 3, 4 e 5. Ressalta-se que foram elaborados distintos questionários para cada grupo de entrevistados: para os especialistas, os fabricantes de aerogeradores e os fabricantes de pás.

Estrutura da Tese

A tese está estruturada em três partes, além desta introdução e da conclusão. A primeira parte é mais de cunho teórica. No primeiro capítulo discutem-se as características da atual crise ambiental e a necessidade de realizar a transição em direção a um paradigma tecnológico mais sustentável. A importância da energia eólica num possível novo paradigma tecno-econômico verde é discutida e o arcabouço teórico do Sistema Nacional de Inovação apresentado. Destaca-se a relevância da interação entre os agentes e as políticas implícitas nos processos inovativos, além do papel das transnacionais no SNI, uma vez que o setor industrial associado à fonte eólica é composto por esses atores.

A segunda parte da tese apresenta a indústria de energia eólica e é composta por três capítulos (2, 3 e 4). O capítulo 2 apresenta as principais características da indústria eólica e seus principais atores e analisa em mais detalhes a estrutura produtiva dos equipamentos eólicos. O capítulo 3 analisa as principais políticas de apoio ao desenvolvimento da energia eólica e da indústria eólica. O quarto capítulo apresenta o panorama da energia eólica e da produção de aerogeradores no mundo.

A terceira, e última parte da tese, analisa a energia eólica no Brasil. Esta parte é dividida em quatro capítulos (5, 6, 7 e 8). As políticas de energia, de CTI e industriais para energia eólica são examinadas no capítulo 5.

O sexto capítulo examina a estrutura produtiva de equipamentos eólicos no Brasil, buscando compreender a estratégia produtiva e inovativa das principais empresas que compõem a indústria nacional de aerogeradores, analisando também os papéis que as empresas nacionais e transnacionais desempenham nesta estrutura.

Na sequência (capítulo 7), a base científica do país em áreas relacionadas à fonte eólica é estudada. O objetivo principal é mapear a existência de capacitações científicas nas áreas de conhecimentos centrais ao desenvolvimento tecnológico do aerogerador e verificar se há interação com as unidades produtivas.

O capítulo 8 tem como objetivo examinar as interações entre os atores que compõem o SNI de energia eólica com o objetivo de compreender de forma sistêmica os processos de inovação da cadeia eólica.

Por fim, as conclusões da pesquisa são apresentadas, junto com as limitações da tese e perspectivas de trabalho futuro.

PARTE I – ELEMENTOS ANALÍTICOS

A primeira parte desta tese tem como objetivo fornecer os elementos analíticos que serão a base para a análise empírica realizada ao longo do trabalho. É composta por três seções, além desta introdução e da conclusão.

A primeira seção contextualiza a evolução da energia eólica no cenário global, tendo como base a atual de crise ecológica. Nesta seção, a importância crescente do desenvolvimento tecnológico relacionado à sustentabilidade é destacada e, na sequência, os conceitos de paradigma técnico-econômico são apresentados. Nesta seção discute-se ainda se o aumento da importância das tecnologias relacionadas à sustentabilidade ambiental pode se constituir em uma indicação da constituição de paradigma tecno-econômico verde e analisa alguns exemplos de estratégias dos Estados que colocaram as tecnologias ambientais como centrais entre suas políticas públicas.

A segunda seção visa compreender as dinâmicas inerentes ao processo de inovação tecnológica. O arcabouço conceitual do Sistema Nacional de Inovação (SNI), que servirá de base para esta pesquisa, é apresentado. Os principais aspectos acerca do processo de inovação são discutidos.

A terceira seção tem como objetivo discutir as características do processo de inovação das empresas transnacionais. No âmbito dessa pesquisa, é crucial compreender seu comportamento, uma vez que as empresas que produzem os equipamentos eólicos utilizados no Brasil são, quase exclusivamente, empresas de capital estrangeiro. Assim, como a tese busca compreender o processo de inovação das empresas produtoras de equipamentos eólicos, é fundamental compreender as características estratégias de inovação das transnacionais.

Ao final, as conclusões são apresentadas.

CAPÍTULO 1 - ENERGIA EÓLICA, SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

“A idéia de desenvolvimento está no centro da visão de mundo que prevalece na época atual. A partir dela, o homem é visto como um fator de transformação, tanto do contexto social e ecológico em que está inserido como de si mesmo. Dá-se como evidente que o homem guarda um equilíbrio dinâmico com esse contexto: é transformando-o que ele avança na realização de suas próprias virtualidades. Portanto, a reflexão sobre o desenvolvimento tem implícita uma teoria geral do homem, uma antropologia filosófica” (FURTADO, 1984, P. 105).

1.1. INTRODUÇÃO

A crise que assola a economia capitalista nos dias de hoje – e que teve como origem imediata o colapso do sistema financeiro iniciado na segunda metade de 2007 – tem sido objeto de intenso debate e especulação. A maior parte do debate tem ainda girado em torno do argumento de que tal crise pode ser explicada, maiormente, em termos de problemas associados ao setor financeiro. Entretanto, esta crise contém pelo menos três dimensões: a econômica, a ecológica e a política (CASSIOLATO et al., 2014).

A dimensão econômica, talvez a central, se refere ao fato de que o capitalismo enfrenta uma grande crise de realização: a incapacidade de comercializar toda a produção, isto é “realizar”, na forma de lucros, o excedente extraído do trabalho. A fonte principal da crise é a queda da vitalidade das economias avançadas que data da primeira metade dos anos 1970, mas que adquire força especial a partir de 2000. O desempenho econômico da tríade - EUA, Europa Ocidental e Japão - têm crescentemente se deteriorado, como demonstrado pelos indicadores macroeconômicos padrão, tais como PIB, investimento, salários reais, entre outros⁵.

Do ponto de vista do setor financeiro, percebe-se o ápice de um período (que vai de 1930 a 1980) em que as atividades bancárias eram reguladas e pouco lucrativas após o colapso das finanças em 1929. A partir do início dos anos 1980, houve uma liberalização do setor financeiro, que alcançou elevadas taxas de retorno. A dívida total dos Estados Unidos começou a crescer com rapidez, alcançando aproximadamente a mesma proporção do PIB daquela de 1929. O peso do setor financeiro na economia

⁵ Foge ao escopo deste trabalho analisar os aspectos econômicos e políticos da crise. Para mais informações sobre o caráter estrutural da crise, ver CGEE (2014).

creceu e, em meados da presente década, esse já era responsável por um terço do total dos lucros corporativos nos EUA (KRUGMAN, 2009; CASSIOLATO et al., 2014).

Essa liberalização do setor financeiro adquiriu contornos globais, e o descolamento progressivo das finanças com relação ao lado real da economia levou o capitalismo a uma sucessão de crises. A partir do final dos anos 1970, foram observadas mais de cem crises bancárias significativas, sendo que pelo menos sete afetaram de forma profunda a economia mundial e em pelo menos quatro ocasiões as autoridades governamentais tiveram que salvar parte significativa do sistema financeiro (CASSIOLATO et al., 2014).

A esta dimensão econômica e financeira, associa-se uma importante dimensão ecológica que se agrava com o aprofundamento da crise a partir de 1970. As emissões globais de dióxido de carbono praticamente dobraram entre 1973 e 2009 (IEA 2012, p. 45). Dois terços de tais emissões se originam nos países da OCDE e na China. Este agravamento da dimensão ecológica está diretamente associado às tentativas de superar a crise econômica através do aprofundamento do modo de produção e consumo de massa baseado na exploração intensiva de recursos finitos a partir da década de 1970, e que tem aumentado desde a crise econômica mundial de 2008-2009 (IEA 2012, p. 45).

Como resposta à ameaça de mudança climática global, diferentes países têm buscado soluções econômicas, políticas e tecnológicas que têm colocado ênfase na produção de energia e nos setores de transporte. De fato, as emissões de dióxido de carbono e outros gases poluentes são diretamente associados aos padrões de geração e uso de energia e estas duas atividades são as que mais têm contribuído para seu aumento dado que, por mais de um século, a grande maioria das economias tem dependido de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade e para os combustíveis necessários ao transporte. Mais ainda, o crescimento das economias nacionais tem sido dependente da disponibilidade de energia abundante a preços relativamente baixos. Assim, os investimentos na expansão do uso das fontes renováveis e no desenvolvimento tecnológico destas fontes de energia, que inclui a fonte eólica, têm sido considerados prioritários em diversos países.

1.1.1. Crise Ecológica

A exploração da Natureza pelo Homem não é recente, mas foi especialmente nas últimas décadas que a degradação do meio ambiente aumentou de forma

vertiginosa. Nesse período, o modo de produção e de consumo em massa - que por definição é altamente intensivo no uso de recursos naturais finitos - teve crescimento explosivo e sem precedentes, agravando a pressão sobre os recursos não-renováveis. Os efeitos perversos desse processo são cada vez mais claros, evidenciados pelo agravamento do aquecimento global, do crescente desflorestamento, da contaminação de rios e mares, da extinção em larga escala da biodiversidade do planeta, entre tantos outros problemas ambientais. Pode-se afirmar que a ameaça de uma catástrofe ecológica é cada vez mais palpável, ameaçando a sobrevivência da humanidade.

Para Serfati (*no prelo*), a gravidade da atual crise ecológica é explicada por uma convergência entre, por um lado, os efeitos cumulativos sobre a natureza dos padrões de produção e consumo predominantes em todo mundo e, por outro lado, a dinâmica do capital financeiro, cujo modo de valoração é imposto fora da esfera real de produção e consumo, acentuando as pressões de curto prazo e a irresponsabilidade com o futuro. Quanto a esse último aspecto, cabe ressaltar que a desregulamentação bancária, ocorrida na década de 1970 e no início dos anos 1980, expandiu de forma significativa o poder das finanças e consolidou um novo regime de acumulação. Este regime de capitalismo dirigido pelas finanças trouxe como consequência o aprofundamento da crise ambiental, na medida em que a desregulamentação financeira elevou a taxa de retorno do capital e pressionou a cadeia produtiva a expandir a utilização do capital natural.

Como consequência, a Natureza encontra-se cada vez mais subjugada pela busca desenfreada por lucro pelo capital. Convertida em uma reserva de valor a ser explorada sem limites ou fronteiras, a Natureza vem sendo defrontada por um ritmo de exploração superior à sua capacidade de reposição, e os desequilíbrios gerados em escala planetária exigem mudanças urgentes e profundas. É neste contexto que propostas de desenvolvimento capazes de aliar crescimento econômico e preservação ambiental têm sido discutidas.

Nos últimos anos, a maior parte das propostas formuladas por organismos multilaterais e submetidas à negociação em fóruns oficiais vem sendo pautada na visão rotulada de “economia verde”. O relatório preparatório da Conferência Rio+20 (UNEP 2011) é um expoente dessa visão. Conceitualmente, a proposta se baseia na possibilidade de dissociação entre o crescimento econômico, por um lado, e a produção material e o uso da energia convencional, por outro. Essa dissociação deveria ser atingida por meio de um modelo de crescimento qualitativamente diferente, no qual os

efeitos de escala do crescimento poderiam ser neutralizados através de mudanças estruturais e tecnológicas. Para isso, é enfatizada a importância de se atribuir valor adequado aos estoques de capital natural através de mecanismos de mercado, bem como estimular a inovação e o progresso tecnológico como instrumentos capazes de aumentar a eficiência e minimizar os impactos sobre o uso de recursos naturais não renováveis, dando sustentabilidade ao processo de crescimento econômico (SOARES, CASSIOLATO, *no prelo*).

A economia verde aponta, dessa forma, a mudança tecnológica como forte aliada na busca por formas de gerar sustentabilidade para o modo de desenvolvimento em curso.

O trabalho de Chris Freeman e Carlota Perez sobre paradigmas técnico-econômicos é um ponto de partida importante para se abordar o papel da mudança tecnológica no enfrentamento dos desafios ecológicos atuais. O trabalho está focado na análise das relações entre crise e inovação dentro do sistema capitalista de produção, buscando compreender como as revoluções tecnológicas surgiram para resolver as principais contradições do capitalismo.

1.1.2. Mudanças Tecnológicas e a Atual Crise Ecológica

A dinâmica da economia capitalista está baseada essencialmente na diferenciação e na busca do novo. As transformações qualitativas desse sistema econômico repousam primordialmente nos processos de inovação e de mudança técnica.

A mudança técnica está ligada ao surgimento e difusão de inovações, que podem ocorrer de forma gradual ou de maneira radical e disruptiva. Assim, apesar de constante na economia de mercado, a inovação não é sempre contínua. As discontinuidades são freqüentemente estimuladas pela exaustão de possibilidades ao longo de determinada trajetória tecnológica, onde produtividade e mercados estão se aproximando da exaustão.

Perez (2009) desenvolve a noção de revoluções tecnológicas e analisa os padrões observados na evolução de mudanças tecnológicas, abordando ainda as inter-relações com o contexto que moldam o ritmo e direção da inovação. Segundo a autora, as revoluções tecnológicas trazem consigo uma série de oportunidades para a inovação e fornecem um novo conjunto de tecnologias, infraestrutura e princípios organizacionais

associados que podem aumentar significativamente a eficiência e a eficácia de todas as indústrias e atividades. Entretanto, a plena difusão dessas oportunidades no sistema econômico e a possibilidade de seu aproveitamento integral dependem, sobretudo, de arranjos institucionais que podem se configurar de diversas formas no espaço e no tempo. Por isso, tais mudanças ocorrem de forma diferenciada nas diferentes formações socioeconômicas.

À medida que as novas tecnologias se difundem e multiplicam seu impacto na economia, consolidam-se em um novo paradigma (técnico-econômico) que vai moldando as trajetórias de tecnologias individuais. Autores como Freeman e Louçã (2001) e Perez (2002) usam a expressão paradigma tecno-econômico para descrever tecnologias que se espalham por toda a economia e que influenciam o comportamento das firmas e diferentes setores industriais em todo o sistema econômico. Em geral, este processo está associado a revoluções tecnológicas, onde uma ou mais tecnologias são capazes de modificar a estrutura da economia (PEIXOTO, 2013).

A influência de um novo paradigma se estende, ainda, para além da esfera da produção, exercendo influência sobre as instituições e a sociedade, eventualmente modificando também as estruturas sócio-institucionais. Os ganhos econômicos derivados dos processos de inovação e de difusão resultantes das tecnologias associadas ao novo paradigma só se dão plenamente na medida em que ocorrem também mudanças nas estruturas institucionais. Mudanças essas relativas, especialmente, à conformação de um arcabouço técnico, econômico, social e institucional, organizado de forma sistêmica, que possibilite a conformação e consolidação do novo paradigma, e abra caminho para um novo ciclo de desenvolvimento baseado na sua difusão.

Cabe ressaltar, contudo, que nem sempre o advento de mudanças tecnológicas radicais é acompanhado pela conformação de uma configuração institucional propícia à difusão do novo paradigma. É comum a presença de tensões entre a mudança tecnológica incremental ao longo de trajetórias já estabelecidas e a capacidade de difusão de tecnologias radicalmente novas. E o quadro institucional pode definir um sistema de incentivos que favoreça trajetórias já estabelecidas em detrimento do novo paradigma. Conseqüentemente, as profundas mudanças e oportunidades que emergem a cada revolução tecnológica não são facilmente assimiladas; elas dão força à intensa resistência e demandam a geração de fortes mecanismos indutores de mudanças. Assim, a conformação de um arcabouço institucional adequado à difusão do novo paradigma freqüentemente requer fontes diversas de estímulos e financiamentos (PEREZ, 1985).

Johnson (1992) corrobora com essa visão, acrescentando que a influência institucional sobre a mudança tecnológica não é politicamente neutra e varia ao longo do tempo, quer estimulando ou retardando os efeitos das mudanças tecnológicas. Perez (2007) ressalta, na mesma direção, que o espaço do tecnologicamente possível é muito maior que o espaço do economicamente rentável e socialmente aceitável. Os agentes econômicos inovam tendo em mente o lucro, estimulando os esforços de pesquisa em determinadas direções através de suas decisões de investimento e de financiamento, o que não tem aderência necessariamente com o desempenho mais eficiente do ponto de vista da sociedade.

Em suma, tal como enfatizado, nem sempre o advento de mudanças tecnológicas radicais é acompanhado pela conformação de uma configuração institucional propícia à difusão do novo paradigma. Muitas vezes, a ação dos governos torna-se crucial para estimular as mudanças necessárias para que os ganhos derivados dos processos de inovação e de difusão resultantes do novo paradigma possam ocorrer plenamente e na direção almejada.

É neste contexto que o cenário político-institucional emerge como um elemento central para a análise do papel da mudança tecnológica na crise atual, bem como para compreender as oportunidades, restrições e potencial alcance da emergência de um novo paradigma de produção “verde”.

1.1.3. Elementos da emergência de um novo paradigma produtivo

De acordo com Perez (2007), o capitalismo tem experimentado movimentos pendulares, com diferentes sistemas tecnológicos evoluindo rapidamente em direção à realização de tarefas similares. De acordo com a autora, o mundo está atualmente atravessando um novo ponto de ruptura, e o futuro estaria agora sendo definido globalmente e em cada país.

Diante desta perspectiva, vale questionar quais sinais poderiam caracterizar esse ponto de mudança e que oportunidades e desafios podem surgir do cenário descrito pela autora. Múltiplas expressões desse ponto de mudança parecem coexistir, podendo levar a um caminho diferente de desenvolvimento para o planeta. Uma trajetória tecnológica de baixo carbono, podendo incluir outros aspectos relacionados ao declínio do uso de

recursos naturais não renováveis poderia ser vislumbrada (SOARES, CASSIOLATO, *no prelo*).

De acordo com Maharajh (*no prelo*), algumas tendências tecnológicas associadas a essas perspectivas chave já estariam se consolidando. Estas seriam originadas principalmente de novos conjuntos de biomedicina, computação, geração de energia, estocagem e transmissão, TICs, nanotecnologia, física quântica e biologia sintética.

Alguns exemplos citados pelo autor são: o desenvolvimento de tecnologias emergentes para melhorar o armazenamento de energia elétrica e seu uso e o fornecimento de novas soluções para energia a partir de materiais nano-estruturados projetados e construídos em escala molecular, água e outros desafios relacionados à base de recursos; avanços na biologia sintética e engenharia do metabolismo que podem se tornar importantes na fabricação de novas drogas e na produção de produtos químicos a partir de materiais renováveis.

Segundo o autor, há um processo de convergência entre avanços tecnológicos relacionados à sustentabilidade. Chesnais (*no prelo*) corrobora com o argumento de Maharajh (*no prelo*) e sugere que as atuais crises ambiental, social, econômica e financeira são manifestações do esgotamento do atual paradigma tecno-econômico (PTE). Segundo o autor, há um esgotamento do paradigma produtivo baseado na exploração intensiva de recursos naturais, especialmente os não renováveis e uma possibilidade de surgimento de um paradigma produtivo centrado numa economia de baixo carbono e recursos energéticos renováveis.

É possível perceber uma tendência de investimento de alguns países no desenvolvimento tecnológico em áreas relacionadas à sustentabilidade, principalmente após a crise global de 2008.

Robins *et al.* (2009) apontam que a estratégia de investir em tecnologias associadas à sustentabilidade foi amplamente adotada por diversos Estados como forma de recuperação econômica:

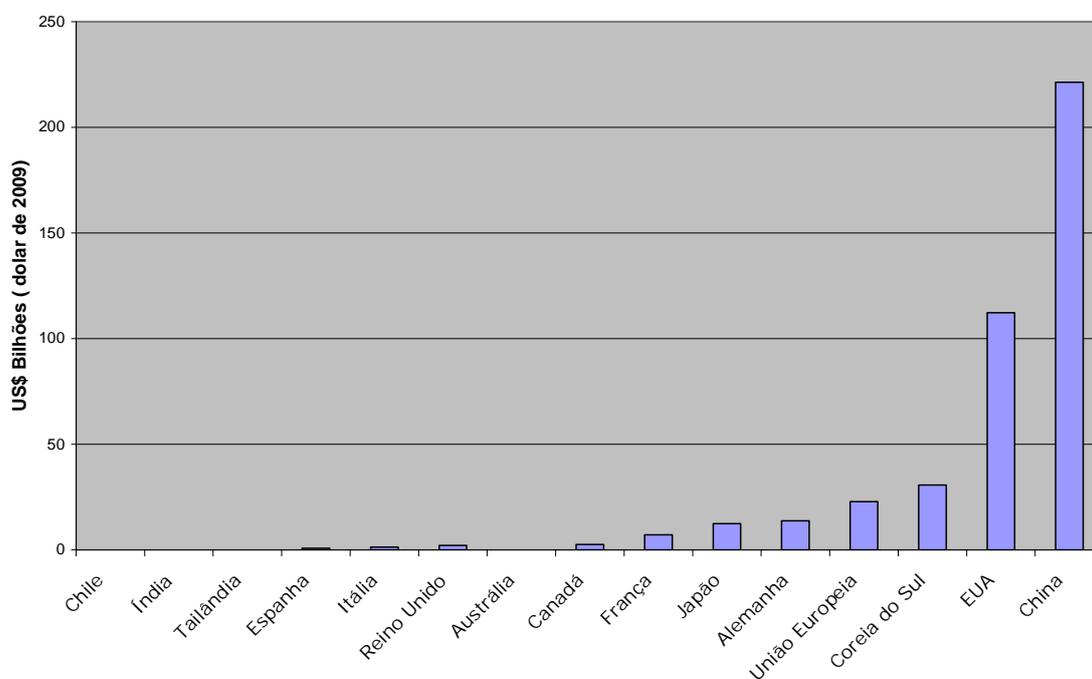
“O caminho para o desenvolvimento futuro tem sido associado a investimentos ambientais (...) parte significativa dos pacotes de estímulo fiscal se destina a uma recuperação econômica de baixo carbono” (ROBINS *et al.*, 2009, p.1).

Ainda segundo Robins *et al.* (2009), o estímulo fiscal relacionado à sustentabilidade foi de cerca de US\$ 430 bilhões em 2008 e 2009. Como se pode

observar na figura 2, a China aparece como o país líder no investimento em tecnologias verdes e no desenvolvimento de infraestrutura necessária a um paradigma sustentável, com um pacote de estímulo fiscal de US\$ 221 bilhões, usado principalmente na busca de um setor energético mais sustentável, no desenvolvimento de tecnologias de controles de poluição, entre outros.

Os EUA aparecem em segundo lugar, com um pacote de estímulo fiscal de US\$ 112 bilhões. Outros países e região que se destacam com incentivos fiscais ao desenvolvimento de infraestrutura para o desenvolvimento do paradigma mais sustentável são a Coreia do Sul, a União Europeia, a Alemanha, o Japão, a França, a Austrália e o Canadá.

Figura 2 - Componente verde do pacote anti crise



Fonte: Elaboração própria a partir de Robin *et. al.* (2009)

Em termos da participação dos programas direcionados a temas ambientais nos pacotes e fundos direcionados à recuperação da crise, pode-se observar na tabela 1 que, no caso da China, aproximadamente 38% dos recursos destinados à recuperação da crise estão direcionados para programas verdes. No caso dos Estados Unidos, tal participação é de aproximadamente 12%. Os dados da Coreia do Sul chamam a atenção por sua magnitude: 80,5% dos recursos para a recuperação da crise estão alocados para temas ambientais. Na Alemanha e na França, tal participação é significativa, respectivamente, de 13,2% e 21,2%.

Tabela 1- Dimensão verde dos planos de estímulo econômico

	US\$ bilhões	Anos	US\$ bilhões	
Ásia				
Austrália	26,7	2009-12	2,5	9,30%
China	586,1	2009-10	221,3	37,80%
Índia	13,7	2009	0	0,00%
Japão	485,9	2009-12	12,4	2,60%
Coreia do Sul	38,1	2009-12	30,7	80,50%
Tailândia	3,3	2009	0	0,0%,
Subtotal Ásia	1,153,8		286,9	23,10%
Europa				
União Europeia	38,8	2009-10	22,8	58,70%
Alemanha	104,8	2009-10	13,8	13,20%
França	33,7	2009-10	7,1	21,20%
Itália	103,5	2009-10	1,3	1,30%
Espanha	14,2	2009	0,8	5,80%
Reino Unido	30,4	2009-12	2,1	6,90%
Outros UE	308,7	2009	6,2,	2,00%
Subtotal Europa	325,5		54,2	16,70%
Américas				
Canadá	31,8	2009-13	2,6	8,30%
Chile	4	2009	0	0,00%
EUA	927	2009-13	112	12,00%
Subtotal Américas	1,007,8		114,9	11,40%
Total	2,796		436	15,60%

Fonte: Robins *et al.* (2009)

Assim, diversos países buscaram responder à crise com políticas econômicas e industriais direcionadas a moldar o novo paradigma técnico-produtivo, orientadas para uma mudança de estrutura produtiva, principalmente levando em conta os limites no uso e exploração de recursos não renováveis e a preocupação com a sustentabilidade e a valorização das especificidades locais.

Cassiolato *et al.* (2014) analisam as fronteiras do conhecimento e da inovação na China, EUA, Alemanha e Japão e identificam o desenvolvimento de trajetórias tecnológicas de baixo carbono:

“Em todos os casos, mas mais acentuadamente no caso da China, observa-se a vinculação da definição de fronteiras tecnológicas aos desafios trazidos pela necessidade de constituição e consolidação de novos paradigmas e trajetórias tecnológicas. Estes se tornam muito mais claros a partir dos desdobramentos da crise de 2007 e 2008 e apontam para tecnologias de baixo carbono e para a sustentabilidade social e ambiental” (p. 188).

Dentre os investimentos ambientais, os relacionados à energia renovável têm se destacado. Robins *et al.*(2009) apontam que, de uma maneira geral, as fontes de energia renováveis receberam a maior parcela de recursos dos pacotes econômicos. Dentre as fontes renováveis, a fonte solar e a eólica são líderes.

A *World Wide Fund for Nature* (WWF, 2012) também defende que as tecnologias ambientais serão a base para a ‘nova sociedade’. A instituição analisou as principais tendências tecnológicas e identificou as tecnologias ambientais que serão chave para os próximos 10 anos: energia eólica, energia solar, biomassa, hidrelétrica, energia geotérmica, tecnologias relacionadas à eficiência energética, sistemas de refrigeração mais sustentáveis, iluminação a LED, células de combustível, baterias sustentáveis e instrumentos de eletrônica de potência.

Anadón (2012) também mostra com detalhes as políticas com caráter *mission oriented* colocadas em prática por diferentes países que estão investindo no desenvolvimento tecnológico de fontes de energia limpa (inclusive e particularmente energia eólica). Segundo o autor, a política energética dos EUA, Reino Unido e China têm como uma de suas prioridades o desenvolvimento de tecnologias limpas e que permitam a redução das emissões de gases (GHC).

Assim, é possível perceber que as potências globais têm apostado fortemente no desenvolvimento de tecnologias relacionadas à sustentabilidade e que esta tendência pode sugerir o surgimento de um novo paradigma produtivo.

Foge ao escopo da pesquisa discutir se a consolidação de tendências tecnológicas relacionadas à sustentabilidade tem força suficiente para se tornar um novo paradigma tecno-econômico, calcado na sustentabilidade⁶. O objetivo desta seção é fornecer elementos mais gerais acerca da evolução das tecnologias ambientais como forma de contextualizar o desenvolvimento da fonte eólica e apontar para a importância crescente do desenvolvimento de capacitações tecnológicas em áreas relacionadas à sustentabilidade. Mas conforme apontado nesta seção, as trajetórias e respostas tecnológicas não são neutras, e requerem mudanças sociais, institucionais e organizacionais. Como enfatizado por Hoffmann (2011), a principal tarefa não é tecnológica, e sim social. Assim, é necessário adotar uma visão mais ampla sobre a mudança tecnológica. Com o intuito de discutir os aspectos sociais, políticos e institucionais que podem estimular ou limitar uma mudança para o paradigma verde.

⁶ Para discutir a emergência de um paradigma Tecno-Econômico verde, ver CHESNAIS (*no prelo*).

A próxima seção apresenta o arcabouço teórico de Sistema Nacional de Inovação (SNI), que servirá como base teórica na análise realizada nessa tese.

1.2. SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO

1.2.1. SNI: Inovação como processo sistêmico

Conforme ressaltado, o processo de mudança tecnológica não é neutro e sim determinado num contexto sócio-político-institucional específico. A abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) considera que o processo inovativo é determinado pelos contextos geopolíticos, sociais, econômicos e culturais, políticas governamentais, instituições de financiamento, o perfil socioeconômico da demanda e todos os outros agentes e elementos que afetam a aquisição, uso e difusão de inovações. (CASSIOLATO, 2003; CASSIOLATO e LASTRES, 2005). O arcabouço de SNI possui, portanto, consonância com o contexto recém apresentado na seção 1.

Em uma perspectiva histórica, as primeiras concepções acerca das ideias subjacentes ao SNI remetem-se a Friedrich List (1841) em seu livro Sistema Nacional de Economia Política. List analisava o forte crescimento da Alemanha, que na época superou o da Inglaterra. List discordava dos clássicos ao defender uma maior atenção à ciência e tecnologia e à utilização de uma variedade de políticas voltadas ao aprendizado de novas tecnologias e das possíveis formas de utilizá-las. List defendia que estas medidas poderiam acelerar o crescimento econômico (FREEMAN, SOETE, 2008).

Foi apenas na década de 1980, no âmbito da abordagem Neo Schumpeteriana, que o enfoque de sistema de inovação surgiu novamente no debate. A primeira utilização do conceito de sistema nacional de inovação ocorreu num texto não publicado de Christopher Freeman em 1982 para a OCDE (FREEMAN, 1982). Em seguida, esse mesmo autor, em 1987, desenvolveu o conceito na análise do sistema nacional de inovação japonês (SZAPIRO, 2005).

A base do arcabouço do sistema nacional de inovação (SNI) é a ideia de que as firmas não inovam sozinhas, mas em colaboração e interdependência com outras organizações. O comportamento dessas organizações também é delineado por instituições – regras, leis, normas e rotinas – que podem incentivar ou bloquear os processos inovativos. Trata-se, portanto, de um sistema de instituições e atores

interconectados em um processo social de aprendizado que define os processos de inovação tecnológica⁷ (LUNDVALL 1988; FREEMAN 1995; CASSIOLATO *et al.*, 2008; 2005; PEIXOTO 2013).

A abordagem de SNI destaca a centralidade do arcabouço institucional e da estrutura industrial nacionais na determinação dos sistemas de inovação. Dessa forma, o sistema educacional, as leis e normas nacionais, a estrutura nacional de ciência e tecnologia e de P&D, as fontes de financiamento, as políticas industriais e tecnológicas nacionais, entre outros, determinam, conjuntamente, a capacidade inovativa de cada país (SZAPIRO, 2005).

Assim, a partir da perspectiva de SNI, diversos elementos são reconhecidos como cruciais, além da pesquisa científica em si. O processo de inovação passa a ser compreendido como um fenômeno complexo, interativo e, sobretudo, não-linear. Há, portanto, uma ruptura com a visão linear de inovação, a qual argumenta que há etapas bem-definidas que as inovações deveriam passar, partindo da pesquisa (ciência), para o desenvolvimento, e produção e comercialização de novas tecnologias⁸.

Ao longo da década de 1990, inúmeros autores (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1992; EDQUIST, 1997) contribuíram para o desenvolvimento desta abordagem. O conceito dos sistemas nacionais de inovação põe especial ênfase no papel dos Estados-Nação. Dentro desses limites, os fatores específicos de cada nação que influenciam as capacidades inovativas são estudados. (LUNDVALL, 1992; EDQUIST, 1997).

Mais recentemente, algumas variantes desta abordagem foram sendo desenvolvidas. Autores como Breschi e Malerba (1997) e Malerba (2002)

⁷ O conceito de organizações se refere às estruturas formais que são conscientemente criadas e que têm um propósito explícito. Estas organizações são os atores do SNI. Já as instituições representam o conjunto de hábitos, normas, rotinas, práticas estabelecidas, regras ou leis que regulam as relações e interações entre os indivíduos, grupos, e organizações. Elas são tratadas como regularidades gerais no comportamento social, as “regras do jogo” na sociedade, ou as limitações impostas que moldam a interação humana (SZAPIRO, 2005; EDQUIST, 2004; NORTH, 1990, 1991).

⁸ A visão sistêmica da inovação se contrapõe à visão linear da inovação. O modelo linear está baseado no suposto que há um conjunto de estágios bem-definidos dos quais se assume que as inovações deveriam passar, partindo da pesquisa (ciência), para o desenvolvimento, e produção e comercialização. Desde a década de 1950, o processo de inovação foi dominado por esta visão linear, onde um processo seqüencial e hierárquico, partindo da invenção para a inovação foi traduzido como partindo da pesquisa fundamental (básica) para a pesquisa aplicada, e desta para o desenvolvimento do produto/processo e conseqüente produção e comercialização. O conceito de SNI rompe com o modelo linear e estabelece a inovação como fenômeno complexo, interativo e, sobretudo, não-linear. Foge ao escopo deste trabalho uma comparação mais profunda sobre a comparação entre o SNI e as visões de inovação que o sucederam. Para uma análise sobre a evolução da visão de inovação e uma comparação entre a visão linear e sistêmica, ver Peixoto (2013).

desenvolveram sistemas setoriais de inovação, que se referem à dinâmica inovativa a partir da perspectiva das características dos diferentes setores. Nesta perspectiva, a análise é focada em um grupo de empresas que desenvolvem atividades inovativas em um setor específico. Além das análises setoriais, novos recortes espaciais foram conferidos aos SNI. Cooke *et al.* (1997), Braczyk *et al.* (1998), Cooke (2001); e Asheim e Isaksen (2002) desenvolveram abordagens regionais enquanto Cassiolato, Lastres e Maciel (2003) enfatizaram os aspectos locais. Os sistemas espaciais (nacional, regional e local) se diferenciam em relação às fronteiras geográficas nas quais atuam, mas encontram-se geralmente associados a trajetórias históricas de construção de identidades e de formação de vínculos territoriais, a partir de uma base social, cultural, política e econômica comum (CASSIOLATO, LASTRES, 2005; PEIXOTO, 2013; SZAPIRO, 2005).

Como afirma Szapiro (2005), esses diferentes recortes apresentam um caráter complementar, e a escolha de uma dimensão específica de análise reflete basicamente o tipo de enfoque e objeto de estudo. Em alguns casos, as relações entre diferentes atores que integram em um sistema podem apresentar maior nexos quando analisadas a partir da sua dimensão setorial ou tecnológica. Em outros casos tais relações são mais claramente explicadas a partir da sua dimensão territorial ou local.

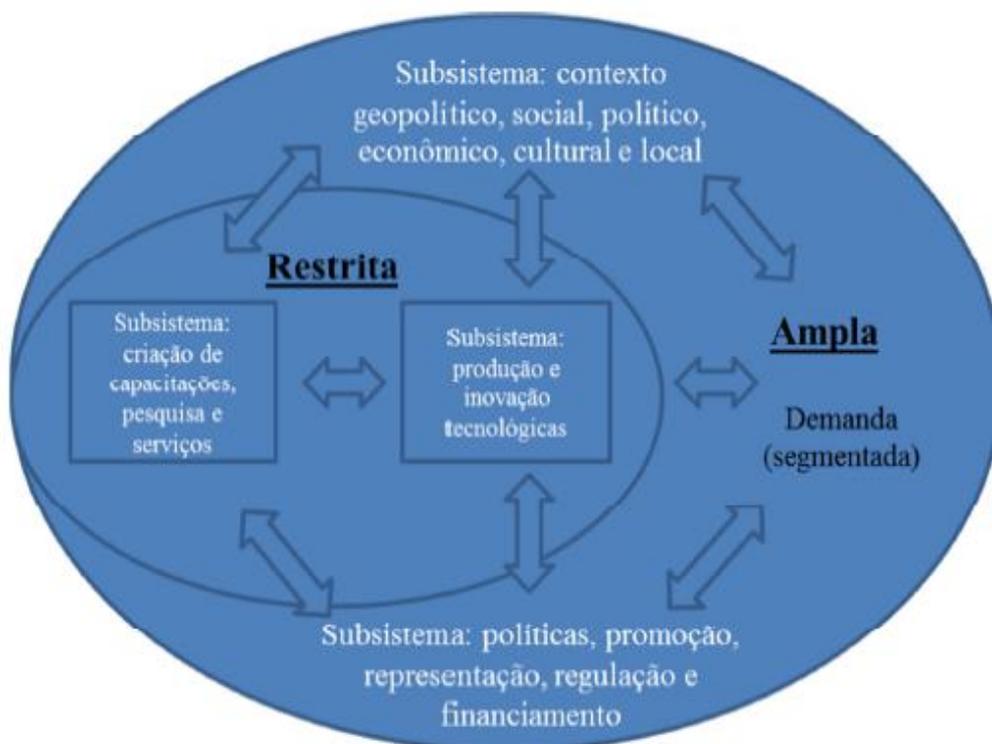
Cassiolato *et al.* (2007) destacam que há duas abordagens do conceito de Sistemas Nacionais de Inovação. A primeira apresenta uma visão mais restrita, considerando somente as instituições que afetam diretamente a capacitação e as estratégias inovativas, tais como institutos de pesquisa, empresas que executam P&D, instituições governamentais voltadas ao financiamento de processos inovativos e o sistema educacional, particularmente o ensino superior e o sistema de pesquisa. Esta visão está relacionada à concepção de Nelson (1993) e Niosi (2000).

Em contraposição à visão restrita, autores como Freeman (1987), Lundvall (1992), Cassiolato e Lastres (2005) defendem uma abordagem mais ampla de SNI. Esta incorpora diversos aspectos da estrutura econômica e um amplo conjunto de instituições que afetam, sobretudo, o processo de aprendizado interativo e a formação de competências, as quais influenciam direta ou indiretamente o processo de inovação. Nessa perspectiva, as políticas públicas não se restringem àquelas voltadas para o sistema de ciência e tecnologia, mas englobam todas as políticas que afetam a dinâmica econômica. As políticas macroeconômicas, comerciais e o setor financeiro, assim como

as políticas voltadas à criação de capacitações de um país também são inseridas nesta abordagem de SNI.

A Figura 3, desenvolvida por Cassiolato e Lastres (2005), descreve o sistema nacional de inovação em suas abordagens restrita da ampla. Este quadro analítico permite maior entendimento das instituições que compõem o SNI, assim como suas interações. Enquanto a visão restrita se limita ao subsistema produtivo e ao de ciência e tecnologia, a abordagem ampla inclui os contextos geopolítico, social, econômico e cultural, as características assumidas pela demanda e as políticas de promoção, regulamentação e o subsistema de financiamento.

Figura 3 - Versão Ampla e Restrita do Sistema Nacional de Inovação



Fonte: Cassiolato e Lastres (2005)

Freeman (1987) define o Sistema Nacional de Inovação amplo como uma “rede de instituições nos setores público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam e difundem novas tecnologias” isto é, constitui-se de elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso do conhecimento.

A inovação à luz da abordagem sistêmica é vista, portanto, como um processo mais amplo do que apenas as atividades formais de P&D, incorporando as inovações

incrementais, inovações de produtos e processos, e inovações não-tecnológicas e intangíveis, como inovações em serviços e organizacionais. A abordagem sistêmica amplia o escopo de inovação até para reconhecer que a incorporação de uma nova forma de produzir por uma empresa é um processo inovativo, mesmo que esta forma de produção já exista e seja aplicada por outras empresas (EDQUIST, 2006).

Lundvall (1992) enfatiza a relevância dos processos de aprendizagem para a inovação e do desenvolvimento de competências tecnológicas. Para o autor, o SNI é um sistema social cuja atividade central é o aprendizado, que é um processo interativo. Dessa forma, o SNI deve abarcar todas as instituições que afetam os processos de aprendizado, busca e exploração de inovações. Desta forma, tal conceito destaca a importância da constituição de arranjos institucionais, públicos e privados, que possam contribuir para a criação de competências tecnológicas específicas e para o processo de aprendizagem interativa (SPAZIRO, 2005). Assim, segundo Lundvall (1992), os fatores que delineiam o sistema de inovação vão determinar o grau de acumulação de conhecimento e capacitações, que são essenciais no processo de inovação.

Além disso, o autor ressalta o caráter sistema dinâmico do processo de inovação, caracterizado por *feedbacks*, onde os elementos fortalecem os processos de aprendizado e inovação ou enfraquecem esses processos.

Cassiolato e Lastres (2005) sublinham a importância das interações entre agentes, organizações e firmas e entre usuários e produtores dentro de um processo de aprendizado interativo; dos processos de cooperação; dos processos de aprendizado e nos conhecimentos tácitos e codificados. Os autores ratificam o caráter sistêmico, interativo e social do processo de inovação e reforçam a importância que se estabeleça a integração entre as organizações e instituições que constituem o sistema de inovação.

Cassiolato e Lastres (2005) também reforçam a importância de se considerar o contexto político e econômico na estruturação dos sistemas de inovação, particularmente em países e regiões menos desenvolvidas. Na abordagem sistêmica dos sistemas de inovação, as especificidades dos ambientes e dos agentes que desenvolvem, incorporam e utilizam a tecnologia devem ser consideradas, resultando em uma discussão contextualizada dos processos de aprendizagem, capacitação, geração e uso de conhecimento. Como aponta Freeman (1982):

“General history (social, political and cultural) economic history and industrial history are not only indispensable, but really the most important contributors to the understanding of our problem. All other materials and methods statistical and theoretical are only subservient to them and worthless without them” (Freeman, 1982: p.8).

As diferenças nos arcabouços institucionais e as organizações de cada país provocam significativas diferenças entre os diversos SNI. A especificidade da evolução histórica dos países, de suas instituições e suas características locais implica que os SNI sejam também específicos. Assim, não é possível estabelecer um sistema de inovação ideal ou ótimo (SZAPIRO, 2005).

A especificidade do SNI faz com que a replicação de políticas virtuosas leve a resultados insatisfatórios ou até mesmo maléficos a um determinado país. A próxima subseção analisa as implicações de políticas a partir de uma perspectiva ampla do SNI.

1.2.2. SNI: implicações de política

As políticas de Estado desempenham papel-chave para o desenvolvimento das nações, principalmente na indução do desenvolvimento de seus sistemas de produção e inovação.

O referencial analítico de sistema nacional de inovação é entendido também com uma ferramenta ou um arcabouço analítico que pode contribuir para a tomada de decisões pelos *policy makers* na constituição e elaboração de políticas. O entendimento de como as instituições influenciam a mudança técnica torna possível uma intervenção mais efetiva de quem faz as políticas para influenciar a direção da inovação para objetivos socialmente desejáveis. O referencial Neo-Schumpteriano de sistemas de inovação tem, portanto, o duplo papel de auxiliar na compreensão dos determinantes do processo de inovação e contribuir com a análise e elaboração de políticas que estejam relacionadas ao desenvolvimento dos países.

Como afirma Peixoto (2013), não há como desenhar todo um sistema nacional de inovação, mas certamente é possível imaginar, influenciar e atuar diretamente sobre importantes partes. O governo tem a capacidade de atuar por meio de políticas que indiretamente afetam a capacidade inovativa das firmas, ou a partir de políticas diretas de suporte às atividades de P&D e de inovação, regulações e estabelecimento de padrões que afetam a velocidade e a direção do processo de geração e difusão de inovações (SZAPIRO, 2005).

É possível afirmar que a abordagem de SNI destaca o papel fundamental do Estado enquanto formulador de políticas. Cassiolato e Lastres (2014) afirmam que, de maneira geral, há dois objetivos centrais para o Estado enquanto formulador de políticas

que visa incentivar os processos de inovação. Em primeiro lugar, os autores afirmam que o Estado deve assegurar as condições básicas de um quadro político e macroeconômico favorável à conformação de regime benigno e capaz de estimular o desenvolvimento produtivo e inovativo⁹. Em segundo, destacam-se também os objetivos de fortalecer os vínculos produtivos, os processos de aprendizado e de criação e acumulação de capacitações produtivas e inovativas.

Lundvall e Borrás defendem, em seu trabalho de 1997, a importância das políticas nacionais, especialmente a política de inovação, diante da globalização e da liberalização dos mercados financeiros, onde a autonomia das políticas econômicas é limitada. Os autores sublinham a importância específica das políticas sociais, educacionais, de mercado de trabalho e de inovação, de modo a direcionarem estas com o crescimento do país.

Na mesma linha, Freeman (1995) também discute as conseqüências do processo de globalização nas estratégias de produção e de inovação das firmas. Segundo o autor, a intensificação da competição global aumenta a importância do conceito de nacional e das políticas de indução do Estado. As políticas tecnológicas nacionais são, portanto, essenciais, especialmente em países em desenvolvimento.

Erber (1992) converge com Freeman (1995) e afirma que nos países periféricos a importância dessas políticas públicas é exponencialmente aumentada. Segundo o autor, a ação de política é necessária em países como o Brasil, tendo em vista dois fatores principais. Primeiro, porque as situações de atraso vigentes nos países subdesenvolvidos se caracterizam pela ausência de elos centrais na estrutura produtiva e institucional, o que requer uma ação estruturante do Estado para induzir – ou mesmo assumir a responsabilidade direta via empresas estatais – a montagem de determinados setores na matriz produtiva, envolvendo uma ruptura radical das rotinas preexistentes. Em segundo lugar, e à semelhança dos países avançados, mostra-se necessário criar capacitações naquelas atividades essenciais para a existência da produção industrial.

Erber (1983) ainda reforça o papel do Estado como forma de desenvolver endogeneização do processo de inovação. O autor enfatiza a noção de que o desenvolvimento econômico e social resulta de mudanças qualitativas e de que nessas

⁹ A ideia dos autores é baseada em Coutinho (2003) que define os regimes macroeconômicos benignos como sendo “os que conseguem combinar taxas de juros baixas com taxas de câmbio relativamente subapreciadas – isto é, estimulantes para a produção no país e para as exportações. De outro lado, regimes macroeconômicos —malignos seriam aqueles que combinam taxas de juros altas com taxas de câmbio sobrevalorizadas, nocivas à produção doméstica e à competitividade exportadora do país” (COUTINHO, 2002, p.194).

transformações a endogeneização da capacidade de promover inovações tem um papel central.

Cassiolato e Lastres (1999) ressaltam ainda que em países menos desenvolvidos, é importante que as políticas sejam continuamente ajustadas e reformuladas à medida que as tecnologias evoluem, evitando a retração ou destruição do escasso potencial produtivo e inovativo dessas nações. Essas políticas também devem considerar a necessidade de limitar ou prevenir consequências sociais indesejáveis, buscando, centralmente e antes de tudo, promover o desenvolvimento inclusivo, coeso e sustentável das diferentes regiões e países a que se destinam.

Ademais, como a abordagem sistêmica leva em consideração as complexidades do processo inovativo e as interações dentro do sistema, uma política formulada sob esta abordagem deve levar em consideração a forma como os principais domínios de política influenciam a inovação, analisando e, se necessário, redesenhando as relações entre as diversas partes do sistema. Assim, a política de inovação na abordagem sistêmica deve ter como um de seus pilares, as políticas de estímulos à interação e integração entre os diversos agentes do sistema (LUNVALL, BORRAS, 2006).

É crucial também que haja um alinhamento entre as políticas de inovação e as demais políticas. Conforme visto anteriormente, a abordagem sistêmica sugere que as estratégias e resultados de inovação das empresas são influenciadas por outras diversas políticas, que afetam direta ou indiretamente o sistema de inovação. É importante que as ações não sejam incompatíveis com a lógica do próprio sistema, não se anulem mutuamente e tenham o efeito desejado sobre o sistema que se pretende criar/estimular/desenvolver (PEIXOTO, 2013). Quando organizado apropriadamente, um sistema nacional de inovação pode ser uma importante ferramenta para o progresso. Por outro lado, se mal organizado e conectado, pode seriamente inibir o processo de inovação (FREEMAN, 1987). Assim, o papel da coordenação das políticas implícitas e explícitas é bastante relevante no sistema nacional de inovação.

Mas é comum que haja distorções no conceito de sistema nacional de inovação, principalmente no desenho de políticas. Lundvall (2007) e Cassiolato *et. al.* (2007) apontam que as políticas têm conferido ênfase excessiva na infra-estrutura tecnológica formal. Segundo os autores, aspectos como gastos em P&D têm recebido mais prioridade do que, por exemplo, capacitação, interação e relações que estimulem o aprendizado. Essas distorções estão associadas à visão restrita de sistema nacional de inovação e refletem resquícios do modelo linear de inovação.

A adoção de políticas de inovação baseadas em visão restrita da inovação é problemática, principalmente em países em desenvolvimento. As políticas explícitas e implícitas interagem e determinam a dinâmica do SNI. Como afirma Herrera (1971), as políticas implícitas são capazes de dificultar e até anular as políticas explícitas específicas.

Segundo Cassiolato e Lastres (2014), na América Latina, as políticas implícitas são muito mais relevantes para as estratégias tecnológicas e de inovação empresariais do que as políticas especialmente desenhadas para a tecnologia e a inovação. Erber (1983) segue na mesma linha e aponta que as razões do fracasso da política de C&T no Brasil são explicadas por fatores estruturais.

“O fracasso (da política explícita) sugere que existem causas estruturais para tanto. Entre estas destacam-se a composição da estrutura produtiva, em que os setores intensivos em tecnologia têm pequeno peso; a dominância da importação de tecnologia, fruto da gravitação de empresas internacionais e do tamanho reduzido das empresas nacionais; a configuração incompleta do mercado de capitais, onde faltam mecanismos de risco e a reduzida competição entre as empresas” (ERBER 1999, p. 8)

O autor chama atenção para os efeitos perversos que a importação da tecnologia pode ter sobre a estrutura produtiva de um país. O autor argumenta que a importação de padrões de consumo no Brasil na década de 1970 impossibilitou o desenvolvimento de tecnologias adequadas às condições brasileiras. Em tal contexto, as empresas locais adotaram o licenciamento de tecnologias estrangeiras para poder competir com as filiais de empresas transnacionais. A dependência de tecnologias estrangeiras limitou, portanto, a acumulação de capacitações voltadas ao aprendizado por parte das empresas controladas pelo capital local no Brasil.

Erber (1972; 1983) também critica fortemente a hipótese de alcançar o desenvolvimento por meio de processos de *catch-up* a partir da importação, reprodução e adaptação de técnicas supostamente superiores de desenvolvimento para outros contextos históricos. Segundo o autor, o desenvolvimento é um processo único, não linear e não sequencial.

Cassiolato e Lastres (2005) seguem o argumento de Erber (1983) e reiteram que na abordagem sistêmica, o entendimento da inovação como um processo cumulativo e específico a determinado contexto expõe a complexidade de se gerar, adquirir e difundir tecnologias em países menos desenvolvidos, evidenciando que a

aquisição de tecnologia estrangeira não substitui os esforços locais de inovação, pois para que essa aquisição tecnológica seja efetiva, é necessário profundo conhecimento dos agentes locais para selecionar, comprar, interpretar, transformar e internalizar a tecnologia importada.

O entendimento da inovação como algo localizado vai contra a idéia da existência de um tecno-globalismo, onde “as informações, conhecimentos e tecnologias são simples mercadorias, passíveis de serem transferidas sob a mediação dos mercados via mecanismos de preços” (LASTRES 1999, p. 13).

Desse modo, pode-se afirmar que a tecnologia não se transfere totalmente, mas se constrói. Ou seja, a tecnologia não é um bem livre e, portanto, não é um *pool* de conhecimentos e combinações únicas que podem ser utilizadas livremente e sem custo (CASSIOLATO, LASTRES, 2005).

Cassiolato e Lastres (2014) apontam que a importação de tecnologia, na grande maioria dos casos não é adequada à realidade dos países periféricos uma vez que tais tecnologias foram originalmente desenvolvidas para atender a problemas de outras sociedades.

Adicionalmente, não raro, os países que importam tecnologia não dispõem de conhecimentos suficientes para fazer uso adequado dessa tecnologia. Muitas vezes, as necessárias capacidades produtivas e inovativas nem sempre estão disponíveis ou suficientemente desenvolvidas (CASSIOLATO, LASTRES, 2014).

Assim, a inovação, por ser dependente de contextos específicos, implica que a aquisição de tecnologia externa não é suficiente para conduzir um país ao desenvolvimento, pois para que essa inovação tenha efeito amplo sobre a economia, não basta somente a compra, mas deve haver conhecimento interno suficiente para que essa tecnologia seja interpretada, utilizada, copiada e internalizada (CASSIOLATO, LASTRES, 2008).

Cassiolato e Lastres (2005) afirmam ainda que as políticas definidas pelas agências internacionais carecem em considerar as particularidades de cada sistema. Partindo de uma visão generalista que não considera as peculiaridades de cada país ou região, as agências de países desenvolvidos propõem modelos genéricos de política, baseados nas experiências bem sucedidas de suas empresas e instituições.

Cassiolato e Lastres (2014) dão sequência aos trabalhos de 2005 e 2008 e analisam a tendência dos países menos desenvolvidos em importar políticas pensadas por países tidos como desenvolvidos. Baseada na obra de Erber (1972) e Furtado

(1983), os autores apontam que há uma subordinação dos processos de inovação aos processos de acumulação e competição capitalista, visando perpetuar e intensificar a reprodução de assimetrias internacionais econômicas, tecnológicas e de acesso ao conhecimento e ao aprendizado. Desta forma, uma vez estabelecido o padrão de apropriação do produto social, o comportamento dos agentes dominantes – organizações e países que controlam posições estratégicas – passa a ser guiado pelo propósito de conservar os privilégios alçados e de que desfrutam.

Segundo os autores, há um esforço, por parte dos países desenvolvidos, no sentido de perpetuação e intensificação da reprodução de assimetrias internacionais econômicas, tecnológicas e de acesso ao conhecimento e ao aprendizado: “A orientação dada ao desenvolvimento tecnológico relaciona-se às especificidades e interesses das nações que lideraram esse processo” (CASSIOLATO, LASTRES, 2014, p.385).

Freeman (1988) afirma que o hiato temporal entre inovadores e imitadores está positivamente relacionado à sustentação do fluxo de inovações pelos inovadores e à fragilidade das condições necessárias para inovar nos países imitadores. As "assimetrias tecnológicas" agem, ao mesmo tempo, como uma barreira ao acesso às novas tecnologias e como um novo incentivo à inovação para aqueles (empresas, organizações ou países) que estão liderando o processo tecnológico.

Arocena e Sutz (2003, 2005) avançam essa conclusão, argumentando que as novas formas de divisão do conhecimento passam a constituir o aspecto maior da problemática do subdesenvolvimento. Como aponta Reinert (2007) “*The global economy can in many ways be seen as a pyramid scheme of sorts – a hierarchy of knowledge*” (p. 148).

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 que a mobilização dos recursos da sociedade no sentido de desenvolver capacidade de tornar endógenos os processos de inovação.

A próxima seção tem como objetivo analisar o comportamento das empresas transnacionais e suas peculiaridades em relação ao processo inovativo. O arcabouço analítico do SNI, por contrapor-se à ideia de que as tecnologias são simples mercadorias, passíveis de serem transferidas sob a mediação dos mercados, constituem-

se numa ferramenta analítica fundamental para a compreensão do processo de inovação das transnacionais e de suas subsidiárias.

1.2.3. Transnacionais no SNI

No contexto das transformações recentes no sistema capitalista, algumas características marcantes se destacam como a ampliação das atividades das empresas transnacionais e os mercados financeiros e monetários que realmente se tornaram globais a partir da década de 1970, a ampliação do comércio internacional e o acirramento da concorrência em nível mundial (SZAPIRO, 2005).

Outro traço fundamental do atual contexto do capitalismo é o crescimento da importância dos fluxos de investimento direto estrangeiro (IDE) e do comércio internacional. Como aponta Zucoloto (2009), o investimento direto estrangeiro é um importante fenômeno relacionado ao processo de globalização econômica. O forte impulso ao IDE observado especialmente nos anos 1990 culmina com valor recorde em 2000, quando alcança em torno de US\$ 1,3 trilhão (UNCTAD, 2008;). Em 2007, o estoque de IDE mundial correspondia aproximadamente a 20% do produto global. As empresas transnacionais (ETNs) - principais condutoras do IDE mundial – também aumentaram sua relevância no cenário global. No início dos anos 1990, havia 37 mil empresas transnacionais, acompanhadas de 175 mil subsidiárias e em 2007 estes valores alcançaram, respectivamente, 79 mil e 790 mil. O comércio internacional entre matriz e filiais representava 60% do total mundial em 2008 (ZUCOLOTO, 2009; CEPAL, 2008; UNCTAD, 2008).

Como consequência da ampliação das atividades das empresas transnacionais, ocorreu uma realocação internacional da atividade produtiva e dos fluxos de comércio internacional. É importante, contudo, questionar se os esforços tecnológicos também seguiram o padrão da desconcentração produtiva ou se estariam concentrados ainda nas matrizes das ETNs, em sua maioria oriundas de países desenvolvidos. Mais ainda, as ETNs estariam de forma crescente desenvolvendo parte de suas tecnologias em países em desenvolvimento e permitindo transbordamentos tecnológicos a estas nações?

Vários indicadores sugerem que as ETNs estão crescentemente desenvolvendo suas atividades tecnológicas a partir de suas subsidiárias e, nesse processo, países em desenvolvimento estariam se destacando, na última década, como

receptores de tais recursos. Estatísticas divulgadas pelo *Bureau of Economic Analysis*, divulgadas em Zucoloto (2009), mostram que empresas norte-americanas estariam realizando atividades de P&D de forma crescente a partir de suas subsidiárias, inclusive as atuantes em países em desenvolvimento, como China e Índia. Todavia, vários autores demonstram que estes investimentos ainda são limitados, e que as atividades de P&D realizadas nestas nações são pouco relevantes se comparadas àquelas em vigor nas matrizes.

Bas e Sierra (2002) afirmam que os gastos em P&D por algumas subsidiárias não tem por objetivo gerar inovação genuína, mas, no máximo, adaptar as técnicas existentes, dado que sua função seria somente preservar o mercado nos países em que atuam. Neste caso, limitados esforços em P&D precisariam ser realizados. Este tipo de internacionalização tecnológica, altamente limitada, tende a ocorrer quando as firmas se direcionam a países em desenvolvimento, principalmente em segmentos mais dinâmicos, nos quais os países receptores possuem capacitações domésticas pouco expressivas.

Autores como Archibugi e Michie (1995; 1997) também afirmam que as atividades tecnológicas das grandes empresas transnacionais permanecem basicamente circunscritas às matrizes nos seus países de origem. Segundo os autores, as trocas de conhecimento tecnológico que aumentaram de volume nos últimos anos ocorreram basicamente entre empresas e países avançados.

Outros autores (PATEL, 1996; MININ, 2005), ao analisarem estatísticas de patentes, também concluem que i) o aumento do grau de internacionalização das atividades tecnológicas apresenta evidências fracas; ii) o grau e direção das atividades tecnológicas das grandes empresas ainda são primordialmente determinados pela matrizes e seus países-sede; e iii) a internacionalização tecnológica, quando existe, direciona-se especialmente aos demais países desenvolvidos.

A limitada internacionalização tecnológica estaria associada ao enraizamento das atividades inovativas empresariais, especialmente a realização de P&D, em seu ambiente local. A atividade de P&D é tácita e não padronizada, sendo, portanto difícil de ser localizada longe da administração central das firmas. Sua implementação fora da sede pode implicar altos custos de execução, baixa eficácia dos projetos, risco elevado e dificuldades de comunicação com a matriz (VON ZEDTWITZ; GASSMANN, 2002).

Segundo Cassiolato e Lastres (2005), as limitações da internacionalização tecnológica estão associadas “à natureza estratégica e complexa dos sistemas de

inovação e o conseqüente enraizamento das empresas transnacionais – especialmente atividades de P&D – em seu próprio ambiente local.” Os autores enfatizam que apenas no caso do consumo de tecnologias – aquisição de máquinas, equipamentos, insumos industriais e determinados bens de consumo final (produtos eletrônicos, automóveis e computadores) – é possível falar em globalização. Entretanto, a geração e a difusão de conhecimento ainda estão severamente concentradas, sendo tal centralização um meio de as grandes firmas dos países desenvolvidos garantirem a apropriação dos resultados de seus investimentos em tecnologias.

Para Amsden (2006), as empresas transnacionais tendem a manter seus principais engenheiros e administradores na matriz para desenvolver produtos e processos não rotineiros, incluindo atividades inovativas. Atividades de alto valor agregado, como P&D, são mantidas na sede e, quando internacionalizadas, concentram-se em processos de menor sofisticação. Para a autora, isto vale também para as experiências da China e Índia, apesar das instalações científicas e tecnológicas públicas disponibilizadas nestes países. A título de exemplificação, a autora menciona que o laboratório da empresa GE, em Bangalore/Índia, empregava somente 600 funcionários, e é direcionado a dar suporte às operações locais de produção, e não a gerar novos produtos.

Ao comparar atividades de P&D realizadas por cinco empresas nacionais e cinco transnacionais da indústria de telecomunicações coreana, a autora concluiu que o P&D realizado pelas nacionais era mais diversificado, indo da pesquisa básica ao desenvolvimento avançado.

Amsden (2006) ainda ressalta que o conteúdo local tende a ser mais elevado em empresas nacionais. As firmas estrangeiras tendem a importar componentes com significativas economias de escala, enquanto as nacionais tendem a estabelecer localmente, com maior intensidade, cadeias de valor. Além disto, países desenvolvidos pressionam por suas indústrias: por exemplo, no período 1950-2000, os EUA insistiram que a maior parte dos insumos utilizados na fabricação de produtos por eles importados a partir de países em desenvolvimento fossem norte-americanos.

Para Amsden (2006), a reputação dada às subsidiárias de empresas transnacionais como promotoras do desenvolvimento, através de processos de transferência tecnológica, é exagerada. Horizontalmente, o montante de tecnologia transferida destas empresas para as firmas nacionais seria limitado, podendo ser relevante somente no caso de capacitação gerencial. A autora argumenta que as firmas

estrangeiras de fato transferem tecnologia para suas subsidiárias, mas que esta tecnologia é protegida de seus competidores domésticos, não sendo repassada. Ainda enfatizou que a realização de P&D por transnacionais nos países mais atrasados é pequena no montante e modesta em complexidade. Mesmo considerando que as subsidiárias investem em aprendizado local para adaptar os produtos vendidos domesticamente às preferências dos consumidores locais, ela ressalta que a realização de pesquisa para a geração completa de um novo produto ou processo próximo à fronteira mundial é praticamente inexistente.

Diversos estudos mostram que grande parte da internacionalização de P&D ocorre em atividades muito básicas, incapazes de impulsionar as indústrias de nações em desenvolvimento. Algumas atividades classificadas como P&D são essencialmente atividades de suporte e pós-vendas, ou seja, treinamento e suporte técnico relacionadas a vendas e processos de engenharia associados à produção manufatureira (GAMMELTOFT, 2005). Esta internacionalização possibilita a redução de custos de realização de P&D pelas empresas transnacionais, entretanto os benefícios para os países receptores destes investimentos ainda são passíveis de avaliação.

Para Amsdem (2001), se um país em desenvolvimento pretende superar seu atraso tecnológico, a atração de empresas transnacionais não seria o melhor caminho a ser buscado, dado que a internacionalização tecnológica ocorre em montante limitado, e direciona-se especialmente a processos pouco inovadores. Mesmo considerando que as subsidiárias investem em aprendizado local para adaptar os produtos às preferências dos consumidores locais, o desenvolvimento completo de um novo produto ou processo próximo à fronteira mundial é praticamente inexistente (AMSDEN, 2001). Portanto, a importância do IDE como o principal canal de transferência de tecnologia não deve ser superestimada, nem vista como um modo fácil de construir capacidade inovativa interna. Políticas voltadas ao aprimoramento do esforço inovador doméstico, a partir do fortalecimento de firmas e laboratórios de pesquisa nacionais, seriam o meio mais eficaz de garantir avanços tecnológicos a estes países.

Para Cassiolato (2013) a compreensão do papel das ETNs atualmente deve ser realizada a partir do entendimento das novas características assumidas por elas no contexto da globalização dominada pelas finanças e suas articulações com o mercado financeiro. Grandes empresas transnacionais industriais tornaram-se, na verdade, centros financeiros com atividades industriais. Mais ainda, as ETNs passam a se caracterizar por um relativo declínio da importância atribuída às atividades de produção,

com um aumento associado na importância das atividades financeiras e apropriação de valor dos ativos intangíveis (SERFATI, 2008).

Do ponto de vista de sua estratégia tecnológica e de inovação, Cassiolato (2013) argumenta que a empresa transnacional adentra o regime de acumulação dominado pelas finanças visando se apropriar dos diferentes tipos de insumos ao processo inovativo de forma a minimizar seus custos e, mais importante, a partir de uma subordinação de suas estratégias de longo prazo às aquelas de maximização dos ganhos financeiros de curto prazo.

Cassiolato *et al.* (2014) sugerem que o impacto destas transformações nos sistemas nacionais de inovação de países da periferia do capitalismo já tinha sido objeto de análise de François Chesnais em um texto inédito de 1992, recentemente publicado (CHESNAIS 2013). Em tal texto Chesnais argumenta que, no bojo da globalização dominada pelas finanças, a inserção da ETNs nos sistemas nacionais de inovação passa a se dar de forma distinta do período anterior em particular em função das transformações acima apontadas.

Chesnais sugere inicialmente a submissão das atividades das filiais à estratégia central de maximização de valor de curto prazo e subordinação aos ditames das finanças. Nas suas palavras, “dentro das ‘corporações em rede’ ainda mais do que nas ‘transnacionais clássicas’, as estratégias de P&D e de inovação são funcionalmente relacionadas à gestão corporativa central tanto quanto a estratégia financeira das corporações” (CHESNAIS, 1992, p. 286). Cassiolato (2013) ainda destaca que:

“a partir da percepção antecipada das transformações da grande empresa capitalista no quadro da globalização e da subordinação das estratégias de inovação das subsidiárias à gestão central das corporações e sua vinculação à estratégia central que é a financeira, Chesnais apontava que os objetivos de política perseguidos pelos governos de países em desenvolvimento, inclusive e particularmente o do Brasil, de atrair IDE e fazer com que o capital estrangeiro fosse um dos principais pilares da renovação industrial (associada à revolução da microeletrônica) eram ao mesmo tempo bastante ilusórios e em grande parte equivocados” (p. 372).

Seriam ilusórios na medida em que subestimam seriamente a natureza e a força dos fatores estruturais que têm ocorrido desde meados dos anos 1970 e que modificou significativamente as estratégias e as prioridades de investimento das empresas transnacionais que empreenderam o peso dos investimentos nos países em

desenvolvimento e NICs na “idade dourada” dos anos 1960 e 1970 (CHESNAIS, 1990). Seriam também equivocados na medida em que “deixam de reconhecer que a mudança de paradigma tecnológico modificou os parâmetros de transferências internacionais de tecnologia e fez com que o crescimento industrial local e endógeno se tornasse dependente em um grau muito maior do que no período anterior (1960-1975) de fatores sobre os quais o capital estrangeiro não pode e não irá trazer ou construir nos países recipientes e que devem ser criados e construídos localmente” (CHESNAIS, 1990).

1.3. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A primeira parte desta tese teve como objetivo fornecer os elementos analíticos que serão a base para a discussão realizada nos capítulos seguintes.

Primeiramente, o foco foi descrever a atual crise do capitalismo, enfatizando a dimensão ambiental. Apesar da maior parte do debate ainda girar em torno do argumento de que a atual crise pode ser explicada, maiormente, por problemas associados ao setor financeiro, é cada vez mais claro que ela transcende aspectos nominais da economia, atingindo de forma substantiva o seu lado real. Trata-se de uma crise muito mais ampla, com pelo menos três importantes dimensões: econômica, política e ecológica. Dado o escopo dessa tese, a dimensão ecológica da crise foi enfatizada na análise.

Discutiu-se também os limites do atual regime de acumulação intensivo no uso de recursos não renováveis e a não sustentabilidade do atual paradigma técnico-produtivo, assim como se o aumento da importância das tecnologias relacionadas à sustentabilidade ambiental pode se constituir uma indicação da constituição de paradigma tecno-econômico verde. Tal possibilidade já vem repercutindo nas estratégias de grandes corporações produtivas e financeiras. Exemplos de estratégias de Estados que colocaram as tecnologias ambientais como centrais entre suas políticas públicas recentes também foram analisadas.

Conforme mostrado, as grandes potências econômicas mundiais estão definindo suas fronteiras tecnológicas de acordo com a necessidade de constituição e consolidação de novos paradigmas e trajetórias tecnológicos de baixo carbono e voltadas à sustentabilidade ambiental. Esta tendência ficou mais evidente a partir dos desdobramentos da crise de 2007 e 2008. Desse modo, a importância crescente do

desenvolvimento de capacitações científicas, tecnológicas e produtivas associadas à sustentabilidade estão ganhando espaço em diversos países, como exemplificado pelos casos de Estados Unidos e China.

Na sequência, a segunda seção apresentou o arcabouço conceitual do Sistema Nacional de Inovação (SNI), base teórica para a discussão a ser realizada nessa tese. O caráter sistêmico, interativo e social do processo da inovação foi explicitado, assim como a importância da interação entre as organizações e instituições que constituem o sistema de inovação. Em especial, o papel da coordenação das políticas implícitas e explícitas, principalmente no contexto das economias latino americanas, torna-se relevante para que avanços produtivos e tecnológicos sejam, de fato, alcançados.

Por fim, discutiu-se o papel das ETNs - principais produtoras e equipamentos eólicos no Brasil - dentro do arcabouço dos SNI. Do ponto de vista tecnológico, verifica-se na prática um processo limitado de descentralização e internacionalização das atividades de P&D a partir de ETNs que, quando ocorre, está concentrado em determinados setores econômicos, e direcionado primordialmente para nações economicamente avançadas.

PARTE II – ENERGIA EÓLICA

A segunda parte da tese tem como objetivo apresentar a indústria de energia eólica e é composta por três capítulos, além desta introdução. No capítulo 3, as principais características da indústria eólica são apresentadas, assim como seus principais atores. Depois de apresentar a indústria eólica, o foco recai sobre a estrutura produtiva dos equipamentos eólicos, que será o objeto da presente pesquisa.

O capítulo 4 analisa as principais políticas de apoio ao desenvolvimento da energia eólica e da indústria eólica. As políticas governamentais desempenham um papel importante, não só na criação de mercados, mas também para influenciar a natureza das cadeias globais de valor. A indústria eólica é dominada por empresas globais que instalam unidades fabris em função da proximidade com os principais mercados.

O quinto capítulo apresenta o crescimento da energia eólica no mundo e situa os países líderes em capacidade instalada, bem como aqueles que vêm puxando o crescimento recente da indústria de aerogeradores.

Por fim, a última seção faz as considerações finais, destacando os aspectos que contribuem para o desenvolvimento subsequente do trabalho.

É importante ressaltar que esta segunda parte da pesquisa está alinhada às questões e aos aspectos da indústria que dizem respeito aos objetivos da tese e encontra-se dentro do escopo delimitado. Dessa forma, estes capítulos não analisam em profundidade os impactos da inserção dessa fonte de energia na segurança energética ou no preço final dos consumidores, por exemplo, pois estes impactos não estão dentro do escopo das políticas de inovação em energia eólica, mas no âmbito das políticas e planejamento concernentes ao setor elétrico. Aspectos cruciais, mas relacionados ao planejamento energético, fogem ao escopo da presente pesquisa.

CAPÍTULO 2 – INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA

“Porque o homem, que soube criar essa tecnologia maravilhosa, não se decide ainda a por a mesma energia e a mesma imaginação em empregá-la para construir uma sociedade melhor ?” (PREBISCH, 1973, p. 229)

2.1. INTRODUÇÃO

A energia eólica advém da energia solar uma vez que os ventos são causados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera. Essa não uniformidade no aquecimento da atmosfera se deve, entre outros fatores, à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra e provoca o deslocamento de massa de ar e determina a formação dos ventos (DUTRA, 2007).

A energia eólica tem sido aproveitada desde a antiguidade de inúmeras formas. A utilização do vento para produzir energia surgiu relativamente tarde na Antiguidade. A roda de vento do engenheiro grego Herão de Alexandria, concebida durante o século I d.C., é o mais antigo registro do uso de uma ferramenta destinada a captar a força do vento para alimentar uma máquina (MAY, 1991). Mas foi apenas depois do século VII que os primeiros moinhos de vento apareceram na Pérsia. Por volta do ano 1000, o uso de moinhos tornou-se mais comum no Médio Oriente e na Ásia Central, chegando mais tarde à China e à Índia. A partir do século XI, os moinhos de ventos passam a ser usados intensivamente na Europa ocidental na moagem de farinha e na drenagem de terras alagadas para cultivo ou construção (MAY, 1991). Em 1881, William Thomson propôs o uso da energia eólica na ausência de carvão (ADAMEK, 2009)¹⁰.

A utilização da energia dos ventos na forma de eletricidade teve início com o escocês James Blyth, que construiu em 1887 uma turbina no jardim de sua casa e aproveitou a eletricidade produzida para iluminar a sua casa¹¹. A sua experiência daria origem em 1891 a uma patente. No ano seguinte, o inventor norte-americano Charles Francis Brush produziu eletricidade através de um gerador alimentado à energia eólica, que fornecia eletricidade à sua residência e ao laboratório. Esse sistema funcionou por

¹⁰ A Brief History of Wind Power Development in Canada 1960s-1990s. Adapted from: Collection Assessment on Wind Energy, By Anna Adamek, Curator, Natural Resources and Industrial Design, Unpublished: Canada Science and Technology Museum, 2009.

¹¹ <http://www.theguardian.com/environment/2008/oct/17/wind-power-renewable-energy>

20 anos, sendo desativado em 1908. Segundo DUTRA (2007), o cata-vento de Brush foi um marco na utilização dos cata-ventos para a geração de energia elétrica.

“O invento de Brush (...) foi a primeira e mais ambiciosa tentativa de se combinar a aerodinâmica e a estrutura dos moinhos de vento com as recentes inovações tecnológicas na produção de energia elétrica” (DUTRA, 2007, p. 318).

Na década de 1890, o inventor dinamarquês Poul la Cour construiu turbinas eólicas (conhecidas como aerogeradores) para produzir eletricidade. La Cour foi o primeiro a descobrir que turbinas que girassem a uma velocidade maior e com menos pás eram as mais eficientes para produzir eletricidade. Em 1904, fundou a Sociedade dos Eletricistas Eólicos (THE GUARDION, 2008).

Em meados da década de 1920, a empresa norte-americana Jacobs Wind Factory começou a fabricar aerogeradores elétricos, que tiveram uma ampla aceitação nas regiões rurais. Ainda nos EUA, em Vermont, o primeiro aerogerador de potência de 1 MW foi construído e ligado à rede de transmissão em 1941. A turbina tinha pás de 75 metros de altura e pesa 240 toneladas (THE GUARDION, 2008).

As décadas seguintes foram marcadas por importantes inovações tecnológicas. Em 1956, Johannes Juul, um ex-aluno de Poul la Cour, projetou uma turbina com modelo similar ao que é utilizado até os dias atuais. O modelo de aerogerador de três pás funcionou até 1967, sendo remodelado na década seguinte (THE GUARDION, 2008).

Porém, é apenas na década de 1970 que as atividades científicas e tecnológicas ligadas à energia eólica passam a ser objeto de políticas públicas. Naquele período, como resposta às sucessivas crises do petróleo, o governo dos Estados Unidos começou a investir em pesquisa e desenvolvimento de grandes turbinas eólicas comerciais. Em 1975, o Departamento de Energia dos Estados Unidos financiou um projeto de desenvolvimento de turbinas eólicas, gerido pela NASA¹². As maiores turbinas eólicas foram desenvolvidas e testadas no âmbito deste programa pioneiro. Na década de 1980, a Europa também passou a adotar importantes políticas industriais de apoio ao desenvolvimento de tecnologias associadas à energia eólica¹³ (HAUGEN, 2011).

¹² NASA (sigla em inglês de *National Aeronautics and Space Administration* – Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço) é responsável pela pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial.

¹³ Já em 1985, o Conselho da Comunidade Européia (atualmente representado na União Européia) publicou uma diretiva requerendo aos países membros uma avaliação do impacto ambiental dos grandes projetos energéticos. Esta diretiva introduz formalmente a discussão da energia eólica, mas deixa para os

A partir da década de 1980, os incentivos governamentais ao desenvolvimento da energia eólica e o consequente desenvolvimento tecnológico das turbinas eólicas permitiram a consolidação da atividade industrial de produção de aerogeradores. As três primeiras grandes empresas fabricantes de aerogeradores (Vestas, Enercon e Nordex) surgiram ao longo da década de 1980, na Alemanha e na Dinamarca. Na década seguinte surgem mais duas empresas: a Espanhola Gamesa e a indiana Suzlon. Nos anos 2000 dois novos grupos industriais com tradição na produção de equipamentos elétricos iniciam a produção de aerogeradores (GE Wind Power e Siemens Wind Power) e novas empresas emergem, apoiadas por políticas públicas e pelo crescimento dos diferentes mercados domésticos, como, por exemplo, as empresas chinesas Sinovel, Goldwind e Dongfang e a argentina Impsa (LINARES, 2011; LEWIS, 2009; LOKEY, 2012).

Este capítulo objetiva introduzir as principais características da indústria de energia eólica, isto é, da indústria dos equipamentos de energia eólica. Com isto ressaltaremos as especificidades desta indústria assim como a sua estrutura industrial, para que possamos analisar a dinâmica de inovação envolvida na mesma. O capítulo possui quatro seções, além desta introdução. Inicialmente são apresentados os tipos de tecnologia existentes e identificado qual modelo tecnológico será o foco da pesquisa. Na seção seguinte, são definidas as fronteiras da indústria eólica e apresentados os principais atores que a compõe. A quarta seção analisa os fabricantes de aerogerador e identifica as principais empresas que produzem este equipamento no mundo. A quinta seção descreve a organização industrial da fabricação de turbinas e a sexta seção traz as conclusões.

2.2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

2.2.1. Tipos do Aerogerador

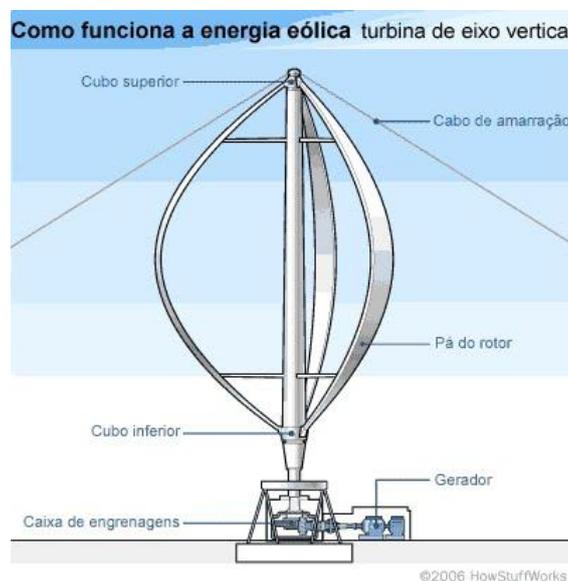
A energia eólica é aquela gerada pelo vento. O movimento de grandes turbinas (aerogeradores), em formato de cata-vento, gera energia elétrica. O aerogerador, portanto, é o equipamento cuja função é converter a energia cinética contida no vento

países membros a implantação e a escolha dos projetos (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1985).

em energia elétrica. A quantidade dessa energia gerada por meio de aerogeradores é função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás (hélices) e da velocidade do vento. Sucessivas inovações tecnológicas culminaram no desenvolvimento e no aprimoramento do aerogerador (DUTRA, 2007).

Diferentes trajetórias tecnológicas deram origem a dois tipos distintos de aerogeradores: de eixo vertical e de eixo horizontal¹⁴. Os aerogeradores de eixo vertical são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical, conforme mostra a figura 4 (DUTRA, 2007).

Figura 4 - Aerogerador de eixo vertical



Fonte: CRESESB, DUTRA, 2007.

O aerogerador vertical tem baixa potência e não é indicado para utilização em parques eólicos. A sua única vantagem é o bom desempenho em condições de vento reduzido e de variações rápidas de direção. Pode ser utilizado em pequenos projetos e instalações urbanas (DUTRA, 2007).

O aerogerador de eixo horizontal é o modelo convencional de geração de energia elétrica eólica. Sua concepção é baseada nos moinhos de vento, onde uma torre sustenta as pás que utilizam a força dos ventos para rodar um eixo de transmissão. Nos moinhos de vento, o eixo de transmissão era conectado à estrutura de moagem, já no aerogerador

¹⁴ De caráter pioneiro e científico, é possível identificar ainda outros tipos de aerogeradores, como os suspensos, que buscam atingir ventos de altitude e reduzir os custos de construção. Não se tem conhecimento de tais modelos com aplicação comercial no curto prazo (DUTRA, 2007).

moderno, o eixo é conectado ao gerador elétrico. O aerogerador de eixo horizontal pode ser de pequeno (até 0,5MW), médio (entre 0,5MW e 1MW) ou grande porte (mais que 1MW) (ANEEL, 2006).

Figura 5 - Aerogerador de eixo horizontal



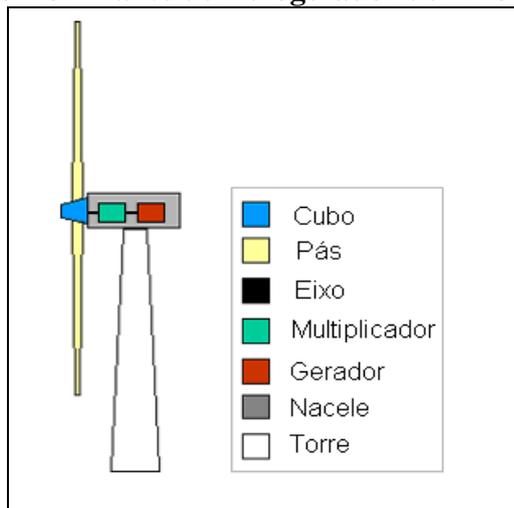
Fonte: DUTRA, 2007

Turbinas de pequeno porte têm aplicação principalmente na produção independente de energia elétrica ou em microgeração em regiões rurais ou urbanas. As turbinas de médio porte podem ser utilizadas em sistemas híbridos de geração em paralelo com outra fonte de energia firme. As turbinas de grande porte são utilizadas nas usinas de energia elétrica, fornecedoras de energia para o sistema elétrico. As referidas turbinas podem se localizar na terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*) (DUTRA, 2007).

Diante de uma variedade de aerogeradores (*onshore/offshore*, eixo vertical/eixo horizontal, porte pequeno/médio/grande), a presente pesquisa irá analisar o aerogerador *onshore*, de eixo horizontal de três pás, de médio e grande porte. Esta escolha se justifica pelo fato de que este é o modelo mais adotado no Brasil (ANEEL, 2006)¹⁵. A figura 6 mostra os principais componentes do aerogerador de eixo horizontal de três pás:

¹⁵ Apesar de marginal, há o desenvolvimento de aerogeradores de pequeno porte principalmente para abastecer os sistemas isolados de energia (região Norte) (GIANNINI *et al.*, 2013).

Figura 6 - Padrão Dominante de Aerogerador de Eixo Horizontal



Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br>

1. Torre - é o elemento que sustenta o rotor e a nacela na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica. É um item estrutural de grande porte e representa uma parcela significativa do custo inicial do sistema.

2. Pás - são responsáveis por captar o vento e converter sua potência ao centro do rotor.

3. Cubo - é a estrutura onde são fixadas as pás.

4. Rotor - é o conjunto formado pelas pás e o pelo cubo, que efetua a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação.

5. Eixo - é o elemento que é conectado ao rotor e que transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes, por meio de uma caixa multiplicadora.

6. Gerador - é o componente que converte a energia mecânica do eixo em energia elétrica e alterna a relação de velocidade entre ambas.

7. Caixa multiplicadora - é o mecanismo que transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador.

8. Nacela - é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, incluindo caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico e sistema hidráulico.

9. Mecanismos de controle - há inúmeros mecanismos eletrônicos num sistema eólico.

Assim, o presente capítulo irá tratar da indústria eólica que se desenvolve a partir do aerogerador com rotores de eixo horizontal do tipo hélice compostos por três

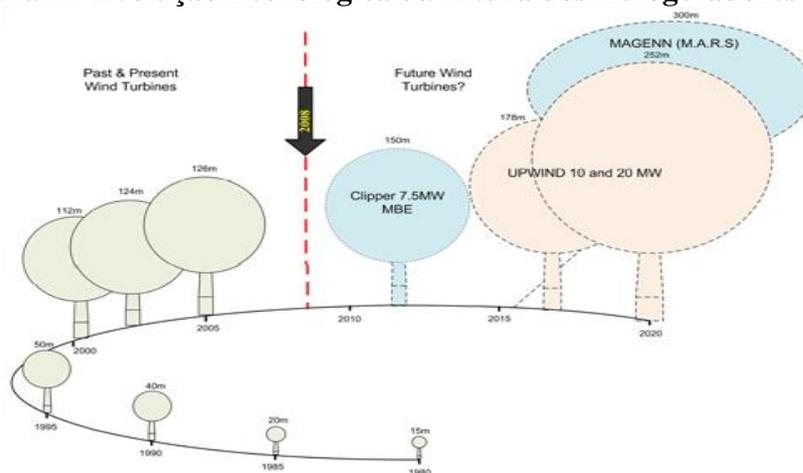
pás de porte médio e grande instalado onshore. A próxima seção apresenta os principais avanços tecnológicos deste modelo.

2.2.2. Trajetória Tecnológica do Aerogerador

Apesar das turbinas eólicas terem passado por significativas transformações tecnológicas, ao longo do tempo, o *design* padrão - com rotores de eixo horizontal com três pás- sofreu poucas alterações. Desde a década de 1980, ocorrem importantes avanços tecnológicos que não representaram, todavia, uma ruptura com o *design* convencional (JONES, BOUAMANE, 2011).

As transformações mais significativas estão, sem dúvida, no aumento das dimensões dos equipamentos, que são surpreendentes quando comparadas com unidades produzidas há três décadas. Uma turbina produzida atualmente é cinco vezes maior que uma similar produzida em 1990 e produz 15 vezes mais energia. Turbinas que possuíam rotores com diâmetros de 15 metros e que apresentavam capacidade de gerar 150 KW nos anos 1980 têm hoje rotor de 100 metros, com capacidade de produzir de 3 MW (AWEA, 2011). Segundo previsão AWEA (2011) a altura dos aerogeradores deve ultrapassar 200 metros até 2020 (figura 7).

Figura 7 - Evolução Tecnológica da Altura dos Aerogeradores



Fonte: Costa et al. (2009).

Aerogeradores maiores são mais eficientes por diversas razões. A primeira é que eles conseguem acessar os ventos mais altos, que tendem a ser mais intensos e estáveis (DUTRA, 2007). Dessa forma, a potência do aerogerador aumenta

exponencialmente perante o aumento da intensidade do vento¹⁶ e a maior estabilidade permite melhorar o aproveitamento do potencial eólico. Em segundo lugar, a estrutura de custos de produção das turbinas eólicas possui fortes economias de escala, uma vez que o custo de vários componentes, como os sistemas de controles, por exemplo, não varia proporcionalmente ao tamanho da turbina. Assim, a busca por melhores ventos e por importantes ganhos de escala no processo produtivo ocasionou um forte esforço tecnológico feito pelos fabricantes de aerogeradores no sentido de produzir turbinas cada vez maiores (JONES, BOUAMANE, 2011).

A construção de aerogeradores maiores e capazes de resistir a condições meteorológicas mais adversas impôs grandes desafios a todos os segmentos que compõem o aerogerador. O desenvolvimento de novos materiais mais leves e resistentes e inovações em logística, que permita o transporte de peças grandes e frágeis como as pás, são exemplos de inovações que permitiram a trajetória tecnológica de expansão no tamanho dos aerogeradores¹⁷.

Além das inovações tecnológicas típicas de um *scaling up*, há possibilidades de inovação vinculadas às especificidades locais e que não são generalizáveis. As características específicas de cada localidade como, por exemplo, a velocidade média e a constância do vento, a exposição à luz solar e a existência de corrosão, influenciam enormemente o desempenho dos aerogeradores. Há um esforço significativo por parte dos proprietários dos parques eólicos em expandir o conhecimento dos regimes dos ventos em cada localidade, a fim de reduzir as incertezas em relação à capacidade de geração de energia de cada parque. As especificidades locais representam importantes oportunidades de desenvolvimento tecnológico. Porém, a estratégia adotada pela maioria dos produtores de aerogeradores tem sido desenvolver modelos globais de aerogeradores e, posteriormente, fazer ajustes para se adequar às características locais. Os possíveis limites e as vantagens desta estratégia serão analisados no capítulo 6.

¹⁶ A potência do vento é uma relação cúbica com a velocidade do vento. Logo enquanto a velocidade do vento aumenta em x , a potência aumenta em x^3 . Para maiores detalhes, ver Dutra (2007).

¹⁷ Há uma série de inovações que tem se concentrado em melhorar as condições de transferência da energia produzida pelo aerogerador. O sistema elétrico requer um equilíbrio entre a oferta e a demanda por energia. Dessa forma, é crucial que a quantidade de carga injetada nas redes seja estável. Assim, há um significativo esforço tecnológico em reduzir a volatilidade do despacho de energia e tornar o aerogerador mais “*grid friendly*” (CARDINAL; MILLER, 2006). Da mesma forma, há um significativo esforço de ampliação das medições dos ventos e de compreensão dos regimes dos ventos (KARINIOTAKIS *et al.* 2006). Note, no entanto que tais avanços fogem ao escopo desta tese.

A seção seguinte descreve a cadeia produtiva da indústria eólica que se desenvolve a partir do aerogerador.

2.3. CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA EÓLICA

Segundo a ABDI (2012), a cadeia produtiva da indústria eólica em cinco grandes segmentos de atividade. No primeiro segmento estão empresas de serviços de engenharia responsáveis por desenvolverem o projeto e planejarem o parque eólico. Essas empresas realizam levantamentos iniciais de dados e medições de vento no local escolhido, definem o *layout* dos aerogeradores no terreno, elaboram estudos de viabilidade técnica e o projeto básico. As empresas de engenharia participam ainda da implantação de um parque eólico desempenhando os seguintes serviços: sondagem do solo, projeto das fundações, projeto das vias de acesso ao parque eólico, projeto de subestações, monitoramento ambiental e estudos para a integração da usina eólica ao sistema elétrico interligado nacional.

No segundo e terceiro segmento estão os fabricantes de aerogeradores e seus principais fornecedores, respectivamente. Como será visto adiante, os fabricantes de aerogeradores tendem a terceirizar uma grande quantidade de componentes e a atuar como montadores. Assim, estes segmentos da cadeia produtiva são formados pelos fabricantes de turbinas eólicas e por uma vasta rede de fornecedores de componentes.

No quarto segmento, estão as empresas dedicadas às atividades de transporte, instalação, manutenção e reparação de máquinas e equipamentos industriais em uso para produção da energia eólica. O transporte e a montagem dos equipamentos normalmente são atividades de responsabilidade dos fabricantes, que podem terceirizar este serviço por meio de firmas especializadas, que usualmente possuem guindastes de grande porte.

No quinto segmento, estão os serviços de distribuição e o consumo da energia elétrica gerada. Este segmento não é específico à energia eólica, sendo comum ao sistema elétrico como um todo.

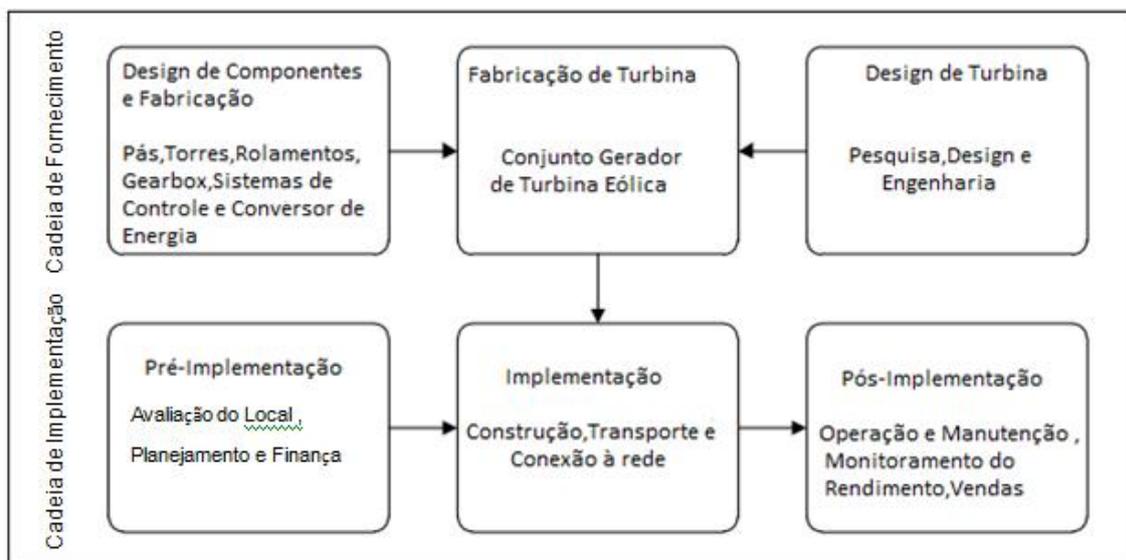
Lema (2011) define a cadeia produtiva da indústria eólica de forma um pouco distinta. Segundo o autor, a indústria eólica é formada por seis atividades básicas:

- i. Fabricação de componentes para o aerogerador;
- ii. Fabricação de aerogeradores;

- iii. Pesquisa e *design* de turbinas;
- iv. Atividades relacionadas a pré-implementação dos parques eólicos, tais como desenvolvimento do projeto e captação de investimentos;
- v. Implementação e construção de parques eólicos;
- vi. Serviços de manutenção, supervisão dos parques eólicos e de consultorias.

Para efeitos de análise, Lemos (2011) separa a indústria eólica em duas vertentes: a cadeia de produção do equipamento (cadeia de fornecimento) e a cadeia de serviços de implantação relacionados à implantação e à utilização dos parques eólicos (cadeia de implementação) (Figura 8).

Figura 8 - Indústria Eólica



Fonte: Desenho de Frost e Sullivan (2010); EWEA (2007); EAI; CCB International (2011). Setas indicam fluxo de bens e serviços entre as funções na cadeia.

Fonte: Lema (2011)

A partir de Lemos (2011), Camillo (2013) identifica a indústria eólica de acordo com seus atores principais, destacando três principais grupos, quais sejam:

1. Os que planejam, constroem e mantêm os parques eólicos - empresas de planejamento, construção e logística de parques eólicos, firmas de consultoria e *design* de parques eólicos, provedores de serviços de manutenção e operação de parques eólicos;

2. Os que produzem e investem em energia eólica – as concessionárias de eletricidade, os produtores independentes de energia e os investidores com interesse puramente financeiro; e
3. Os que fabricam equipamentos – as fabricantes de aerogeradores e os fornecedores de componentes para os aerogeradores.

Lemos (2011) e Camillo (2013) argumentam que o segundo e o terceiro grupo são os responsáveis pelo ritmo do desenvolvimento da indústria eólica. Os fabricantes de aerogeradores determinam a velocidade de desenvolvimento da cadeia de produção, enquanto os investidores e proprietários dos parques eólicos determinam o ritmo de implementação da fonte eólica. As atividades de Operação e Manutenção (O&M) só representam cerca de 20-30% do valor do projeto.

É crucial notar que tanto Lemos (2011) inclui os investidores em energia eólica como atores da cadeia produtiva de geração eólica. O motivo para tal decisão é que historicamente os fabricantes de aerogeradores eram os investidores. Como as turbinas eólicas consistem no principal custo de implantação de um parque eólico, podendo representar 70% do total, a participação dos fabricantes de turbinas como desenvolvedores e proprietários de parques eólicos foi o caminho encontrado por essas empresas para viabilizar o financiamento desses investimentos até que a indústria atingisse certa maturidade.

Da mesma forma, os fabricantes de aerogeradores também tendiam a atuar no pré-desenvolvimento e no desenvolvimento de parques eólicos. Assim, os fabricantes de turbina eram os principais atores e chegavam a atuar em praticamente todas as atividades relacionadas à geração de energia eólica.

“There is, however, no strict division between the manufacturing and the deployment chains. Turbine manufacturers partake in the deployment services chain (...) the owners or organizers often have power to influence relations in the manufacturing chain” (LEMOS, 2011, p. 10).

A consolidação do setor a partir dos anos 2000 possibilitou o surgimento de empresas especializadas no desenvolvimento de projetos eólicos, formadas a partir de empresas de engenharia de serviços que enxergaram uma oportunidade em participar da indústria eólica. Atualmente, o desenvolvimento de projetos eólicos é dividido entre as empresas desenvolvedoras e alguns fabricantes de turbinas, que ainda atuam no pré-

desenvolvimento e no desenvolvimento de parques eólicos, como a espanhola Gamesa e a indiana Suzlon (LEMOS, 2011).

Adicionalmente, grandes empresas de energia também passaram a integrar a produção de energia eólica, principalmente na segunda metade da década de 2000. Grandes concessionárias de energia e grandes produtores de energia passaram a perceber a energia eólica como uma possibilidade de expansão de seus portfólios, se tornando os principais investidores em parques eólicos. Segundo dados do BTM, as concessionárias de eletricidade e empresas de energia, como a Shell, foram responsáveis por metade dos investimentos em capacidade instalada em 2006. Na Europa, esta tendência é ainda mais acentuada. Na Espanha, por exemplo, as grandes concessionárias (Acciona, Endesa, EDP e Iberdrola,) controlavam, em 2006, 70% da capacidade instalada energia eólica do país (DINICA, 2008) ¹⁸.

A entrada das concessionárias de eletricidade como principais investidores reconfigurou o setor. Como explica Camillo, 2013:

“A emergência das concessionárias de eletricidade como principais investidoras em ativos de geração de energia configurou, então, uma nova dinâmica para a indústria e norteou o caminho do seu amadurecimento em termos de organização industrial. Até então, a energia eólica estava à margem do setor elétrico, adentrando as redes de distribuição por meio de obrigatoriedades impostas pelo arcabouço regulatório. Atualmente, essa fonte de energia, em especial nos países líderes em capacidade instalada, é uma opção real de geração de eletricidade. Dessa forma, assim como a geração térmica e hidráulica, a energia eólica segue para se tornar um negócio restrito a grandes empresas de energia”. (p. 48, CAMILLO, 2013).

A partir de meados dos anos 2000, o setor eólico passa a ser liderado por poucas grandes empresas de energia: do lado da produção de equipamentos, os fabricantes de turbinas, e do lado do investimento no desenvolvimento de parques, as concessionárias de energia e grandes empresas de energia¹⁹.

Apesar de existir uma conexão significativa entre o desenvolvimento dos parques eólicos e a produção de aerogeradores, esta tese tem como foco a produção de aerogeradores. Assim, foge ao escopo deste trabalho analisar de forma mais profunda os principais aspectos relacionados ao desenvolvimento dos parques, particularmente como

¹⁸ É importante notar que o desenvolvimento do setor ainda possui uma forte dependência de disponibilidade de canais de financiamento, como será visto no capítulo 5, que trata das políticas de financiamento no Brasil para desenvolvimento do mercado eólico.

¹⁹ Ver por exemplo os relatórios da Roland Berger (2010; 2011).

seus atores se organizam. Dessa forma, a próxima seção se restringe a apresentar as principais empresas produtoras de aerogeradores no mundo.

2.4. PRODUTORES DE AEROGERADORES

A produção de aerogeradores é dominada por grandes empresas OEMs, derivada da expressão *Original Equipment Manufacturers*. Essas empresas investem pesadamente em inovações como forma de diferenciar seus produtos. Apesar da semelhança entre os modelos produzidos, diferenças em alguns componentes essenciais alteram significativamente o desempenho das máquinas. As OEMs podem produzir grande parte do equipamento ou terceirizar alguns componentes, como a pá e a torre, sendo, porém, sempre responsáveis pelo projeto e *design* do aerogerador, pela integração dos componentes, assim como pela produção dos componentes essenciais, como o *software* (PLATZER, 2011).

As primeiras OEMs a surgirem foram a dinamarquesa Vestas e as alemãs Enercon e Nordex, que começaram a produzir suas primeiras turbinas na década de 1980. Na década seguinte, a espanhola Gamesa e a indiana Suzlon começaram a produzir suas primeiras turbinas (JONES, BOUAMANA, 2011).

Conforme já mencionado, a década de 2000 foi um período de consolidação do mercado eólico, com a participação, maiormente de grandes empresas. Dentre estas empresas estão a GE e a Siemens, que entraram no mercado eólico via aquisição de empresas menores já existentes. A GE comprou a alemã Enercon Wind Corporation e fundou a GE Wind Power em 2002 e a Siemens adquiriu a dinamarquesa Bonus, dando origem a Siemens Wind Power. Da mesma forma, outras empresas globais como Samsung, Mitsubishi e Alstom e a espanhola Acciona adquiriram parques eólicos e passaram a produzir aerogeradores em busca de diversificação na produção de energia (JONES, BOUAMANA, 2011).

Além da entrada de grandes conglomerados no setor eólico, a década de 2000 também foi marcada pela ascensão de novas firmas, como a norte-americana Clipper, fundada em 2001, que rapidamente se tornou uma importante produtora de aerogeradores (DAVID, 2010).

A partir da segunda metade dos anos 2000, novas empresas surgiram nos países emergentes a partir do crescimento dos mercados domésticos de energia eólica desses

países. Como exemplo, pode-se citar as empresas chinesas Sinovel, Goldwind, Guodian e Mingyang, e a empresa argentina IMPSA, que já atuava no segmento de hidroelétricas e abriu sua primeira fábrica de turbinas eólicas no Brasil em 2008.

Ronald Berger (2010) classifica as empresas em pioneiras, industriais e regionais. O primeiro grupo é composto por empresas que são originalmente OEMs e que não foram adquiridas por nenhuma outra empresa. Incluem-se nessa classificação as empresas Vestas, Enercon, Nordex e Gamesa.

O segundo grupo agrega as grandes corporações industriais que entraram no mercado eólico principalmente por meio da aquisição de empresas pioneiras. Estão neste grupo as empresas GE, Siemens, Alstom, Samsung, Mitsubishi e Clipper.

Já as empresas classificadas como regionais se desenvolveram posteriormente, em função de mercados em ascensão. Neste grupo de empresas há tanto empresas que se desenvolvem ancoradas no seu próprio mercado (como as chinesas Sinovel, Goldwind, Guodian e Mingyang), quanto empresas que utilizaram o crescimento de outros países (como a empresa argentina Impsa, que se desenvolveu com foco no mercado brasileiro²⁰).

Já Camillo (2013) classifica as empresas OEMs de forma distinta. Para a autora, é possível distinguir o desenvolvimento dessas empresas considerando-se o momento de sua criação. A autora separa as firmas por ‘geração’: entrantes de primeira geração (1980), de segunda (1990), de terceira (2000) e de quarta (a partir de 2005) gerações.

Como entrantes de primeira geração, pode-se citar as empresas Vestas, Enercon e a Nordex. Já como entrantes de segunda geração, citam-se as empresas: Gamesa e a Suzlon, também denominadas *latecomers*.

A categoria ‘entrantes de terceira geração’ se assemelha à classificação ‘industriais’ proposta por Ronald Bergen (2010). Ou seja, é composta por empresas consolidadas de equipamentos elétricos que ingressaram na indústria nos anos 2000 por meio de aquisição de uma empresa pioneira. Nesse grupo, a autora cita a GE, a Siemens e a japonesa Mitsubishi.

Por fim, as empresas de quarta geração se assemelham às “regionais” de Bergen (2010): são as empresas que se desenvolveram a partir do crescimento de seus mercados domésticos de energia eólica. Tais mercados podem ser os presentes em países

²⁰ Ver em caráter ilustrativo IMPSA (2014).

emergentes, como a China, ou em mercados tradicionais, como a França. Assim, nesta categoria estariam as empresas Alstom, Impsa e as chinesas.

Apesar de haver pequenas diferenças entre as classificações das empresas OEMs proposta por Ronald Berger (2010) e por Camillo (2013), diversos aspectos são coincidentes na análise dos autores. A seguir, os quatro aspectos centrais que caracterizam as OEMs.

Em primeiro lugar, o mercado de OEMs está organizado como um oligopólio. Os dez maiores fabricantes mundiais de aerogeradores concentravam aproximadamente 70% do mercado em 2012. Esta concentração já foi mais elevada, alcançando, por exemplo, em 2005, um percentual de 80% do mercado pelas seis maiores OEMs. Como será visto nos capítulos subsequentes, a liderança das empresas pioneiras tem sido ameaçada por empresas entrantes, mas as primeiras ainda mantêm um alto poder de mercado.

O segundo aspecto fundamental em relação ao desenvolvimento das OEMs é a importância das políticas governamentais na configuração da estrutura produtiva do setor. A expansão da utilização da energia eólica no mundo não foi fruto de uma dinâmica de livre mercado, mas sim resultado de uma estratégia desenvolvimentista do Estado, que implementou um amplo conjunto inter-relacionado de políticas. A existência de políticas tem sido essencial tanto para o desenvolvimento da fonte eólica quanto para o desenvolvimento das OEMs (LEWIS E WISER, 2007). A empresa dinamarquesa Vestas, por exemplo, foi fortemente apoiada por incentivos dinamarqueses. As empresas alemãs Enercon e Nordex também foram beneficiadas pelo sistema de tarifas *feed in* implementado na Alemanha. A inauguração da empresa Gamesa, em 1994, coincide com o início das políticas de preço fixo para energia eólica na Espanha. A abertura da empresa indiana Suzlon também estava atrelada ao primeiro pacote de incentivos estabelecido pelo governo indiano para energia eólica, em 1995. A GE também se beneficiou dos amplos incentivos em seus mercados domésticos. As subsidiárias de transnacionais que se instalaram na China vêm perdendo espaço no mercado chinês de energia eólica em função de políticas tecnológica e industrial para proteger as empresas locais (LEWIS, 2011). As políticas que apoiaram o desenvolvimento da energia eólica no mundo serão analisadas no capítulo 3.

O terceiro aspecto fundamental a ser destacado trata da importância primordial do mercado doméstico para a evolução, expansão e consolidação das OEMs. As organizações se desenvolveram fortemente ancoradas nos seus mercados domésticos de

energia eólica. Ou seja, apesar das empresas serem praticamente todas transnacionais e atuarem em diversos países, o mercado doméstico tende a ser o mais importante. Os mercados domésticos de energia eólica tendem a ser dominados por empresas nacionais²¹: nos EUA, a General Electric; na Índia, a Suzlon; na Alemanha, as empresas Enercon, Siemens, Nordex e Repower; e na China Goldwind, Sinovel, United Power e Dongfang. Este tópico também será analisado detalhadamente no capítulo 4.

O quarto e último aspecto que merece ser ressaltado é que as OEMs são empresas de grande porte e que tendem a atuar globalmente²². A maioria das OEMs atua em diversos países e possui estratégia de produção e de inovação definidas globalmente. Isto significa que as estratégias de produção são definidas de forma a aproveitar as vantagens relativas oferecidas por cada região do mundo. É comum que haja, por exemplo, uma empresa fornecedora de um determinado componente para todas as subsidiárias de uma OEMs.

As estratégias de produção que cada OEMs adota são diferentes, apresentando níveis de verticalização distintos. A próxima seção analisa as estratégias produtivas das principais OEMs.

2.5. ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO DE AEROGERADORES

A estrutura produtiva das OEMs é caracterizada pela heterogeneidade, com empresas operando com distintos níveis de integração vertical. Há empresas, como a alemã Enercon, que tende a internalizar a produção das três partes principais (nacele, pás e torre), usualmente por meio de aquisição de empresas fornecedoras de partes, e atuam até a ponta da cadeia, gerenciando e operando usinas geradoras de energia. Outras, como a norte-americana GE, que apresenta baixo grau de integração, adquirindo a maior parte dos componentes de fornecedores especializados (ABDI, 2012).

Apensar de o aerogerador ser composto por aproximadamente 8000 componentes, é possível estruturar sua cadeia produtiva de acordo com três macro componentes: a torre, a nacele e as pás (MERRILL LYNCH, 2007; LEMOS, 2011). As

²¹ Para maiores informações, vide figura 9 do capítulo 3.

²² Algumas OEMs fundadas recentemente ainda não apresentam uma atuação global consolidada. As empresas chinesas, por exemplo, ainda têm sua atuação mais restrita à China, mas há planos de expansão (BOTTA, 2013). A empresa Goldwind vendeu sua primeira turbina fora do mercado chinês em 2008 e abriu sua primeira subsidiária em Chicago em 2011 (SILK et al., 2011). A Impsa também possui atuação concentrada na América Latina (IMPISA, 2014).

OEMs são responsáveis pela produção ou terceirização de alguns componentes e pela montagem dos macro componentes. Os componentes terceirizados são produzidos de acordo com especificações estabelecidas pelas OEMs.

O segmento de torres é caracterizado pela alta intensidade de recursos naturais. As torres são usualmente construídas em aço ou concreto e transportadas em módulos, apresentando em alguns casos sistemas de elevadores. O desenvolvimento de torres, principalmente acima de 100 metros, representa um desafio tecnológico. Mas, em comparação com os demais segmentos, trata-se de uma tecnologia difundida e menos complexa. Assim, a competição tende a ser por custo e, portanto, as inovações tendem a ser em processos e relacionadas à redução de custo²³. Em função do baixo conteúdo tecnológico, do elevado peso e da dificuldade de transporte, a maioria dos fabricantes de aerogeradores opta por encomendar essas torres de fornecedores locais (ABDI, 2012).

Em relação ao processo de manufatura das pás eólicas, trata-se de um processo sofisticado em *design* e intensivo em mão de obra, especialmente nas tarefas de aplicação de várias camadas sucessivas de resina, fibra de vidro e tecidos, bem como no acabamento com polimento e pintura. Segundo ABDI (2012), cerca de metade da produção de pás é feita internamente pelas grandes fabricantes de aerogeradores. Assim, o segmento de produção de pás é concentrado em poucas grandes empresas. Além das empresas fabricantes de aerogeradores que produzem suas próprias pás, há outras duas grandes empresas: a dinamarquesa LM e a brasileira Tecsis²⁴. A competição no segmento é acirrada e as empresas investem bastante em inovação como forma de diferenciação de seus produtos, buscando obter competitividade.

Conforme mencionado, a nacela é o compartimento instalado no alto da torre, responsável por transformar a energia mecânica em energia elétrica. Diferentemente da pá e da torre, não é possível estabelecer um padrão de produção para este componente. A nacela possui componentes de alta tecnologia como a caixa multiplicadora, os geradores, conversores e os sistemas de controle eletrônico, assim como componentes de baixo conteúdo tecnológico, como os transformadores, a cobertura da nacela e as peças forjadas (ABDI, 2012).

²³ Há algumas inovações tecnológicas ligadas à inovação de produto, como as torres treliçadas. Mas de uma maneira geral, neste segmento, as inovações tendem a ser em processos e a competição via custo. Há, por exemplo, algum esforço de inovação na busca de desenvolvimento de novos materiais que reduzam o custo da torre ABDI (2012).

²⁴ Ademais, a fabricação de pás é realizada pela empresa nascente Aeris. O capítulo 6 irá analisar cada uma destas empresas.

Os componentes com baixo conteúdo tecnológico tendem a ser padronizados e oferecidos por um número maior de empresas. Já a fabricação dos componentes tecnologicamente intensivos costuma se concentrar em poucas empresas (ABDI, 2012).

As OEMs tendem a produzir alguns componentes da nacele e terceirizar outros. Merrill Lynch (2007) aponta que os sistemas de controle costumam ser produzidos pela própria OEMs enquanto a caixa multiplicadora, os geradores e conversores tendem a ser terceirizados. Destaca ainda que não é possível generalizar, pois cada OME possui diferentes graus de verticalização. Merrill Lynch (2007), ao analisar as principais OEMs, estabeleceu um *ranking* de acordo com o grau de verticalização da empresa, considerando a nota 10 como o grau máximo de verticalização.

A empresa Alemã Enercon recebeu nota máxima, uma vez que praticamente toda a sua produção dos componentes de turbina é feita *in-house*. A empresa Suzlon (pontuação 9/10) foi a segunda colocada, uma vez que possui uma capacidade considerável para a produção *in-house* dos componentes chave. Os geradores são produzidos em cooperação com a empresa Elin e, em 2006, a Suzlon comprou uma das maiores produtoras de caixa multiplicadora do mundo, a Hansen Transmissions, e adquiriu uma licença para produzir na Índia as caixas multiplicadoras da empresa Winergy. A Suzlon também fabrica as suas pás e possui sistema de controle próprio (MERRILL LYNCH, 2007).

As empresas Gamesa e Siemens ficaram empatadas em terceiro lugar (pontuação 8/10). Ambas as empresas produzem uma parte de suas pás. A Gamesa adquiriu a empresa fabricante de caixa multiplicadora Echesa e a produtora de geradores Cantarey Reinoso, como forma de internalizar a capacitação produtiva destes componentes. Já a empresa Siemens (pontuação 8/10) internalizou, em 2005, a sua produção de caixa multiplicadora através da aquisição da empresa Winergy, umas das mais importantes fornecedoras deste componente. Com a tecnologia Winergy, além de a Siemens produzir caixa multiplicadora para seus aerogeradores, também fornece para diversas OEMs. Em relação aos geradores, a Siemens produz parte deste componente *in-house* e compra uma parcela da empresa ABB (MERRILL LYNCH, 2007).

A dinamarquesa Vestas (pontuação 7/10) possui sistema próprio de controle, mas adquire as caixas multiplicadoras através de quatro fornecedores: Bosch Rexroth, Hansen, Winergy (Siemens) e Moventas (MERRILL LYNCH, 2007). Em 2005, seguindo uma estratégia de verticalização, a Vestas adquiriu a empresa Weier e reforçou

sua capacidade produtiva em geradores (CLIMATE CHANGE BUSINESS JOURNAL, 2008).

Já a empresa alemã Nordex (5/10), apesar dos esforços para expandir sua produção interna de pá eólica, ainda adquire grande parte de suas pás por meio da empresa LM. Tanto suas caixas multiplicadoras quanto seus geradores são adquiridos através de fornecedores. No que se refere a sistemas de controle, uma parte é desenvolvida *in-house* e outra é terceirizada (MERRILL LYNCH, 2007).

A empresa norte-americana Clipper (pontuação 4/10) utiliza as pás da empresa brasileira Tecsis e os geradores da empresa mexicana 'Potencia'. Já as caixas multiplicadoras tendem a ser produzidas *in-house* (MERRILL LYNCH, 2007).

A empresa GE (pontuação 3 /10) é a OEM menos verticalizada. Praticamente todos os componentes chave são adquiridos de fornecedores. A exceção são as caixas multiplicadoras, que são parcialmente produzidas por uma subsidiária da GE, a GE Transportation (MERRILL LYNCH, 2007).

É possível perceber que as OEMs possuem diferentes estratégias produtivas. Camillo (2013) dá continuidade à análise de Merrill Lynch (2007) e afirma que as diferentes estratégias produtivas das empresas são determinadas pela origem do país e pelo momento no qual a empresa entrou na indústria de energia eólica.

Segundo Camillo (2013), as empresas Vestas e Enercon possuem uma estrutura mais verticalizada, pois foram empresas pioneiras e desenvolveram seus aerogeradores a partir de inovações próprias, com *design* específico. Este processo de desenvolvimento demandou produção individualizada de seus componentes. Assim, as referidas empresas produziram internamente grande parte dos componentes chave de suas turbinas desde o início de sua produção. Além do esforço de produção interna, estas empresas precisaram montar uma cadeia de fornecedores especializados, que inexistia. As empresas pioneiras desenvolveram uma relação bastante estreita com seus fornecedores.

Já empresa Gamesa foi uma empresa seguidora e não entrou no mercado com tecnologia própria. Em 1994, a Gamesa fez um acordo de cooperação com a Vestas. A partir de então, a empresa espanhola não incorporou somente a tecnologia, mas também o modelo organizacional e até mesmo os fornecedores especializados da empresa dinamarquesa. A Gamesa adotou o modelo organizacional de produção da Vestas e coordenou o desenvolvimento de uma rede de fornecedores na Espanha (CAMILLO, 2013).

É crucial mencionar que o desenvolvimento da cadeia produtiva de aerogeradores na Espanha foi favorecido por importantes capacitações científicas e tecnológicas que o país havia desenvolvido. Segundo Bolon *et. al.* (2007), as competências oriundas da indústria automobilística e aeronáutica foram essenciais para o desenvolvimento de uma rede de fornecedores aerogeradores na Espanha:

“Supporting industries such as engine and bearing manufacturers are grounded in Spain’s historical strength as an automobile and aircraft production site” (p. 20, BOLON et al).

A indiana Suzlon também é uma empresa seguidora que entrou no mercado de turbinas através de um acordo de cooperação tecnológica com uma empresa alemã, em meados da década de 1990. Camillo (2013) aponta que diferentemente da Gamesa, a Suzlon não tinha uma rede local de fornecedores especializados ou acesso aos fornecedores de ponta. Segundo a autora, o sistema local de inovação indiano não acompanhou o ritmo de desenvolvimento da empresa. Assim, a Suzlon foi incorporando competências ao longo do tempo por meio de diversos acordos tecnológicos e aquisições de outras empresas, tornando-se uma das empresas mais verticalizadas²⁵.

Já a norte-americana GE também entrou tardiamente na produção de aerogeradores e decidiu terceirizar grande parte dos componentes, o que é coerente com o perfil da empresa. A GE possui uma larga experiência na administração de diferentes fornecedores, adquirida durante anos de experiência em diversas áreas de negócio. Adicionalmente, os EUA detinham uma forte base industrial que permitia um rápido desenvolvimento de uma rede de fornecedores. Assim, a empresa aproveitou a forte base industrial do país e sua competência acumulada e se tornou uma das empresas menos verticalizadas na produção de turbinas eólica (CAMILLO, 2013).

As empresas chinesas, que a autora classifica como entrantes de quarta geração, também entraram tardiamente na produção de aerogeradores e são caracterizadas como empresas pouco verticalizadas²⁶. Lema *et al.* (2011) mostram que o modelo de produção

²⁵ A Suzlon investiu em licenciamento de tecnologias, acordos de cooperação de tecnologia, contratos e aquisições de empresas chave na cadeia eólica. Os acordos previam o suporte técnico para a produção de macrocomponentes, como a fabricação de pás. Adicionalmente a Suzlon participou de *joint-ventures* com fabricantes de componentes essenciais, como a realizada com a fabricante australiana de aerogeradores Elin EBG Motoren GmbH em 2005. Essa *joint-venture* resultou na abertura de uma filial da Suzlon para a fabricação desses componentes, com participação de 74,9% da fabricante indiana. A Suzlon também realizou algumas importantes aquisições, como a compra belga Hasen, em 2005, a segunda maior fabricante de multiplicadores de velocidade do mundo na época. Para maiores detalhes ver Camillo (2013), Lema (2011) e Merrill Lynch (2007).

²⁶ Merrill Lynch (2007) não incluiu as empresas chinesas no seu *ranking*, pois estas não estavam dentre as maiores empresas do setor na época da publicação do trabalho. Porém, utilizando os critérios definidos

das empresas chinesas rompe a estrutura de produção vigente no setor. Conforme mostrado, as empresas européias desenvolveram aerogeradores específicos, que necessitavam de componentes específicos, produzidos *in-house* ou através de fornecedores treinados pelas OEMs. Já as empresas chinesas desenvolveram aerogeradores padrões, que permitiram o desenvolvimento de uma cadeia produtiva local de turbinas relativamente padronizada. Este modelo de produção permitiu a constituição de uma base comum de suprimento de componentes (LEWIS, 2007).

Segundo Lema *et al.* (2011), o modelo de produção chinesa de aerogeradores é caracterizado por uma ‘especialização flexível e uma desintegração vertical’:

“The supply-chain relations described here constitute a ‘Chinese model’ of organisation. In terms of value-chain governance, the Chinese wind turbine industry resembles a flexible ‘modular’ value chain structure where relationships are typically short-term and competition amongst substitutable suppliers drives down costs. This contrasts with the European model (e.g. Vestas), in which the majority of components are produced in-house, and long-term relations exist with the suppliers of remaining components” (p. 57, LEMA *et al.*, 2011).

A forte competição na cadeia de fornecedores e os ganhos de escala alcançados em função da padronização da cadeia de fornecimento pressionaram o preço do aerogerador para baixo. Dessa forma, o preço médio praticado pelas OEMs chinesas no mercado local equivale a quase metade do preço médio praticado pelas OEMs europeias em seus próprios mercados e, quando exportadas para o mercado europeu, as turbinas chinesas podem ser 20% mais baratas do que os equipamentos locais²⁷ (ROLAND BERGER, 2011; LEMA ET. AL 2011).

Camillo (2013) aponta a entrada das empresas chinesas no mercado global como um dos fatores responsáveis pela redução dos preços das turbinas eólicas. Esse cenário tem forçado as OEMs europeias e norte-americanas a buscarem inovações que diferenciem seus produtos e que reduzam os custos de suas turbinas. Estas OEMs estão investindo pesadamente em melhoramentos no *design* dos principais componentes da turbina, no uso de novos materiais, assim como no emprego cada vez maior de

por Merrill Lynch (2007), as empresas chinesas provavelmente estariam com a pontuação mais baixa do setor. Camillo (2013) não incluiu a empresa Siemens na sua análise. Os motivos que levaram a Siemens a se tornarem uma empresa altamente verticalizadas não foram analisados.

²⁷ Nesta comparação já estão incluídos os custos de transporte, da torre e outros componentes locais utilizados na montagem.

fornecedores locais. Assim, foi verificada uma redução expressiva de preços entre 2008 e 2011: o preço médio global das turbinas caiu 22%.

É preciso salientar que o sucesso do caso chinês não se deve apenas ao novo modelo de produção introduzido, mas também à atuação do Estado chinês, que introduziu uma gama de incentivos tanto para a introdução da fonte eólica no país quanto para o desenvolvimento nacional de tecnologia do aerogerador. O modelo chinês de produção de turbinas eólicas está, portanto, inserido em um projeto mais amplo do Estado chinês de desenvolvimento, calcado na promoção de capacitações produtivas e tecnológicas em áreas chave (LEWIS, WISER, 2007).

Alguns aspectos deste projeto merecem ser ressaltados. As primeiras empresas de aerogeradores na China eram subsidiárias de transnacionais, que se associavam a empresas locais. A criação de *joint-ventures* era condição necessária para as transnacionais terem acesso ao mercado chinês. Após importantes processos de aprendizagem nas *joint-ventures*, as primeiras OEMs chinesas foram surgindo. Inicialmente as empresas chinesas possuíam forte dependência da importação de componentes essenciais, especialmente os de maior valor agregado. Porém, à medida que a rede de fornecedores se consolidava, o percentual de conteúdo local das turbinas foi sendo ampliado. Atualmente, este percentual varia de 70 a 90%, dependendo do tamanho do equipamento²⁸ (LEWIS, 2011). Além de expandir a produção para os itens de maior complexidade tecnológica, as empresas chinesas avançam na elaboração de projetos e no desenho das turbinas eólicas.

Outro aspecto interessante em relação às OEMs chinesas é que inicialmente estas empresas se especializavam em turbinas de médio porte, que, além de serem menos complexas, não competem no mercado internacional²⁹. Este momento inicial representou um importante processo de aprendizagem para as empresas chinesas.

2.6. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo a apresentação da indústria eólica no mundo. Primeiramente, a evolução histórica do uso de equipamentos com objetivo de captar

²⁸ O maior percentual de componentes importados está nas turbinas maiores (de 2 MW), que atendem o mercado internacional.

²⁹ Mais de dois terços da capacidade instalada em geração de energia eólica na China compõem-se de turbinas de médio porte. A tecnologia padrão das empresas chinesas que atendem o mercado doméstico e que não concorrem no mercado internacional é de turbinas de 1,5 MW (LIU; KOKKO, 2010).

energia do vento foi descrita de forma breve. A intenção era sublinhar o intenso processo de inovações tecnológicas que deu origem aos aerogeradores que atualmente operam nos parques eólicos. A evolução da trajetória tecnológica continua bastante dinâmica e os principais desafios são relacionados aos processos de *scaling up*.

Em seguida, foram definidas as fronteiras da indústria eólica e os atores que a compõem. Definiu-se que a pesquisa se restringirá aos fabricantes de aerogeradores, também conhecidos como *Original Equipment Manufacturers* – OEMs.

As OEMs constituem um oligopólio formado por grandes empresas. Mesmo com a recente tendência de consolidação de novas, as dez maiores fabricantes mundiais de aerogeradores concentram mais da metade da produção de aerogeradores.

As OEMs investem pesadamente em inovações como forma de diferenciar seus produtos. Apesar da semelhança entre os modelos de produção, diferenças em alguns componentes essenciais alteram significativamente o rendimento das turbinas. As principais características das estratégias de produção das OEMs foram descritas com intuito de evidenciar que cada uma é diferente e apresenta níveis de verticalização distintos.

O desenvolvimento do mercado doméstico tem sido essencial para a estruturação e consolidação das OEMs. Apesar de praticamente todas essas empresas serem transnacionais e atuarem de maneira global, suas evoluções têm sido ancoradas pelo mercado doméstico. Adicionalmente, os Estados de origem das OEMs adotaram diversos mecanismos de políticas industriais, tecnológicas e energéticas que apoiam o desenvolvimento de uma indústria eólica nacional. O próximo capítulo apresenta os principais elementos da política industrial e de inovação e os instrumentos que foram utilizados pelos principais governos no apoio ao desenvolvimento da indústria eólica no mundo.

CAPÍTULO 3 - POLÍTICAS DE APOIO À ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

“Government’s role is not only in creating knowledge (through national labs and universities) but also mobilizing resources, and allowing knowledge and innovation to diffuse across sectors and the economy, either through existing networks or by facilitating new ones”.

(MAZZUCATO, 2011, p.69)

3.1. INTRODUÇÃO

A atuação dos Estados tem sido central para o desenvolvimento da energia eólica no mundo. Ao longo de décadas, os governos de diferentes países têm adotado diferentes políticas de incentivo para acelerar a implantação de energia renovável em todo o mundo. Tais políticas não são uniformes, apresentando variações de acordo com o país de origem e sofrendo alterações ao longo do tempo.

Nas décadas de 1970 e de 1980, a ênfase destas políticas foi para o apoio a projetos de desenvolvimento científico e tecnológico. Assim, países como Dinamarca e EUA, implementaram programas de P&D para energia eólica. No final da década de 1980 e ao longo da década de 1990, políticas energéticas que garantiam uma parcela do mercado de eletricidade para a fonte eólica e ofereciam uma tarifa prêmio para esta fonte também foram sendo implementadas em diversos países (ZAHNG, 2013). Tais mecanismos visavam apoiar os investidores do setor eólico e os geradores de energia.

Nas últimas décadas, a atuação dos governos foi ampliada e incluiu o apoio ao desenvolvimento de equipamentos eólicos. Diversos centros de pesquisa, estações de testes de equipamentos, programas de padronização e certificação de turbinas foram apoiados por diferentes governos nacionais. Adicionalmente, muitos países também recorrem a instrumentos tradicionais de políticas industriais tais como: proteção do mercado nacional, adoção de um índice mínimo de conteúdo local para as turbinas eólicas e incentivos à exportação de equipamentos.³⁰

O objetivo deste capítulo é descrever de forma sucinta os principais instrumentos que foram utilizados pelos governos no apoio ao desenvolvimento da indústria eólica.

³⁰ Ver, por exemplo, Sawin (2001); Lewis e Wiser (2007) e Bergek *et al* (2007).

Esta análise serve como uma ilustração para os elementos abordados nos capítulos anteriores de forma conceitual e para evidenciar a importância das políticas públicas como direcionadores no desenvolvimento da indústria eólica. Ademais, a análise histórica também coloca em perspectiva o caso de estudo brasileiro, que é o foco desta tese, e será desenvolvido na parte III³¹.

Para dar base à análise realizada, foram selecionados alguns países para serem analisados de forma a englobar os casos mais significativos de política na indústria eólica, quais sejam: Dinamarca, Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Índia e China.

A Dinamarca e os Estados Unidos foram selecionados por terem sido pioneiros. A Dinamarca é um país pequeno e não está entre os líderes de capacidade instalada de energia eólica em termos absolutos, mas o país possui a matriz energética com maior participação de energia eólica do mundo: 20% da eletricidade deste país é oriunda do vento (IEA, 2012). Os EUA concentram a segunda maior capacidade instalada de energia eólica (IEA, 2007 e IEA, 2013).

A Alemanha merece ser estudada por diversos motivos. Este país foi pioneiro na adoção de tarifas prêmio e a experiência alemã passou a ser uma referência para diversos países que vieram a adotar políticas de apoio à indústria eólica. Adicionalmente, a Alemanha desenvolveu uma forte base industrial de equipamentos eólicos e introduziu importantes inovações tecnológicas neste segmento. Ainda, o país concentra a terceira maior capacidade instalada de energia eólica no mundo (IRENA 2012; IEA, 2013).

A Espanha possui uma história interessante em energia eólica tanto por ser um *latecomer*, quanto devido à implementação de políticas direcionadas ao mesmo tempo à produção de aerogeradores e à instalação de parques. Atualmente a Espanha é a quarta colocada em capacidade instalada desta fonte de energia (LEWIS, 2009, IRENA 2012 e IEA, 2013).

A Índia e a China são importantes participantes da indústria eólica global e, diferentemente dos outros países selecionados, são países emergentes. Ambos os países começaram a investir em energia eólica ainda na década de 1980, porém de forma tímida, e apenas nos anos 2000 se tornam líderes globais (IRENA, 2012; LEWIS, 2009).

³¹ A fim de estruturar os casos de estudos internacionais, nos apoiamos em uma estrutura de análise próxima a desenvolvida por Camillo (2013).

A China é um caso extraordinário em energia eólica, uma vez que o país se tornou líder em capacidade instalada e suas empresas se tornaram líderes globais em um espaço de tempo extremamente curto. Outro aspecto interessante presente nesses dois países refere-se ao impacto da crise internacional sobre o mercado de eólica e a produção de aerogeradores. Enquanto nos quatro primeiros países a crise internacional significou uma retração nesta indústria, nos dois últimos o efeito foi fortemente positivo (LEWIS, 2011; BOTTA, 2013; LEMA *et al.* 2013). Dessa forma, acredita-se que o conjunto destes seis países engloba os casos mais significativos de política na indústria eólica. O intuito de analisar tais experiências internacionais é apresentar um conjunto de referências para servir de base a análise do caso brasileiro, que é descrito na parte III da tese.

O presente capítulo está dividido em três seções, além desta introdução. A próxima seção apresenta uma breve discussão sobre os principais instrumentos que apoiaram a indústria eólica no mundo. Em seguida, a experiência dos seis países é apresentada. A quarta seção encerra o capítulo apresentando uma breve síntese.

3.2. PRINCIPAIS INSTRUMENTOS DE APOIO À INDÚSTRIA EÓLICA

Esta seção apresenta os principais mecanismos de promoção à energia eólica e abre a discussão para os aspectos que devem ser considerados no desenvolvimento de instrumentos de política voltados para esta fonte de energia.

A literatura especializada como as publicações dos organismos internacionais de energia, i.e., *Global Wind Energy Council (GWEC)*, *European Wind Energy Association (EWEA)* e o *American Wind Energy Association (AWEA)*, classificam as políticas de apoio à energia eólica em três categorias: políticas tecnológicas³², de organização e regulação de mercados e industriais. No caso das políticas tecnológicas, incluem-se os programas de P&D, especialmente nas fases iniciais do desenvolvimento da tecnologia, bem como instrumentos voltados para promoção da interação e da criação de vínculos entre os principais atores da indústria. As políticas de organização e regulação de mercado são as voltadas à criação e à consolidação da demanda e da oferta

³² Raramente o termo políticas de CTI é empregado nas publicações internacionais e especializadas em energia eólica. Tais publicações chamam de políticas tecnológicas ou até mesmo de políticas científicas. Camillo (2013), por exemplo, usa o termo política científica.

de energia eólica. Tais políticas podem ser baseadas em mecanismos de estabelecimento de cotas para a fonte eólica ou no estabelecimento de uma tarifa prêmio que estimula a inserção desta fonte na matriz energética. De forma simplificada, estas são chamadas simplesmente de políticas de mercado. Na categoria de políticas industriais, incluem-se medidas de proteção à indústria local ou de estímulo à criação de mercados externos.

Este tipo de classificação será adotado na análise que se segue, como forma de dialogar com a literatura da área. Porém, ressalvas são necessárias. A mais importante refere-se ao fato de que as políticas de organização e regulação de mercado partem, fundamentalmente, de um marco conceitual (a teoria neoclássica) que apenas admite a intervenção pública para sanar eventuais falhas de mercado. As demais são normalmente amparadas por um arcabouço teórico diverso, o evolucionário, que não só aceita, mas julga fundamental a intervenção pública acentuada, em especial para o surgimento e consolidação de novos paradigmas tecnológicos, como o da energia eólica (LUNDVALL, BORRAS, 2006; CASSIOLATO, LASTRES 2005). Todas as formas, porém, possuem forte interferência na evolução da estrutura produtiva e industrial. Mais ainda, não há incompatibilidade entre esta classificação e a apresentada na parte I da tese, na qual as políticas são separadas em implícitas e explícitas. Usando a terminologia desenvolvida por Herrera (1970), as políticas tecnológicas e uma boa parte das políticas indústrias seriam as políticas explícitas enquanto uma parte das políticas industriais e as políticas de organização e regulação do mercado seriam políticas implícitas.

As políticas de regulação e organização do mercado visam criar um mercado cativo para novas tecnologias e têm sido amplamente utilizadas como forma de estímulo ao desenvolvimento das energias renováveis desde a década de 1970. Os primeiros países a adotarem tais políticas foram os EUA e Dinamarca (SAWIN, 2001; JORGENSEN, KARNOE, 1995). A partir dos anos 2000, tais mecanismos se difundiram, principalmente entre os países europeus (MEYER, 2003; COSTA, 2006).

Os mecanismos de mercado podem ser baseados em preço ou quantidade. No primeiro caso, os governos estabelecem tarifas prêmio (*feed-in tariffs*), que remuneram os geradores de energia a um preço acima do mercado, de forma a compensar os produtores pelo elevado custo de produção desta fonte de energia. Dessa forma, as concessionárias de energia são obrigadas a comprar a eletricidade destas fontes de energia por esta tarifa prêmio (HVELPLUND 200; LIPP 2007). Segundo Dutra (2007), as tarifas do sistema *feed-in* podem ser calculadas com base nos custos evitados pela

não utilização de fontes de energia não renováveis³³ ou podem ser ajustadas de forma a encorajar a produção energética dentro de metas estabelecidas pelo governo, sem que este nível tenha nenhuma relação com os custos ou preços das fontes de energia fóssil.

As tarifas determinadas pelo sistema *feed-in* geralmente são fixadas por períodos longos de tempo, proporcionando aos produtores garantia de retorno por períodos que tendem a variar de 10 a 20 anos. Segundo Zahng (2013), as tarifas prêmio aplicadas às fontes renováveis tornam estas fontes competitivas em relação a fontes fósseis.

O custo do subsídio pode ser partilhado entre todos os consumidores de eletricidade, como ocorre na Espanha e na Itália, ou somente por aqueles cuja concessionária local é obrigada a comprar eletricidade destas fontes, como ocorre na Alemanha desde 2000 (LIPP, 2007).

Além do sistema de tarifa prêmio, na qual a variável em que o governo atua é o preço, há mecanismos que determinam a quantidade de energia eólica a ser contratada. Os mecanismos baseados em quantidade podem ser de dois tipos: imposição de cotas ou sistema de leilão.

No Sistema de Cotas, a lei determina que um percentual da eletricidade produzida e consumida deve se originar de uma determinada fonte de energia. Ou seja, no caso da energia eólica, determina-se uma cota de energia que deve ser advinda da fonte eólica, ficando o mercado responsável por determinar o preço. Nesse sistema, os agentes de mercado têm algumas opções para cumprir suas metas, podendo adquirir energia eólica de produtores independentes em contratos de longo prazo ou construir seus próprios parques eólicos, além da possibilidade de comprar certificados. Os certificados representam certa quantidade de energia eólica produzida e podem ser comercializados entre as concessionárias. Este mecanismo é equivalente ao famoso crédito de carbono, onde os agentes podem reduzir sua poluição ou comprar certificados de outros agentes que reduziram suas emissões além de sua cota. Ele permite que uma quantidade global de redução de poluição seja alcançada a um menor custo. De forma análoga, os defensores dos mecanismos de negociação de certificados afirmam que pode ser alcançada uma meta nacional de produção de energia eólica a um menor custo

³³ Os custos associados aos combustíveis fósseis seriam elevados, pois incluiriam os custos ambientais. Assim, ao evitar os combustíveis fósseis, os custos ambientais associados a esta fonte também são evitados. Então, segundo Dutra (2007), a tarifa prêmio associada a fontes renováveis pode ser relacionada com os custos evitados dos combustíveis fósseis. Porém, o autor mostra que muitas vezes a tarifa é calculada baseada nas metas de energia renovável que o governo deseja inserir e sua matriz energética.

(BUTLER, NEUHOFF, 2004). Os defensores da liberdade de mercado costumam defender este mecanismo em detrimento às tarifas-prêmio.

Ainda, dentre os mecanismos de criação de mercado por quantidade, têm-se também os sistemas de leilão. Da mesma forma que o sistema de cotas, neste mecanismo, uma fatia do mercado de eletricidade também é garantida para uma determinada fonte pelo órgão regulador (BUTLER, NEUHOFF 2004).

No caso de leilão, além de definir a dimensão da reserva de mercado para uma determina fonte, o regulador também organiza o processo de competição entre os produtores para fornecimento do montante previamente reservado (DUTRA, 2007). No procedimento de leilão, as propostas dos produtores de energia eólica são então classificadas em ordem crescente de preço do kWh estipulado em cada projeto. O regulador começa contratando os projetos que possuem os preços kWh de energia mais baixos até alcançar a quantidade a ser contratada (MELO *et al.*, 2010).

As concessionárias de energia elétrica ficam então obrigadas a pagar aos produtores participantes do leilão o montante de energia gerada pela tarifa definida no leilão e os produtores têm a garantia de pagamento no montante estipulado por um tempo razoavelmente longo, normalmente de 10 a 20 anos (DUTRA, 2007).

Para que o sistema de leilão seja considerado um incentivo para as fontes de energia menos competitivas, é necessário que os certames sejam exclusivos para estas fontes. No caso de diversas fontes competindo, as fontes que apresentarem os menores preços ou os menores custos marginais ganharão. Assim, é possível que apenas uma determinada tecnologia vença o certame: a que estiver em estágio mais avançado tecnologicamente. O mesmo ocorre para o sistema de cotas: caso um país estabeleça que uma cota de sua eletricidade seja de fontes renováveis sem especificar percentuais para cada fonte, é possível que apenas algumas fontes de energia sejam incentivadas (MELO *et al.*, 2010).

Porém quando aplicado a uma determinada fonte, o sistema de leilão oferece um ambiente protegido da competição das fontes tradicionais de energia. Adicionalmente, oferece ao gerador de energia uma garantia de demanda por um prazo longo. Porém, nas últimas duas décadas, os leilões foram os instrumentos menos populares entre os países que buscam criar uma reserva de mercado para as fontes de energia menos competitivas. O Reino Unido empregou esse mecanismo durante a década de 1990, mas o substituiu pelo Sistema de Cotas no ano 2000. Alguns fatores, como a elevada incerteza em relação à rentabilidade do projeto e os elevados custos de preparação para participação

no leilão, estão entre os principais fatores que justificam os fracos resultados desse mecanismo de incentivo (FOXON, PEARSON 2007; MENANTAU, 2000).

Historicamente, a tarifa-prêmio, o sistema de cotas e o sistema de leilão foram os três instrumentos de políticas de mercado mais utilizados pelos países para apoiar os investidores do setor eólico e os geradores de energia no desenvolvimento da energia eólica no mundo (DUTRA, 2007).

A literatura acadêmica, em particular a de origem neoclássica é consensual com relação à importância dos mecanismos de organização e regulação de mercado. Dentro da perspectiva neoclássica, o debate volta-se basicamente para quais mecanismos de organização e regulação de mercado são mais eficientes. Há uma quantidade extensa de estudos sobre os benefícios da tarifa-prêmio e sobre a adoção do sistema de Cotas. Alguns desses estudos (AGNOLUCCI, 2007; BUTLER, NEUHOFF 2008; LESSER; SU, 2010; COUTURE, GAGNON 2010) sugerem que a adoção de tarifas-prêmio é o mecanismo mais eficiente de penetração de fontes de energia uma vez que reduz significativamente os riscos dos investidores. Já os defensores do Sistema de Cotas criticam o elevado custo da tarifa-prêmio e afirmam que o sistema de Cotas consegue apoiar o desenvolvimento de fontes energéticas não consolidadas, como a eólica, a um menor custo (SIMAS, 2012).

Há estudos que afirmam que os instrumentos de organização e regulação do mercado devem ser escolhidos em função do estágio de desenvolvimento da tecnologia. Dutra (2007), por exemplo, sugere que a adoção de tarifas-prêmio é o mecanismo mais eficiente quando a fonte de energia está num estágio inicial de desenvolvimento, enquanto a adoção de quotas e metas de energias renováveis é indicada quando tais tecnologias já estão mais maduras.

A abordagem neoclássica é extremamente crítica da perspectiva discute a eficiência dos mecanismos de políticas públicas como incentivo legítimo a industrialização. Para a abordagem em questão, apenas a correção de falhas de mercado que impedem a competição entre as fontes de energia nascentes e as fontes tradicionais deve ser considerada. Contudo, mesmo considerando apenas estes objetivos restritos as políticas de incentivo a energia renováveis é considerado legítimo. Exemplo desta linha de raciocínio encontra-se nas recomendações de política da *International Energy Agency* (IEA)³⁴.

³⁴ Um exemplo destas recomendações pode ser encontrada no IEA (1998) onde o relatório explicitamente chama atenção aos limites da atuação das políticas de governo. Este relatório deixa bem claro a função

De acordo com esta linha teórica, autores como Frondel *et al.* (2010) e Hillebrand *et al.* (2006) chamam atenção que as políticas industriais e tecnológicas baseadas em subsídios governamentais podem ter impactos negativos sobre a economia, por tornar o custo da energia mais cara e obter benefícios pouco mensuráveis.

Porém, apesar de criticada na literatura e pelos organismos internacionais, políticas industriais e tecnológicas têm sido adotadas pelos diferentes países e diversos mecanismos de apoio ao desenvolvimento tecnológico e industrial têm sido implementados (JONES, BOUAMANE 2011; SANDEN, AZAR, 2005). Apoio à implantação de centros de pesquisa, programas de padronização e de certificação de turbinas, a criação de estações de testes de equipamentos, incentivos à exportação de equipamentos e a proteção da indústria local de equipamentos eólicos são exemplos dos mecanismos de política industrial e tecnológica adotados por diversos países (TSOUTOS, STAMBOULIS, 2005). Os EUA, por exemplo, adotaram uma gama de instrumentos de políticas que apoiavam, não somente o desenvolvimento do mercado eólico norte-americano, como também o desenvolvimento industrial e tecnológico dos equipamentos desta fonte. Segundo Loiter & Norberg-Boom, (1999), o governo deste país teve importante participação na maioria das inovações radicais relacionada à indústria de energia eólica dos Estados Unidos (BIRDA *et al.*, 2005).

Assim, a próxima seção apresenta as principais políticas implementadas por seis países selecionados: Dinamarca, EUA, Alemanha, Espanha, Índia e China.

3.3. PANORAMA HISTÓRICO

3.3.1. Dinamarca

O Estado dinamarquês foi um dos pioneiros no apoio ao desenvolvimento de aerogeradores com a finalidade de geração de energia elétrica. Há registros de que o país já utilizava a energia dos ventos desde 1890, mas foi apenas em 1976, depois do primeiro choque internacional do petróleo, que o governo dinamarquês decidiu iniciar investimentos em energias renováveis. Em 1973, ano que estourou a primeira crise de

das políticas públicas como corretoras das falhas de mercado, estas definidas como presença de uso ineficiente dos recursos.

petróleo, a matriz energética da Dinamarca era composta 90% de petróleo (IRENA, 2012).

Assim, o governo dinamarquês passou a apoiar projetos de P&D com foco na redução da vulnerabilidade da matriz energética dinamarquesa. As primeiras iniciativas do governo dinamarquês foram no sentido de apoiar pesquisa básica e aplicada em projetos eólicos. O *Energy Research Program* (EEP), por exemplo, tinha como objetivo investir na pesquisa como caminho para a criação de avanços tecnológicos que reduzissem a dependência de combustíveis fósseis. Esse programa, instituído na década de 1970, era executado por meio de projetos cooperativos entre instituição de pesquisa, indústria de equipamentos e concessionária (MENANTEAU, 2000).

Em 1976, a Dinamarca instalou a primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública no mundo (COSTA et al., 2009). Até o início da década de 1980, a Dinamarca já produzia turbinas eólicas maiores que 55KW. O modelo de produção que se desenvolveu era predominantemente de cooperativas locais. A partir da lei de 1976 que incentivava a produção de energia local, os agricultores foram os primeiros a investir na fabricação de aerogeradores com intuito de gerar sua própria energia. Como estas turbinas tinham um custo elevado, sua produção se desenvolveu dentro do modelo de cooperativas locais (IRENA, 2012).

Em 1981, a Dinamarca lançou seu segundo plano de energia, que estabeleceu as bases para o rápido crescimento do mercado local de energia renovável. O governo dinamarquês estabeleceu um adicional fixo à remuneração da eletricidade por kWh, baseado no valor dos impostos cobrados sobre a eletricidade produzida por combustíveis fósseis. Em 1984, os órgãos reguladores do setor elétrico e as concessionárias chegaram a um acordo voluntário sobre pagamento da energia eólica. Esta pode ser considerada a primeira versão da tarifa-prêmio (HEYMANN, 1998).

Uma série de subsídios foi dada para a construção dos parques eólicos. Os subsídios eram inicialmente de 30% dos custos de instalação, mas foram progressivamente reduzidos para 20% e, em seguida, para 10%. Em 1988, tais subsídios foram revogados. Além dos subsídios para a construção e operação de turbinas eólicas e impostos sobre o petróleo e carvão, uma gama de incentivos fiscais foram oferecidos a famílias que geravam energia eólica em suas comunidades ao longo da década de 1980. Como resultado, um número crescente de pequenas cooperativas de turbinas eólicas começou a se consolidar no país (IRENA, 2012).

A produção de turbinas eólicas dinamarquesas naquela época foi favorecida pelo

desenvolvido do mercado eólico na Califórnia, EUA. Como será visto adiante, no final de década de 1970 e na primeira metade da década de 1980, o estado da Califórnia desenvolveu um importante mercado de energia eólica e importou turbinas da Dinamarca (SAWIN, 2001).

Em 1985, o Ministério da Energia acordou com as concessionárias de energia metas de energia eólica a serem alcançadas de forma progressiva: 100MW energia eólica até 1990 e 200 MW em 2000. Este acordo foi um importante apoio à indústria eólica local, pois a mesma atravessava fase em que as suas vendas no exterior tinham sofrido reduções, principalmente em função do desaquecimento do mercado californiano. No mesmo ano, em função de fortes pressões contra a energia nuclear, a Dinamarca decidiu abandonar os investimentos em energia nuclear. A energia eólica foi considerada sua substituta e passou a ser a fonte de energia mais apoiada pelo governo dinamarquês (IRENA, 2012).

Em 1990, a Dinamarca estabeleceu um plano de energia, implementando uma meta de redução das emissões de CO₂ dinamarqueses em 20% entre 1990 e 2005. Adicionalmente, estabelecia metas específicas para energia eólica: 10% da eletricidade do país deveriam originar-se das turbinas eólicas até 2005. Esse objetivo foi alcançado em 1997 (COSTA et al., 2009). Este plano de energia foi um dos primeiros do mundo sem energia nuclear.

Um ano depois, foi introduzido um sistema similar a tarifa-prêmio. O sistema dinamarquês dissociava o preço de compra da fonte eólica da tarifa de energia elétrica existente. O preço pago pela eletricidade produzida a partir de turbinas eólicas foi fixado em 85% dos custos de produção. Porém, os projetos de energia eólica recebiam reembolsos dos impostos sobre o carbono dinamarquês (total) e sobre a energia (parcial), o que resultava em um pagamento em dobro para projetos eólicos nos primeiros cinco anos de sua operação (BOLINGER, 2001).

Este mecanismo foi extremamente eficiente, pois garantia receitas estáveis para o produtor, contribuindo para a expansão da indústria eólica na Dinamarca. Porém, além das políticas de mercado, o governo também adotou diversas políticas industriais e tecnológicas. O apoio a P&D, por exemplo, se constituiu, desde o início, um dos pilares do desenvolvimento da indústria eólica na Dinamarca (BOLINGER, 2001).

A Dinamarca se diferenciou dos demais países pioneiros (EUA e Alemanha) pela estabilidade dos seus programas de P&D e pelo fato de o governo nunca ter deixado de apoiar a pesquisa básica. Em 2008, por exemplo, o governo comprometeu-se

a aumentar o financiamento de P&D em eólica para 135 milhões de euros por ano (SAWIN, 2001).

Além de apoio a P&D, os programas de padronização e certificação de qualidade das turbinas são essenciais para as políticas de inovação em energia eólica. As normas de qualidade estipuladas no âmbito do programa guiam os esforços de P&D da indústria. A Dinamarca foi o primeiro país a exigir a certificação dos equipamentos, já em 1979, e utilizou seu pioneirismo para criar uma barreira tecnológica implícita de acesso ao mercado local. Ao impor parâmetros rigorosos de padronização de certificação de qualidade para todas as turbinas a serem instaladas em solo dinamarquês, o país protegeu seu mercado doméstico. Entre 1991 e 2004, todas as turbinas produzidas e instaladas na Dinamarca eram obrigadas a obter um certificado de garantia da *Danish Wind Turbine Guarantee S.A.* (BUEN, 2006).

Outra medida adotada pela Dinamarca para proteger a indústria nacional de equipamentos eólicos foi a disponibilidade de financiamento, com juros favoráveis, para projetos de parques eólicos que usavam turbinas nacionais. Com a consolidação da liderança tecnológica da Dinamarca no mercado internacional, esses programas foram sendo substituídos por outros que focavam em garantias de crédito para a exportação (BUEN, 2006).

Por fim, é importante destacar a importância dos centros de pesquisa para o desenvolvimento da indústria dinamarquesa. A Dinamarca desenvolveu grandes centros de pesquisa em energia eólica que atuam em todos os estágios da pesquisa em energia eólica: pesquisa, *design*, testes de campo e demonstração. Por possuírem uma importante infraestrutura, também atraem fabricantes de turbinas, concessionárias de energia eólica e até mesmo outras instituições de pesquisa. O *Risø National Laboratory for Sustainable Energy (Risø DTU)*³⁵, principal centro de pesquisa em energias renováveis da Dinamarca, por exemplo, coordenou vários projetos demonstrativos e de testes de campo e teve importante participação no desenvolvimento dos processos de padronização e certificação da indústria eólica (HEYMANN, 1998).

Além da relação com as fabricantes de turbinas e as concessionárias de eletricidade, esses centros mantêm uma forte relação com as universidades locais, tendo se tornado atores centrais do Sistema Nacional de energia eólica na Dinamarca,

35 Na época em que foi criado se chamava simplesmente Risø National Laboratory

funcionando como *locus* de interação entre os agentes da indústria eólica dinamarquesa (MEYER, 1995).

Neste sentido, podemos chamar atenção para o papel institucional e de coordenação dos centros de pesquisas especializados em energia eólica, por exemplo, *Risø National Laboratory*. Este centro é local de coordenação dos agentes permitindo a cooperação dos agentes de diversas partes da cadeia da indústria da energia eólica desde a pesquisa e desenvolvimento até as discussões da interação com outras fontes de energia e planejamento da rede de transmissão para integração da energia eólica no sistema³⁶.

A Dinamarca foi, portanto, a pioneira no desenvolvimento tecnológico de equipamentos eólicos e se mantém até hoje entre os principais produtores.

Em 1996, havia cerca de 2100 cooperativas em todo o país, o que criou a base para a continuação do apoio popular para a energia eólica na Dinamarca. A empresa Vestas também produzia inicialmente máquinas agrícolas e se estabeleceu como a maior OEM por décadas. O desenvolvimento do sistema produtivo de equipamentos eólicos na Dinamarca teve, principalmente nas primeiras décadas, forte influência do meio rural (MEYER, 1995).

Outra característica relevante da evolução do sistema produtivo dinamarquês é o fato de que as grandes empresas dinamarquesas de energia eólica nasceram inicialmente com uma vocação diferente, ingressando no setor eólico motivadas pelos incentivos governamentais. O governo dinamarquês foi extremamente eficiente na mobilização de capacitações tecnológicas existentes para desenvolver uma indústria nacional de energia eólica. Em 2010, a Dinamarca contava com 180 empresas no ramo, empregando mais de 20 mil pessoas internamente e movimentando US\$ 4,4 bilhões anuais (COSTA et al., 2009).

3.3.2. Alemanha

Assim, como a Dinamarca, as discussões sobre a geração de eletricidade sustentável na Alemanha começaram a partir das crises do petróleo de 1973 e 1979. Durante a década de 1970, os esforços governamentais alemães se concentraram no

³⁶ Para um exemplo dos relatórios da Riso, cujo o papel na coordenação e planificação é central ver Petersen *et al.* (1981) e Mortensen (2012).

apoio à pesquisa básica e aplicada. Durante esta década, um montante significativo de recursos foi destinado às empresas e às instituições acadêmicas para o desenvolvimento ou testes de aerogeradores de pequeno ou de médio porte. Porém, diferentemente da Dinamarca, a Alemanha reduziu drasticamente os recursos públicos para P&D em eólica quando os preços do petróleo se reduziram (LAUBER, MEZ, 2006).

Nas discussões acerca da vulnerabilidade da matriz energética alemã ao petróleo, ainda predominavam na Alemanha as propostas que defendiam a intensificação do carvão e da energia nuclear até meados dos anos 1980. No entanto, durante a década de 1980, alguns eventos, como o acidente de Chernobyl, mudaram esta perspectiva. Este acidente teve um profundo impacto sobre a opinião pública e, posteriormente, sobre as políticas de energia alemã (JACOBSSON, LAUBERB, 2006).

Diferentemente da energia nuclear, que sempre encontrou resistência em parcelas da população, a energia eólica teve, desde o início, uma grande aceitação por parte da sociedade alemã (JACOBSSON, LAUBERB, 2006). Uma das explicações é o fato da energia eólica na Alemanha ter sido gerada por pequenos parques eólicos, geralmente desenvolvidos por pequenas empresas e cooperativas (JOHNSON, JACOBSSON, 2000). Da mesma forma que a Dinamarca, os cidadãos alemães formaram as primeiras cooperativas de produtoras de turbinas eólicas. O envolvimento de um grande número de pequenos investidores contribuiu para um amplo apoio público para projetos de energia eólica e reduziu significativamente o problema “não no meu quintal”³⁷, que tem sido encontrado em outros países.

Após o acidente de Chernobyl, em 1986, a Alemanha retomou de forma mais significativa os programas de P&D em energia eólica (JACOBSSON, LAUBER 2006). Entre 1987 e 1990, uma série de propostas de mudanças institucionais foi introduzida. Em 1989, o governo alemão iniciou um programa específico para energia eólica, com meta inicial de instalação de 100 MW de capacidade de energia eólica. O programa envolveu, principalmente, a garantia de pagamento de uma tarifa para a eletricidade produzida pelo vento.

Baseada nesta experiência, em 1991, a Lei *Feed-In* para a eletricidade foi implementada. Conhecida ‘*Electricity Feed- In Act (EFL)*’, a lei regulamentou a compra e o preço da eletricidade gerada por energia hidrelétrica, energia eólica, energia solar,

³⁷ O problema “não no meu quintal” se refere ao fato de que muitos cidadãos apoiam o desenvolvimento da energia eólica desde que não seja perto de suas residências. A poluição visual é a causa mais frequente da rejeição desta fonte.

gás e biomassa e propôs uma tarifa prêmio para os geradores destas fontes de Energia (IRENA, 2012). A redução de risco que o modelo energético alemão fornecia às energias renováveis também foi associada a importantes subsídios estatais para o desenvolvimento de projetos relacionados a estas fontes. Tais subsídios estaduais chegavam a 50% dos custos de investimento dos empreendimentos (JACOBSSON, LAUBERB 2006).

Os incentivos ao investimento também se tornaram importantes mecanismos de promoção à implementação da energia eólica na Alemanha, principalmente a partir do programa intitulado *250 MW Wind Program (1989-1996)*³⁸. O programa alemão concedia subsídio ao investimento nos parques eólicos, alcançando até 60% dos custos de investimento do projeto de parque. Adicionalmente, os produtores de energia eólica podiam recorrer ao fundo ambiental alemão, que financiava até 75% do investimento em capital em parques eólicos com taxas de juros bastante reduzidas e com longos prazos de amortização (JACOBSSON, LAUBERB 2006).

Outra similaridade com o caso dinamarquês é a importância dos institutos de pesquisa no desenvolvimento da indústria eólica. Assim como na Dinamarca, os centros de pesquisa alemães desempenham um papel central no processo de aprendizagem da indústria eólica, uma vez que se tornaram lócus onde os principais atores da indústria interagem. Note que no caso Alemão, pode-se considerar equivalente ao laboratório Riso o *Fraunhofer-Institute for Wind and Energy System Technology (IWES)*. Visto que é um dos principais centros de pesquisa para energia eólica no país incluindo desde questões tecnológicas da indústria de produção de equipamento eólicas até as questões econômicas e tecnológicas relativas ao parque elétrico como um todo IWES (2013).

Vale lembrar que o desenvolvimento de um parque industrial associado aos equipamentos eólicos sempre foi considerado como prioritário ao governo alemão. Os subsídios do *Federal Ministry of Finance (BMF)* da Alemanha para a construção de parques eólicos, por exemplo, foram direcionados para projetos que usavam turbinas nacionais. A concessão de financiamentos preferenciais, com taxas de juros muito abaixo daquelas praticadas no mercado, para a construção de parques eólicos também estava condicionada ao uso de turbinas nacionais. Adicionalmente, alguns estados também tinham programas de incentivo direcionados às fabricantes locais. O Estado de North Rein-Wesfalia, por exemplo, concedia um subsídio de 50% ao investimento aos

³⁸ Inicialmente o nome do programa era *100 MW Wind Program*.

parques eólicos que usassem as turbinas alemãs Tacke (COSTA et al., 2005; DUTRA, 2007; JOHNSON, JACOBSSON 2000).

O domínio das empresas alemãs no mercado doméstico, que será mostrado no próximo capítulo, sugere que os incentivos exclusivos às empresas nacionais tinham impacto significativo na competitividade das empresas do setor (JOHNSON, JACOBSSON, 2000; MIZUNO, 2007).

A Alemanha também investiu fortemente na busca por mercados para seus equipamentos eólicos fora do país e lançou dois programas de incentivos à exportação de equipamentos eólicos na década de 1990. Os programas disponibilizavam recursos financeiros subsidiados para a compra de equipamentos alemães de até 70% do preço de compra, além de cobrir até 50% do custo total do projeto. Por meio deste programas, foram instaladas turbinas em países da África, do leste Europeu e principalmente na China (MIZUNO, 2007).

Em 2000, o governo alemão substituiu o *Electricity Feed- In Act* pelo *Renewable Energy Sources Act* (EEG), que fixou tarifas por um período de 20 anos e estabeleceu uma tarifa diferenciada para cada fonte de energia. O EEG levou em consideração as curvas de aprendizado de cada uma das tecnologias (LAUBER, MEZ 2006).

Em 2009, o IWES se fundiu ao *Fraunhofer Center for Wind Energy and Maritime Engineering* e ao *Institute for Solar Energy Technology*. Esta fusão e a criação de novos centros de pesquisa em parceria com universidades nos últimos anos refletem o esforço recente do governo alemão em fortalecer as redes de pesquisas em energia eólica. A título ilustrativo, vale notar que entre 2009 e 2012, o número de pesquisadores no IEWS-Fraunhofer Center cresceu de 200 para 500 pesquisadores IWES (2013).

Em 2011, como resposta ao desastre nuclear em Fukushima, a Alemanha decidiu eliminar a energia nuclear até 2022, expandindo seus investimentos em eficiência energética e aumentando o uso de fontes energias renováveis (BMU, 2011b). O governo alemão estipulou metas ambiciosas para as Energias Renováveis.

“As energias renováveis estão a atingir uma participação de 18% do consumo final bruto de energia em 2020, uma participação de 30 % em 2030, 45% até 2040 e 60% até 2050. Em 2020 as energias renováveis são a ter uma participação de pelo menos 35 % no consumo bruto de eletricidade, uma participação de 50 % em 2030, 65% até 2040 e 80% até 2050.” (BMU, 2011b, p. 7).

Em 2011, o governo aprovou 74 projetos de energia eólica, com um montante total de financiamento de US\$ 99,9 milhões. Em 2010, o BMU aprovou 37 projetos, com um financiamento total US\$ 75,3 milhões (IRENA, 2012).

A experiência alemã pode ser considerada como extremamente bem sucedida: desde 1991, ano da implementação da Lei *Feed-In* de eletricidade, até 2007, a Alemanha manteve a liderança mundial em capacidade instalada (DUTRA, 2007). Em 2007 eram mais de 19 mil turbinas eólicas em operação, permitindo a produção de 7% do total da energia utilizada no país. Para 2030, a meta é que esse percentual alcance 30%.

Segundo Costa *et al.* (2009), a indústria eólica alemã consome mais aço que a sua tradicional indústria automobilística e faturou, em 2007, cerca de €6,5 bilhões, com quase 70% deste valor sendo obtido via exportação de equipamentos. Em 2007, as três principais fabricantes germânicas – Enercon, Siemens e Repower – dominavam aproximadamente 20% do mercado mundial de aerogeradores. A Siemens era a nona maior empresa de aerogeradores e é líder no ramo de turbinas eólicas do tipo *offshore*. O Estado Alemão uniu a forte preocupação ambiental e as necessidades energéticas do país a um projeto de fortalecimento do parque industrial alemão.

3.3.3. EUA

Juntamente com Dinamarca e Alemanha, os EUA também foram pioneiros em desenvolver um forte mercado de energia eólica em decorrência de significativos investimentos em programas energéticos e apoio a empresas produtoras de equipamentos. Desde 1930, os Estados Unidos fabricavam aerogeradores com dimensões reduzidas, usados para carregar baterias em zonas rurais não alcançadas pela rede elétrica. Com a chegada das redes de eletrificação às zonas rurais em 1960, houve uma desativação gradual dessas máquinas. A partir de meados da década de 1970, os EUA passaram a investir em energias renováveis de forma mais consistente e se tornaram uma grande potência, tanto em capacidade instalada como em produção de bens e equipamentos eólicos (COSTA et al, 2009).

Mas o crescimento da energia eólica nos EUA tem sido intermitente, como será visto nesta seção. O desenvolvimento da política de energia eólica nos EUA é descrito por três fases principais (MARTINOT, WISER, HAMRIN 2006). A primeira fase se

estende de 1978 a 1990, a segunda compreende a década de 1990 e a terceira se inicia em 1999 e se estende até o presente momento.

Como resposta à crise do petróleo de 1973, o governo norte-americano começou, ainda em 1973, a implementar programas federais voltados ao apoio à pesquisa básica e aplicada e a projetos de demonstração relacionados a fontes renováveis. Cinco anos depois, o governo federal introduziu incentivos de mercado, tais como créditos fiscais, e implementou um mercado de energia elétrica para produtores de eletricidades autônomos através do *Public Utility Regulatory Policies Act* (PURPA). Este programa tinha como principal objetivo incentivar a geração de fontes renováveis de energia.

O programa impunha às concessionárias de eletricidade a compra de eletricidade de produtores independentes de base renovável (de até 80 MW). Um dos efeitos mais importantes do PURPA foi a criação de um mercado de energia renovável gerado por produtores de energia independentes. Porém, o PURPA colocou o cálculo e a interpretação dos custos evitados sob responsabilidade dos Estados, o que acabou produzindo resultados não uniformes na expansão das fontes renováveis ao longo do país (SAWIN, 2001). A Califórnia, por exemplo, foi o estado que adotou o cálculo mais favorável ao incremento de fontes renováveis, o que levou a uma concentração da capacidade instalada em energia eólica na região.

Neste mesmo período, o governo norte-americano ofereceu incentivos para a instalação de turbinas eólicas, por meio do Crédito Fiscal de Investimento (CFI). Segundo IRENA (2012), entre a década de 1970 e 1990, o financiamento destinado a P&D para projetos relacionados a energias renováveis cresceu significativamente.

Os governos estaduais e locais também desempenharam um papel importante no desenvolvimento do setor de energias renováveis. Os estados norte-americanos adotaram uma gama de incentivos fiscais e programas de financiamentos para investimentos em parques eólicos (BIRDA *et al.*, 2005). O estado da Califórnia, por exemplo, no início de 1980, introduziu um imposto investimento para a energia eólica que, combinado com PURPA e o crédito de imposto federal, ajudou no desenvolvimento dos primeiros parques eólicos utilitários de escala do país. Adicionalmente, este estado inovou ao proporcionar contratos de longo prazo aos produtores independentes (de 20 a 30 anos), com preço fixo por pelo menos dez anos. O estado da Califórnia também investiu recursos estaduais em P&D para as energias renováveis. Como resultado, a Califórnia construiu quinze mil máquinas, com capacidade agregada de 1,3 GW (COSTA *et al.* 2005).

Os EUA não mantiveram tais incentivos quando os preços do petróleo voltaram a cair. O interesse pela energia eólica somente ressurgiria nos Estados Unidos com a Guerra do Golfo, iniciada em 1989. Assim, preocupações com a segurança energética, a volatilidade de preço dos combustíveis e a redução do custo de novas tecnologias eólicas impulsionaram o governo norte-americano a inaugurar uma nova etapa da política em energia eólica (GIELECKI *et al.*, 2001).

Em 1990, o programa *Advanced Wind Turbine* (AWT), criado no *U.S. Department of Energy* (DoE), foi implementado, tendo sido ampliado a partir do *Energy Policy Act* de 1992 (EPAAct)³⁹. O programa envolvia pesquisa aplicada, que ficou a cargo dos laboratórios nacionais e em turbinas, realizada em conjunto com a indústria, além de testes de campo também realizados em cooperação para a solução de problemas técnicos (MIGLIORE, CALVERT 1999). Adicionalmente, o *Energy Policy Act* estipulou um crédito fiscal por dez anos para os produtores de energia renováveis e as concessionárias privadas de eletricidade, o PTC. Como forma complementar ao PTC, foi aprovado o *Federal Renewable Energy Production Incentive* (REPI), que estendia o mesmo benefício às concessionárias públicas (IRENA, 2012).

Uma característica notável dos programas (PTC, ITC ou Tesouro *Grant*) é que eles não exigiam qualquer documento sobre a origem ou fabricação dos equipamentos utilizados em projetos de energia renovável, tornando todo o equipamento de fabricação de empresas de energia eólica elegíveis a estes programas (NEIJ, ANDERSEN 2012).

Outra característica importante dos incentivos fiscais federais é que os mesmos dependem de constantes renovações, o que tem provocado instabilidade no ritmo de desenvolvimento da indústria eólica, como será visto mais adiante. Mas, apesar desta limitação, o PCT tem sido o mecanismo mais importante de promoção à energia eólica adotada em âmbito federal (NEIJ, ANDERSEN 2012).

Nesta segunda fase, o governo federal estruturou centros especializados em energia eólica⁴⁰. Em 1994, construiu o maior centro de pesquisa na área eólica, o

³⁹ O EPAAct foi uma lei que promoveu a desregulamentação do setor elétrico nos Estados Unidos, levando à abertura das redes de transmissão aos produtores independentes de energia e forçando a concorrência entre os fornecedores de eletricidade. Nesse contexto, o PURPA perdeu sua relevância. As concessionárias de eletricidade deixaram de ser obrigadas a realizar contratos com os produtores independentes de energia. Dentro do escopo do EPAAct, o apoio a energia eólica foi ampliado. Foge ao escopo do trabalho analisar o EPAAct e apenas as medidas referentes a energia eólica serão citadas. Para maiores informações sobre o EPAAct, ver EIA (2005)

⁴⁰ Já havia alguns centros de pesquisa, como o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), que já realizavam algumas pesquisas em eólica. Adicionalmente, havia projetos pontuais em universidades. Porém, as atividades em eólica ganharam outra dimensão na década de 1990.

gigante *National Wind Technology Center* (NWTC), que passou a coordenar diversos programas de pesquisa do EPAct. Assim como na Dinamarca, os centros norte-americanos também gerenciam projetos demonstrativos de parques eólicos e abrigam estações de testes de campo. Conforme mencionado, tais atividades envolvem atores variados da indústria e o NWTC passou a ser um lócus de interação entre os diversos atores da indústria. No mesmo ano em que criou o NWTC, o governo norte-americano começou a investir no desenvolvimento de capacitação em certificação, que por sua vez reforça as competências internas desenvolvidas no NWTC, como design de turbinas (WALLACE *et al.* 2012).

O ano de 1999 inaugura a terceira fase da indústria eólica norte-americana, que se caracteriza por uma maturidade do mercado eólico. Segundo Birda *et al.* (2005), a expansão deste período ocorreu em função da continuidade das políticas estaduais e federais e da redução de custos devido aos avanços da tecnologia e economias de escala.

Mas esta expansão não ocorreu de forma estável. Em 1999, 2001 e 2003, por exemplo, o PTC foi suspenso e provocou fortes declínios na nova capacidade instalada nos anos seguintes. A instabilidade dos mecanismos federais levou a um subinvestimento em capacidade e na cadeia de produção, dificultando o desenvolvimento de uma visão de longo prazo (LOGAN, KAPLAN 2008; ACORE, 2011).

Mas diferentemente da década de 1990, a terceira fase é caracterizada por um movimento de descentralização das políticas de criação de mercado para as fontes renováveis. Diversos estados norte-americanos instituíram políticas de cotas, por exemplo, exigindo que os fornecedores de energia elétrica apresentassem um percentual mínimo de suas vendas originadas de recursos renováveis de energia em uma determinada data. Em 2010, 29 estados haviam estabelecido cotas para energias renováveis (LOGAN, KAPLAN 2008; ACORE, 2011).

A expansão das políticas estaduais de apoio a fontes de energia renováveis foi um importante instrumento para manter investimentos no setor, principalmente no período em que os incentivos fiscais federais não estavam em vigor (ACORE, 2011).

O instrumento mais importante da legislação federal durante este período, porém, foi o *Energy Policy Act* de 2005 (EPACT05), que pode ser compreendido como uma continuação do *Energy Policy Act* de 2002. Entre uma variedade de outras disposições, estendia a cobertura de créditos tributários para a produção e estipulava

metas de consumo de curto prazo para fontes renováveis de forma geral (EPACT, 2002, 2005; BIRDA et al. 2005).

É necessário destacar a articulação entre o Departamento de Energia dos EUA (DoE) e a indústria eólica como fator crucial para os EUA alcançarem a liderança no desenvolvimento produtivo de equipamentos eólicos. Grande parte das conquistas tecnológicas alcançadas pelo setor teve a participação do DoE. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2008), o programa de energia eólica do DoE promoveu forte apoio à exportação de equipamentos, permitindo ao setor alcançar sucessivos recordes de crescimento.

Neste contexto, os EUA se tornaram, em 2007, o país com maior incremento de capacidade de energia eólica do mundo e, no ano seguinte, se tornaram líder em termos de capacidade total instalada⁴¹. Ademais, os EUA desenvolveram uma sólida indústria de equipamentos eólicos que, em 2008, empregava cerca de 90 mil pessoas, com equipamentos que apresentavam capacidade média de 1,67 MW (COSTA et al., 2009). Segundo Costa et al. (p. 257, 2009) a estratégia norte-americana para energia eólica pode ser classificada como uma política agressiva de incentivos governamentais que permitiu que os EUA se tornassem uma potência industrial neste segmento.

Porém, a crise econômica de 2008 causou reflexos na indústria eólica norte-americana, que apresentou cortes de instalações, demissão de funcionários, atrasos em projetos entre outros impactos. O governo norte-americano tentou minimizar os efeitos da crise com algumas medidas. Assim, o PTC tem sido constantemente renovado desde 2008 e, em fevereiro de 2009, o Congresso dos EUA aprovou a ‘Lei de Recuperação’ e ‘Lei de Reinvestimento’, que incluiu várias disposições para apoiar a energia eólica. Outra medida foi a Lei de Criação de Emprego de 2010, que estabeleceu que os projetos que estavam em construção, inclusive os eólicos, se tornariam elegíveis para o programa de subvenção do Tesouro dos EUA (TAYLOR E TURNER, 2012).

3.3.4. Espanha

O caso da Espanha é interessante de ser estudado, pois embora não seja um país pioneiro, se tornou rapidamente um dos países com maior capacidade instalada e

⁴¹ Para mais informações sobre a estrutura e evolução do sistema elétrico americano ver Campbell (2013).

produção de equipamentos eólicos do mundo. Diferentemente dos três primeiros casos apresentados, a política de estímulo à importação de tecnologia estrangeira foi o principal mecanismo na criação de uma indústria doméstica eólica na Espanha (DINICA, 2008).

A Espanha teve seus primeiros contatos com a energia eólica ainda na década de 1980, quando alguns programas pontuais de subsídio em P&D destinados ao desenvolvimento de turbinas eólicas foram adotados. Mas foi na década seguinte que a Espanha, paulatinamente, expandiu sua capacidade eólica instalada e sua indústria eólica local (SALGADO, 2011).

Os projetos de energia renovável passaram a se beneficiar de subsídios federais. Entre 1986 e 1997 os subsídios aos investimentos aos parques eólicos podiam variar entre 50% e 90% dos custos totais do investimento. Em 1991, foi implementado um novo Plano Nacional de Energia, que determinou uma meta para a produção de energia a partir de fontes renováveis no país, devendo sair do patamar de 4,5 % em 1990 para 10% até 2000. Em 1994, o Real Decreto 2.366 foi a primeira tentativa de introduzir tarifas específicas para a energia renovável, garantindo um contrato de cinco anos de compra e venda de energia para projetos de energia renováveis (DINICA, 2008).

Em 1997, foi instituída a Lei de Energia elétrica, que estabeleceu novas regras para energias renováveis. Esta lei introduziu o processo de liberalização do setor da energia elétrica no país, buscando tornar a garantia de preço mais flexível, combinando a existência de mecanismo de mercado com um segundo sistema de preço. O objetivo era restringir o acesso da tarifa-prêmio aos parques eólicos mais antigos e menores (DINICA, 2008).

Adicionalmente aos mecanismos de criação de mercado, diversas medidas como programas de P&D e desenvolvimento de centros de certificação foram implementados. As atividades de teste, adaptação e desenvolvimento da tecnologia começaram a ser realizadas na Espanha pelo *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas* (CIEMAT) ainda no início dos anos de 1990. Tais atividades, na época, tinham como foco principal o teste de turbinas e o suporte à transferência de tecnologia estrangeira para empresas locais (DINICA, 2008).

A produção dos primeiros aerogeradores na Espanha foi baseada em um processo de transferência de tecnologia dos países pioneiros, adotando-se os seguintes mecanismos: (i) criação de *joint venture* com empresas já consolidadas na produção de equipamentos, (ii) criação de um sistema de padronização e certificação, (iii)

desenvolvimento de grandes centros de P&D com atuação de coordenação das pesquisas básicas e aplicadas e (iv) investimentos estatais diretos no desenvolvimento tecnológico (LEWIS, WISER 2005).

Em 1994, foi firmada uma importante *joint venture* entre a espanhola Gamesa e a líder mundial dinamarquesa Vestas, o que permitiu que as empresas dinamarquesas tivessem acesso ao crescente mercado europeu e possibilitou à Espanha acesso aos processos tecnológicos mais avançados.

Os incentivos para a fabricação local também foram mecanismos importantes para o desenvolvimento industrial espanhol, sendo verificados tanto incentivos federais como de governos locais objetivando nacionalizar a produção. A província de Galícia, por exemplo, impunha que 80% dos bens e serviços envolvidos na instalação dos parques eólicos fossem locais (LEWIS, 2007). Já na província de Chubut, o governo local ofereceu um incentivo financeiro para as empresas que alcançassem determinadas porcentagens de conteúdo local. O governo federal também oferecia incentivos similares. Os percentuais de conteúdo local foram aumentando ao longo do tempo, passando de 30% em janeiro de 2001, para 60% em 2003 e 80% em 2005 (LEWIS E WISER, 2005).

Segundo Lewis e Wiser (2007), a política de conteúdo local é até hoje uma forma de a Espanha alcançar os benefícios regionais do desenvolvimento da indústria eólica:

“Spanish government agencies have long mandated the incorporation of local content in wind turbines installed on Spanish soil; the creation of Gamesa in 1995 can be traced in part to these policies. Even today, local content requirements are still being demanded by several of Spain’s autonomous regional governments that “see local wealth in the wind”—in Navarra alone, it is estimated that its 700 MW of wind power has created 4000 jobs (WPM, October 2004:45). Other regions, including Castile and Leon, Galicia, and Valencia, insist on local assembly a manufacture of turbines and components before granting development concessions” (LEWIS, WISER, 2007, p. 1851).

De forma complementar, os espanhóis investiram no desenvolvimento de um sistema próprio de padronização das turbinas e em programas de teste de qualidade. Estes programas foram essenciais no processo de transferência tecnológica entre os países pioneiros e a Espanha. Além de estimular o aprimoramento dos processos de

produção e forçar a interação usuário-produtor, tais instrumentos foram essenciais no processo de adaptação da tecnologia (DINICA, 2008).

Segundo Lewis e Wiser (2007), o sucesso da Gamesa e de outros fabricantes está estreitamente relacionado ao conjunto de políticas implementado pelo Estado Espanhol:

“The Spanish government has clearly played a pro-active role in kick-starting a domestic wind industry, and the success of Gamesa and other manufacturers is very likely related to these policies” (LEWIS, WISER 2007 p.1851).

O direcionamento de recursos para projetos em energia eólica, envolvendo instituições de pesquisa e empresas de turbinas e componentes e empresas de engenharia, aumentou consideravelmente a partir de 2000 (BOLON *et al.*, 2007). A estratégia espanhola a partir de 2000 passou a ser guiada por uma meta de expansão da autonomia tecnológica do país. Neste contexto, além de expandir os montantes destinados a P&D, novos centros foram criados. O *Centro Nacional de Energías Renovables* (CENER), fundado em 2002, é a instituição mais importante na área de energia eólica, possuindo um papel chave na coordenação de pesquisas de testes, no desenvolvimento de um sistema de padronização e no processo de *design* de turbina (IDAE, 1999 e IDAE 2005).

É possível, portanto, perceber uma alteração na estratégia da Espanha. Até o final da década de 1990, investiu na atração de empresas OEMs, criação de *joint venture* e esforço em adaptação tecnológica. A partir de 2000, há um esforço em adquirir uma autonomia tecnológica e atrair fabricantes de componentes, em detrimento a fabricantes completos. Até mesmo a Vestas deixou de fabricar equipamentos completos na Espanha quando terminou a sociedade com a Gamesa em 2002, passando a produzir somente componentes como pás, naceles, controles, entre outros (LEWIS, 2009 e LEWIS, WISER, 2007).

Dessa forma, é possível perceber que as empresas estrangeiras tendiam a atuar onde havia gargalos da cadeia produtiva espanhola, sem competir diretamente com as empresas nacionais. Atualmente, o foco de atração de IDE para a indústria de energia eólica está nos componentes para turbinas *offshore*, o gargalo atual da indústria espanhola (IDAE, 2010).

O desenvolvimento da indústria eólica tornou-se uma história de sucesso nacional e a capacidade eólica instalada cresceu de 7 MW em 1990 para mais de 377

MW em novembro de 1997, mais que o dobro da meta do governo de 168 MW. A experiência espanhola parece combinar de forma eficaz atração de IDE e desenvolvimento da indústria nacional. Além dos requisitos de conteúdo local, tarifas *feed-in* estáveis e atração dos principais fabricantes OEMs, os investimentos em grandes centros de P&D que passaram a coordenar as pesquisas básicas e aplicadas na área de energia eólica, o desenvolvimento de centros de testes de qualidade e um sistema de padronização técnica específica ao país foram essenciais para que a Espanha se tornasse uma das principais produtoras de equipamentos eólicos.

3.3.5. Índia

O caso indiano apresenta similaridades com o espanhol, uma vez que também adotou mecanismos tradicionais de transferência tecnológica. Apesar de a Índia ter adotado uma gama de conjunto de políticas para desenvolver a indústria nacional de produção de equipamentos eólicos, é possível afirmar que a criação de *joint ventures* e a assinatura de processos de licenciamento de tecnologia entre as empresas indianas e as fabricantes de turbinas dos países pioneiros foram os principais mecanismos de acesso do país à tecnologia importada (LEWIS, 2009; MIZUNO, 2007).

Da mesma forma que todos os países já analisados, a busca pela auto-suficiência energética foi um dos principais motores para o desenvolvimento de fontes de energias renováveis na Índia. Os esforços nesse país também se iniciaram após as duas crises do petróleo da década de 1970. O aumento repentino do preço do petróleo, as incertezas associadas a seu fornecimento, bem como o impacto negativo sobre o balanço de pagamentos levou à criação da Comissão de Fontes Alternativas de Energia (CASE), vinculada ao Departamento de Ciência e Tecnologia, em 1981 (PILAI, 2006).

Tal comissão ficou responsável por implementar programas de formulação para o desenvolvimento de energias novas e renováveis. Seu foco era essencialmente voltado a implementar de forma sistemática esforços em P&D para fonte eólica. Em 1982, um departamento exclusivo para planejar fontes de energia não convencionais foi criado no âmbito do Ministério de Energia, conhecido por DNES. Em 1984, o DNES apoiou a construção da primeira turbina eólica conectada à rede (PILAI, 2006).

Alguns incentivos fiscais para apoiar a energia eólica foram introduzidos no 7º Plano Quinquenal (1985-1990). Como principais incentivos pode-se citar (IRENA, 2012):

1. 100% de depreciação acelerada de investimentos em bens de capital no primeiro ano de instalação;
2. Cinco anos de isenção de impostos sobre a renda da venda de energia gerada por energia eólica;
3. Incentivos fiscais aos produtores de equipamentos eólicos.

Nesta fase inicial, a existência de cooperação externa era marcante, principalmente entre o governo indiano e a Agência de Desenvolvimento da Índia (DANIDA). Em 1988, a DANIDA coordenou dois projetos comerciais de 10 MW nos estados de Gujarat e Tamil Nadu. Estes projetos foram considerados ‘parques eólicos demonstrações’ pois tinham como objetivo identificar a viabilidade técnico-econômica de geração de energia eólica na Índia. Estes projetos de demonstração, juntamente com os incentivos fiscais implementados pelo governo no 7º Plano Quinquenal, contribuíram para a expansão do interesse do setor privado na produção de energia eólica na Índia (MIZUNO, 2005; 2007).

Além disso, no final de década de 1980 foi criada a Agência Indiana para o Desenvolvimento de Energias Renováveis (IREDA), no âmbito do Ministério de Energia, para conceder empréstimos em condições favoráveis a projetos de eficiência energética e de energia renovável no país.

A década de 1990 foi marcada por um processo de liberalização econômica. Em 1991, no âmbito de reformas econômicas mais amplas, o governo implementou diretrizes políticas que encorajaram o investimento direto externo (IDE) em diversos segmentos da economia, incluindo a indústria eólica. O mercado da electricidade indiano foi aberto aos investidores privados, tanto nacionais como estrangeiros (IEA, 2012).

Até início da década de 1990 não havia ainda uma estratégia de longo prazo voltada ao desenvolvimento tecnológico nacional em equipamentos eólicos na Índia. A preocupação de desenvolvimento de capacitação científica e tecnológica nacional foi iniciada por uma série de acordos de licença entre 1990 e 2005 com Dinamarca (Vestas e Micon) e Alemanha (Enercon, Nordex, DeWind e Südwind). A Südwind e a Suzlon

entraram em um acordo para compartilhar know-how técnico de alguns modelos de turbinas relativas em 1996⁴² (KRISTINSSON, RAO 2007).

O início da construção de uma base produtiva local em equipamentos para geração de energia eólica na Índia coincidiu com a abertura do país ao IDE. Com a abertura da economia, a participação estrangeira de até 51% dos setores prioritários, entre os quais estava o setor de energia, foi permitida. Os investimentos externos, condicionados ou não à constituição de *joint ventures* entre fabricantes estrangeiras de turbinas com empresas nacionais ou às exigências de cumprimento de conteúdo local, foram fator essencial para a formação inicial da estrutura produtiva de turbinas eólicas na Índia (KRISTINSSON, RAO 2007).

Em meados da década de 1990, havia mais de 20 *joint ventures* atuando na fabricação de aerogeradores. Três importantes subsidiárias de OEMs constituíram *joint ventures* (Vestas RRB, Enercon, NEPC Micon) e se consolidaram no mercado indiano, além de duas empresas indianas, a Suzlon e a NPC Índia, que fabrica turbinas de pequeno porte (RAJSEKHAR *et al.*, 1999; MIZUNO, 2007)⁴³.

A Suzlon iniciou como uma pequena empresa no ramo de maquinários e se tornou em menos de uma década uma das maiores OEMs do mundo. O aspecto central para o sucesso da Suzlon foi o forte apoio estatal. Mas, como será visto adiante, o apoio do governo passou a ser significativo a partir da segunda metade da década de 1990, quando o governo adotou como objetivo o desenvolvimento de tecnologias adaptadas às especificidades locais (RAJSEKHAR *et al.*, 1999; MIZUNO, 2007).

Até meados da década de 1990, a estratégia de atração de IDE transformou a Índia rapidamente em uma base para montagem de turbinas eólicas, tendo o regime tributário incentivado que o sistema produtivo tivesse este perfil. Entre 1993 a 1997, todas as turbinas, independente do tamanho, eram taxadas igualmente, enquanto a

⁴² A licença incluía os seguintes modelos de turbinas: 0,27 MW, 0,30 MW, 0,35 MW e 0,60 MW e 0,75 MW para maiores detalhes sobre acordo ver IRENA (2012).

⁴³ A empresa Suzlon é um caso interessante. Criada em 1995, com apenas vinte pessoas, a empresa entrou quase que acidentalmente no ramo de aerogeradores. O fundador da empresa queria contornar problemas relacionados à falta de energia de sua empresa de tecido e encomendou duas turbinas eólicas da marca dinamarquesa Vestas. O fundador decidiu então criar, junto com seus três irmãos, a Suzlon Energy, fabricante de aerogeradores. Como a Suzlon não possuía tecnologia própria, os seus fundadores tentaram assinar um contrato de transferência tecnológica com algumas OEMs já estabelecidas. Como não houve empresa interessada em fechar acordo com a Suzlon, a solução encontrada pela empresa indiana foi firmar um acordo de joint venture com a pequena empresa alemã Südwind, criada por alunos da Universidade Técnica de Berlim. Quando a Südwind faliu, a Suzlon adquiriu a divisão de pesquisa e desenvolvimento da parceira e montou seu centro de pesquisa na Alemanha (COSTA *et al.*, 2005). A empresa ainda adquiriu diversas empresas ao longo de sua trajetória, como a belga Hansen Transmission, segunda maior fabricante de caixas de engrenagens eólicas do mundo, e uma grande fábrica holandesa de pás (COSTA *et al.*, 2005).

importação de componentes essenciais para a montagem de turbinas eólicas ficou isenta de tributos. Assim, a Índia se tornou rapidamente base de montagem de equipamentos eólicos, mas com pouca capacidade de desenhar turbinas e de inovar (MIZUNO, 2007; RAJSEKHAR et al., 1999).

Apenas em 1997, quando a preocupação em desenvolver tecnologias adaptadas ao contexto local aumentou, a importação de componentes passou a ser taxada. Não coincidentemente, a expansão da empresa indiana Suzlon no mercado interno ocorreu entre 1997 e 2003, com sua participação no mercado de aerogeradores nacionais saindo de 7% para 40% (MIZUNO, 2007).

A preocupação em desenvolver tecnologias eólicas mais adaptadas às especificidades locais alterou a estratégia de P&D deste setor. Até 1997, as atividades de P&D estavam praticamente limitadas à coleta de dados de velocidade do vento ou à adaptação da tecnologia estrangeira às condições das redes elétricas locais. A partir de então, a atividade de P&D passou a englobar mais projetos com foco no desenvolvimento de equipamentos adequados às especificidades locais (LEWIS, 2011).

Como parte do processo de reforma, foi criado o Ministério das Fontes de Energia Não Convencionais (MNES), que, a partir de 1997, passou a coordenar a promoção de pesquisa em energia eólica, participando com 50% dos custos do projeto. Os projetos também se tornam mais interativos, enfatizando a troca entre indústria, instituições de pesquisa e os usuários finais da tecnologia. Atualmente, o foco principal dos projetos financiados pelo MNRE são as turbinas específicas para baixas velocidades de vento, mais adequadas ao contexto indiano (RAJSEKHAR *et al.*, 1999; MNRE, 2011).

No final de 1990, o setor eólico registrou um desaquecimento. Os analistas acreditam que as principais razões foram atrasos na obtenção de aprovação por questões fundiárias e redução de benefícios fiscais por parte do governo (LEWIS, 2011).

Em 2003, o governo indiano adotou o *Electricity Act* (EA), que criou a Comissões Estaduais de Energia Elétrica (SERC), e tinha como objetivo expandir o desenvolvimento das energias renováveis na Índia, principalmente em função do baixo crescimento verificado no final da década de 1990 (KRISTINSSON, RAO 2007). Conforme estipulado no artigo 86 da Lei de Eletricidade, as SERCs ficaram responsáveis por fixar quotas em termos de porcentagem de energia elétrica para eletricidade a partir de fontes de energia renováveis. Os reguladores estaduais foram obrigados a garantir a conectividade de projetos, que são realizados geralmente em locais remotos, à rede de sites. Dois anos depois, uma lei de conteúdo local estabeleceu que 80% dos componentes das turbinas instaladas na Índia deveriam ser nacionais (COSTA *et al.*, 2009).

Segundo Costa *et. al.* (2009), apesar de o governo indiano ter concedido os primeiros incentivos para a energia eólica na década de 1980, a expansão dos parques eólicos ganhou ímpeto na Índia a partir dos anos 2000, quando o governo fixou o sistema de cotas para a energia eólica e posteriormente aprovou lei de conteúdo local.

Em 2009, o Governo implementou um subsídio por kWh de eletricidade gerada, com duração de 10 anos, (IEA, 2012).

Todos estes fatores mencionados tornaram a Índia o quinto maior mercado de energia eólica do mundo e impulsionaram a Suzlon, a maior empresa indiana no mercado eólico, a se tornar a sexta maior do mundo neste segmento em 2011.

3.3.6. China

De acordo com Censo Nacional Eólico Chinês, a capacidade explorável de energia eólica da China está entre 700 e 1 200 GW (JUNFENG *et al.*, 2012). Em comparação com outros mercados de energia eólica, os recursos eólicos da China são semelhantes aos EUA e excedem em muito os recursos atualmente estimados no Brasil, na Alemanha, na Índia ou na Espanha.

O primeiro parque eólico de demonstração na China foi construído em Rongcheng, na província de Shandong, em 1986 (PENGFEI, 2005). A indústria nacional de equipamentos eólicos ainda estava em um estágio demasiadamente inicial, com apenas algumas empresas chinesas operando no mercado, como Goldwind. Até meados da década de 1990 os esforços se concentraram na construção de pequenos

parques eólicos de demonstração usando financiamento do governo chinês ou de países estrangeiros, como a Alemanha (LEMA *et al.*, 2011).

Em 1994, o Ministério da Energia Elétrica propôs um programa de industrialização de energia eólica. Este plano estabeleceu que as empresas de distribuição seriam responsáveis por comprar 100% da energia eólica gerada e conectar os parques eólicos à rede elétrica. Esta medida garantiu a segurança dos investidores e ajudou a financiar o desenvolvimento de parques eólicos por meio de empréstimos (LEWIS, 2011).

Em meados da década de 1990, a Comissão de Planejamento do Estado decretou que o preço médio da eletricidade para a energia eólica seria baseado no período de funcionamento das turbinas eólicas. Além disso, o imposto sobre valor agregado foi reduzido pela metade para projetos de energia eólica. No entanto, a indústria de energia eólica desenvolveu-se em ritmo lento (IRENA, 2012).

Foi apenas em 1997, através de programas que incentivavam a importação de tecnologia, por meio de transferência ou licenciamento, que a indústria eólica ganhou os primeiros impulsos. Neste ano, o governo lançou um plano chamado *Riding Wind Program*, que formalizou a estratégia de se construir uma indústria doméstica de turbinas por meio da introdução, incorporação e absorção da tecnologia estrangeira. A estratégia adotada pelo governo chinês foi licenciar tecnologia de empresas que não figuravam entre as líderes no mercado mundial de turbinas (LEWIS, WISER, 2007; RU *et al.*, 2012).

Adicionalmente, o governo chinês passou a negociar a formação de *joint ventures* compostas de empresas chinesas e de estrangeiras, oferecendo em troca o acesso ao mercado local (LEMA *et al.*, 2011). O *State Council* selecionou a empresa alemã Nordex Balcke como a primeira parceira estrangeira para desenvolver estes projetos. Esta foi a primeira *joint venture* criada para desenvolver projetos de energia eólica. Além disso, em 1997, foram concedidos contratos de mais de 70 MW de energia eólica para as empresas dinamarquesas Vestas e Micon. Até o final de 2001, 404 MW de energia eólica foram instalados no país (LEMA *et al.* 2011).

Sob o Décimo Plano Quinquenal (2001-2005), o governo chinês introduziu uma ampla reforma no mercado de eletricidade chinês. Neste plano, ficou decidido que o setor de energia eólica seria guiado por uma política de concessão, significando que os projetos domésticos seriam implementados por meio de um processo de licitação. Os principais objetivos eram expandir a taxa de capacidade instalada e da capacidade de

produção nacional de equipamentos eólicos e a redução dos custos de geração de energia eólica. Como condições para serem elegíveis ao processo de licitação, as turbinas eólicas precisavam apresentar no mínimo 70 % de conteúdo produzido no país (WANG *et al.*, 2010).

O período de 2006-2010 foi determinante para estimular a indústria de energia renovável na China. Até 2006, apesar dos avanços chineses em relação a fontes renováveis, estes ainda eram marginais. Em 2006, a Lei de Energia Renovável estipulou que desenvolvimento das fontes renováveis era prioridade nacional. Foi estabelecido que as empresas públicas deveriam priorizar energia renovável em relação a outras fontes de energia. Esta Lei destinou recursos para projetos de P&D em energia eólica e a projetos de fabricação de equipamentos eólicos (PENGFEI, 2005).

No ano seguinte, o governo lançou o Plano de Médio e de Longo Prazo para as Energias Renováveis, que apresentava metas nacionais (1% de energias renováveis excluindo hidrelétrica no *mix* total de eletricidade do país até 2010) e um pacote de incentivos fiscais para alcançar tais metas. Os incentivos fiscais eram mais uma forma de favorecer as fabricantes domésticas de turbinas. Estas empresas usufruíram do reembolso do imposto sobre valor adicionado, além de incentivos fiscais proporcionados pelas regiões nas quais essas turbinas eram fabricadas. As regras de conteúdo local de 70% de foram mantidas e estimularam fortemente o desenvolvimento de um sistema produtivo nacional de equipamentos eólicos (MARTINOT, JUNFENG 2010).

O governo iniciou o Programa Base Eólico, em 2008, que mapeou os melhores recursos eólicos, e estabeleceu metas a serem alcançados até 2020. Este plano também tinha como objetivo minimizar gargalos de transmissão e atrasos na obtenção de aprovação final para os parques eólicos (JUNFENG *et al.*, 2010).

Em 2009, algumas modificações foram realizadas na Lei de Energia Renovável. A principal delas foi a introdução de uma tarifa prêmio para geração de energia eólica por um período de 20 anos. Foram estipuladas quatro categorias de tarifas de preços, dependendo do potencial eólico da região. O objetivo era viabilizar a implementação da geração eólica em todos os sítios do país. Para financiar as tarifas prêmio, o governo colocou uma sobretaxa por kWh no preço da eletricidade. A sobretaxa começou como USD 0.3/Mwh e foi elevada para USD 0.6/Mwh em 2008. As tarifas garantiam retorno de longo prazo para os investidores e impulsionaram a implementação de parques eólicos na China (MARTINOT, JUNFENG 2010).

A alteração da Lei reiterou ainda que as empresas de distribuição de energia tinham obrigação de absorver toda a energia renovável produzida na China, com a opção de solicitar subsídios ao Fundo de Energia Renovável para cobrir o custo extra de integração de energia renovável. Outra atualização da Lei de Energias Renováveis incluiu um planejamento detalhado, que tratava desde a geração de energia até o planejamento de transmissão, além de planos de desenvolvimento elaborados a nível local e nacional (MARTINOT, JUNFENG 2010).

O desenvolvimento de redes inteligentes também foi abordado na revisão da lei. O setor de energia eólica doméstica vinha crescendo a taxas tão elevadas que o processo de planejamento da transmissão e interligação não conseguia manter o ritmo somente com instalações anuais de turbinas eólicas (ZAO *et al.*, 2012).

O governo chinês passou a promover a fabricação e o desenvolvimento de tecnologia nacional de forma mais agressiva. Assim, passou a atuar de forma direta, constituindo grandes empresas estatais como a Sinovel, Goldwind, Dongfang, e a investir na atração de empresas estrangeiras para a criação de subsidiárias nacionais. Conforme já mencionado, o acesso das subsidiárias das OEMs ao mercado interno era condicionado à criação de *joint ventures* com empresas chinesas. Em 2007, praticamente todas as principais empresas internacionais de fabricação de turbinas eólicas, como a Gamesa, General Electric, Nordex, Suzlon e Vestas, estabeleceram instalações para fabricação na China. Em função do atrativo mercado interno, o país pôde atrelar o IDE à evolução da indústria local de turbinas (LEWIS, 2011).

Além de contribuir na construção de uma base local de manufatura de turbinas eólicas, o capital estrangeiro foi essencial no processo de capacitação das empresas locais. Grandes fabricantes mundiais de turbinas que atuam no mercado chinês foram instadas a capacitar empresas locais na fabricação de componentes. A Gamesa, por exemplo, teve que treinar mais de 500 fabricantes locais de componentes. Em 2012, esta empresa operava na China com um conteúdo local de mais de 95% (BOTTA, 2013).

De acordo com Camillo (2013) é possível classificar as empresas chinesas de equipamentos eólicos em:

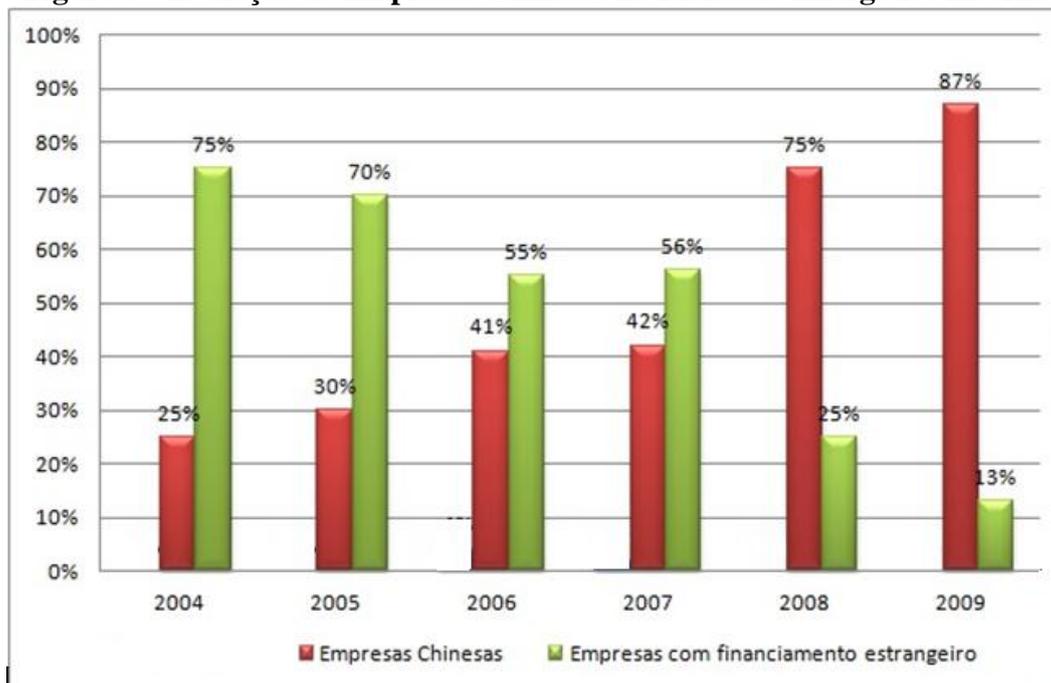
1. Empresas estatais consolidadas, como Sinovel, Goldwind, Dongfang, com notável capacidade tecnológica e que já atuavam no mercado internacional de turbinas;

2. As subsidiárias de transnacionais que também fabricavam turbinas de até 1 MW no país para competir com as empresas domésticas no mercado chinês;
3. As novas entrantes, que produziam turbinas de até um MW para atender a demandas específicas do mercado chinês e que também tinham, em sua maioria, participação estatal em sua composição acionária, que totalizavam cerca de 50 empresas.

Adicionalmente, o governo chinês continuou a promover a fabricação e desenvolvimento de tecnologia nacional por meio de processo de licitação.

Após meados dos anos 2000, a indústria manufatureira chinesa de turbina eólica decolou rapidamente e, desde então, tem se desenvolvido rapidamente. De 2007 a 2008, o número de fabricantes de turbinas domésticos na China subiu de 40 para 70. A figura 9 mostra o mercado doméstico de aerogeradores, diferenciando as empresas chinesas, estrangeiras e as *joint ventures* (LIU *et al.*, 2010; GWEC, 2010).

Em 2004, as empresas nacionais atendiam a apenas um quarto da produção de aerogeradores do país e em 2009 esta taxa alcançou quase 90%. No final de 2011, existiam mais de 40 empresas locais envolvidas na fabricação de aerogeradores, além das quatro gigantes Sinovel, Goldwind, Guodian United Power e Ming Yang Wind Power, que ocupam respectivamente a segunda, terceira, oitava e décima posição no mercado mundial. Este gráfico revela o rápido processo de endogeneização tecnológica das empresas chinesas. Em 2012, a China anunciou o primeiro aerogerador desenvolvido exclusivamente com tecnologia nacional.

Figura 9 - Evolução de Empresas Chinesas no Mercado Energético Interno

Fonte: GWEC, 2010

Ao final de 2010, as turbinas produzidas pelas empresas chinesas já alcançaram uma capacidade de 1,5-2,0 MW. Isto representa um avanço tecnológico importante uma vez que no início dos anos 2000, a produção chinesa se concentrava basicamente em modelos inferiores a um MW. Tais empresas também começaram a expandir-se para o mercado internacional ao final da década de 2000 (MARTINOT; JUNFENG, 2010).

O ano de 2011 foi importante para os fabricantes de turbinas eólicas chinesas: as empresas Sinovel, Goldwind, United Power e Dongfang Electric entraram na lista dos dez maiores fabricantes de turbinas eólicas do mundo. Até 2011, o governo chinês não havia colocado o desenvolvimento de um sistema próprio de padronização e certificação de aerogeradores como prioridade. As fabricantes chinesas de turbinas de grande porte que atuavam no mercado internacional tinham que recorrer aos órgãos americanos ou europeus de certificação. Porém, com as empresas chinesas começando a atuar no mercado internacional, o governo já sinalizou a preocupação em investir no desenvolvimento de um sistema próprio de padronização e certificação para as fontes renováveis. Prevê-se que a China tenha um sistema próprio de padronização e certificação em 2015 (WALLACE *et al.*, 2012).

Assim, é possível afirmar que a experiência chinesa foi extremamente bem sucedida. Em menos de uma década, o país passou por um forte processo de endogeneização do processo técnico e se tornou importante produtor de equipamentos

eólicos, além de alcançar liderança na capacidade instalada de energia eólica (LEMA *et al.* 2013; 2011).

Para compreender o extraordinário crescimento das empresas chinesas é preciso analisar tanto fatores estruturais quanto conjunturais. Em relação aos primeiros, o sucesso do alcance da liderança chinesa é fruto de uma política sistêmica, que utilizou uma vasta gama de instrumentos para apoiar a indústria eólica no país. Em sua estratégia para o desenvolvimento da indústria eólica chinesa, é possível identificar alguns mecanismos tradicionais e bastante utilizados pelos demais países como tarifa prêmio, garantia de compra de energia eólica, disponibilidade de financiamento, incentivos fiscais de toda ordem e subsídios tanto para empreendedores quanto para os fabricantes de equipamentos (CHERNI, KENTISH 2007).

Porém, o governo chinês também recorreu à criação de empresas estatais de fabricação de equipamentos, compra de empresas estrangeiras de alta tecnologia, requerimento de formação de *joint ventures* entre as empresas estrangeiras e as chinesas para que as primeiras tivessem acesso ao mercado chinês, estabelecimento de um índice de nacionalização para participar dos processos de licitação dos empreendimentos eólicos, entre outros (BOTTA, 2013). Adicionalmente o enorme mercado chinês também serviu como âncora para desenvolvimento desta indústria (RU *et al.*, 2012).

Além de adotar uma vasta gama de medidas para estimular a fonte eólica, é necessário reconhecer que o governo chinês também utilizou forma bastante eficiente os instrumentos de política. A política tarifária é um exemplo. As tarifas de importação eram elevadas quando o objetivo era proteger a indústria doméstica e reduzidas quando a intenção era estimular a importação para dar suporte ao desenvolvimento local da cadeia produtiva (ZAO *et al.*, 2012).

Outro exemplo, ainda em relação à política tributária, foi o aumento da taxa da importação de equipamentos completos de médio porte quando a indústria nacional produzia equipamentos deste porte. À medida que as empresas chinesas começaram a fabricar equipamentos maiores, as tarifas foram se ajustando (ZAO *et al.*, 2012). A partir de 2008, o governo chinês passou a restringir a importação de equipamentos completos de grande porte e a incentivar a importação de componentes de maior valor agregado para turbinas de grande porte, pois o objetivo era estimular o processo de transferência tecnológica nestes componentes. Em 2010, o governo retirou da exigência de 70% de participação de conteúdo nacional em termos do valor dos materiais e

componentes incorporados. Este requisito já não era necessário, pois a maioria dos aerogeradores instalados já era produzida nacionalmente (ZHOU *et al.*, 2012).

A política tributária da China levou em consideração o estágio da tecnologia nacional e foi extremamente hábil no sentido de proteger a indústria local da competição externa em faixas de tecnologia que já estavam completamente dominadas pelos países líderes, mas mantendo os processos de transferências de tecnologia nos segmentos ainda não dominados pelas empresas nacionais (ZHOU *et al.*, 2012)

As demais políticas atuaram de forma similar. As políticas industriais estimulavam a formação de *joint ventures* como principal canal de transferência tecnológica. Com a consolidação das empresas chinesas nos processos produtivos, tais políticas passaram a incentivar a capacitação chinesa em desenhar os aerogeradores. Assim, a política industrial passou a exigir que os aerogeradores fossem adaptados às especificidades dos ventos chineses e a estimular processos de *joint-design* entre as empresas chinesas e as estrangeiras. O papel das *joint venture* foi se alterando de acordo com o estágio de desenvolvimento da tecnologia (LEWIS, 2011).

Mas é preciso compreender que as políticas adotadas para a fonte eólica vão além de uma visão setorial. O desenvolvimento da indústria eólica na China está atrelado a uma estratégia de desenvolvimento mais ampla adotada pelo Estado Chinês. A partir da década de 1970, a China passou a apostar no desenvolvimento da ciência e tecnologia como pilar do desenvolvimento do país; na década de 1990, o Estado Chinês estabeleceu como meta alcançar a liderança nas principais tecnologias ambientais e, na década de 2000, passou a apostar no desenvolvimento de inovações específicas para a sociedade chinesa, as chamadas *indigenous innovation*. Foge ao escopo da presente pesquisa analisar tal estratégia, mas é importante reconhecer que o desenvolvimento da indústria eólica está ancorado em um projeto mais amplo⁴⁴.

⁴⁴ O desenvolvimento da energia eólica na China está atrelado a uma estratégia mais ampla do Estado Chinês iniciada na década de 1970. Como apontado por Podcameni e Cassiolato (2013), o êxito do recente processo do desenvolvimento tecnológico chinês deve ser compreendido tendo como base o processo de reforma da sociedade por Deng Xiaoping em 1978. Tais reformas colocaram a ciência e a tecnologia como centrais no processo de desenvolvimento econômico. Segundo Xiaoping, a ciência e a tecnologia eram forças produtivas e motores de modernização da sociedade chinesa. Na década de 1980, Deng Xiaoping afirmou que a “reforma do sistema de C&T servia para liberar forças produtivas” que estariam reprimidas pelas condições atrasadas da tecnologia chinesa. Ao final, determinou uma completa reforma do sistema de C&T com o objetivo de reorientá-lo para a melhoria do desempenho econômico. As políticas de inovação aumentaram em número e em alcance ao longo da década de 1990. Além de focarem na geração de novos programas de C&T, foram progressivamente alinhando políticas tarifárias, financeiras e fiscais, reforçando uma visão sistêmica de inovação. A geração de capacidade inovativa e a geração de um ambiente propício para o desenvolvimento tecnológico se tornaram prioridade nacional. Ao longo da última década, a política centrou-se no apoio a trajetórias tecnológicas específicas à

A experiência chinesa revela uma reforma estrutural apoiada numa ampla gama de instrumentos onde os diferentes contextos, sistemas cognitivos e formas de articulação, cooperação e de aprendizado interativo entre agentes foram incorporados às políticas.

Além dos fatores estruturais mencionados acima, fatores conjunturais também favoreceram a expansão da indústria eólica chinesa. Como mencionado, a crise internacional de 2008 provocou uma reconfiguração do setor eólico internacional. A crise global teve efeitos mais perversos sobre os EUA e Europa e alterou o eixo dinâmico do crescimento produtivo da economia global. O dinamismo no investimento, na produção e no consumo, passou a ter origem em países emergentes. Este redirecionamento repercutiu em áreas estratégicas, como a energia eólica. A crise econômica de 2008 enfraqueceu os mercados tradicionais de energia eólica e favoreceu a expansão dos mercados emergentes, sendo a China o país que mais expandiu o setor eólico desde então.

Em 2010, a China concentrou quase metade dos investimentos mundiais em capacidade adicional, ultrapassou os EUA em capacidade total instalada, alcançando a liderança global tanto em capacidade instalada quanto em fabricação de aerogeradores.

Em suma, a conquista da liderança chinesa na indústria eólica foi impulsionada por fatores conjunturais associados à crise internacional, mas é fruto de uma reforma estrutural do Estado Chinês baseada na introdução de um conjunto de políticas sistêmicas e articuladas.

3.4. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Apesar de cada país possuir suas idiossincrasias, as experiências internacionais mostram que tanto o desenvolvimento de capacidade instalada de energia eólica no país quanto o desenvolvimento industrial associado ao setor eólico sempre estiveram atrelados a um projeto de Estado. A promoção da energia eólica não foge à regra de

realidade chinesa. Desde 2006, o governo aprofundou o modelo de desenvolvimento baseado na sustentabilidade ambiental que, com uma estratégia bem definida de políticas governamentais, forte P&D e desenvolvimento de uma cadeia de produção, conseguiu alcançar a liderança global nas tecnologias ambientais.

outras grandes inovações radicais que se desenvolveram fortemente ancoradas em recursos e programas governamentais de pesquisa (MAZZUCATTO, 2011).

Este capítulo teve como objetivo descrever, de forma sucinta, os principais instrumentos que os governos utilizaram para apoiar a indústria eólica. Foi selecionado um conjunto de seis países que representam os casos mais significativos de política na indústria eólica: Dinamarca, Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Índia e China.

Apesar de os organismos internacionais insistirem que os governos devem atuar apenas em política que foquem na criação de mercado eólico, tais como implementação de cotas ou tarifas prêmio para energia eólica, a experiência internacional mostrou que, nos países onde a fonte eólica teve um forte desenvolvimento, os Estados utilizaram uma grande variedade de políticas que vão além dos instrumentos de mercado. Diferentes políticas como, por exemplo, a educacional, a tributária, de CTI, a fiscal, foram utilizadas para apoiar o desenvolvimento da indústria eólica. Os Estados não restringiram suas atuações a uma visão setorial.

Este aspecto revela a importância de adotar uma visão sistêmica que promova um alinhamento entre as diversas políticas adotadas. Adicionalmente, é importante que os instrumentos de política atuem de forma conectada com o contexto sócio institucional do país. O estágio da tecnologia deve ser levado em consideração, assim como as especificidades dos países.

A análise das principais políticas adotadas para a indústria eólica no mundo fornece elementos necessários para que seja possível compreender a evolução desta indústria. Assim, o próximo capítulo encerra a segunda parte da pesquisa trazendo um panorama da indústria eólica mundial.

CAPÍTULO 4 - PANORAMA DA INDÚSTRIA EÓLICA NO MUNDO

“Mais do que transformação, o desenvolvimento é invenção, comporta um elemento de intencionalidade. As condições requeridas para que esse elemento se manifeste com vigor dão-se na história, ou seja, são irreduzíveis a esquemas formalizáveis”. (FURTADO, 1984: p.105)

4.1. INTRODUÇÃO

A energia eólica é uma energia renovável, de baixo custo operacional e de rápida implantação. Porém, os elevados custos iniciais da energia eólica e o estágio inicial de desenvolvimento desta tecnologia conferiram a ela uma característica de energia alternativa, i.e., não uma fonte de energia competitiva. A busca por aumentar a segurança energética e posteriormente pela redução de emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), culminou na adoção de políticas de inserção de energia eólica em diversos países. Em 2005 apenas 55 países adotavam algum tipo de incentivo às fontes renováveis, enquanto que no início de 2011, tais políticas estavam presentes em 118 países (SIMAS, 2012). A adoção de incentivos para a energia eólica resultou no aumento da participação desta tecnologia em diversos países e na consolidação da indústria de equipamentos eólicos.

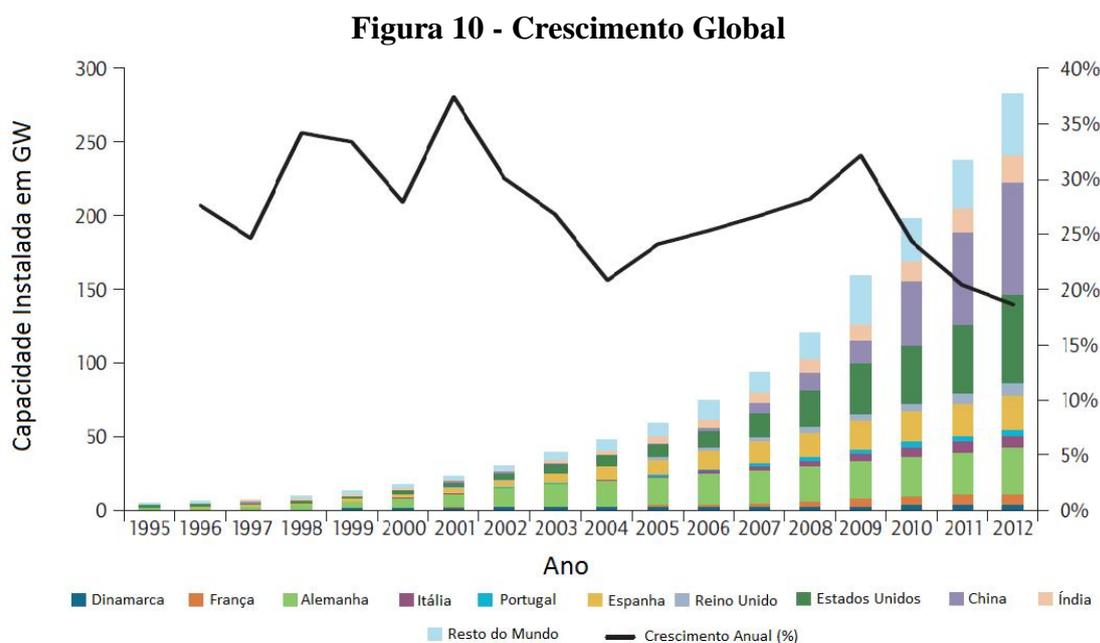
Em escala global, entre 2000 e 2009, 11% da capacidade adicional global foi de origem eólica, e apenas em 2009 esse número ficou em torno de 20%. Diversos países começam a atingir níveis significativos de geração eólica em seus sistemas e a fonte eólica tem deixado de ser uma fonte alternativa para se tornar uma fonte competitiva. Em 2009, a energia eólica praticamente se igualou à energia gerada por biomassa e resíduos e foi a fonte energética que mais cresceu em termos de capacidade instalada anual (IEA, 2013). A evolução da capacidade instalada de energia eólica no mundo foi acompanhada pela expansão da indústria eólica.

Este capítulo tem como objetivo apresentar o panorama da indústria eólica no mundo. Para tal, é composto de três seções, além da introdução e da conclusão. Após esta breve introdução, a evolução global da capacidade instalada da energia eólica é apresentada. Na sequência, discute-se a evolução da energia eólica nos diferentes países. Optou-se por analisar o mesmo conjunto de países abordados no capítulo 3.

Posteriormente, a análise se volta para a evolução da estrutura produtiva da indústria eólica. Assim, a quarta seção discute o panorama das principais OEMs no mundo. Nesta seção, a importância dos mercados domésticos para cada OEM é discutida. Por fim, algumas conclusões preliminares são apresentadas.

4.2. PANORAMA GLOBAL DA CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA EÓLICA

Conforme já abordado anteriormente, a energia eólica tem sido crescentemente adotada por inúmeros países e já se consolidou como uma fonte de geração de eletricidade global importante.



Fonte: Agência Internacional de Energia (2013)

Apesar de essa expansão ter se dado num ritmo menor a partir de 2009, em função da crise financeira global, a perspectiva é de que a indústria eólica mantenha o ritmo de expansão.

Até 1995, a energia eólica ainda era pouco significativa. A partir de 1996, esta fonte teve um alto crescimento que se intensificou a partir de 2004. Entre 2004 e 2009, a fonte eólica manteve uma taxa de 25% de crescimento anual na capacidade instalada.

Em 2009, esta taxa alcançou 32% (AIE, 2013). A partir desta data, houve uma desaceleração devido aos efeitos da crise financeira, como mostra a figura 10.

Conforme já visto, com a crise financeira de 2008 o mercado de energia eólica se reduziu significativamente na Europa e nos Estados Unidos, favorecendo o surgimento de novos mercados, principalmente na Ásia. Em 2010 a China posicionou-se como líder mundial em capacidade total instalada e, ao final de 2011, mais de um quarto de toda a capacidade eólica instalada no mundo estava presente em territórios chineses (IEA, 2013; SIMAS, 2012).

A quantidade global acumulada de energia eólica instalada em 2012 totalizava cerca de 280 GW e vinte e dois países tinham mais de 1.000 MW de energia eólica instalada (IEA, 2013).

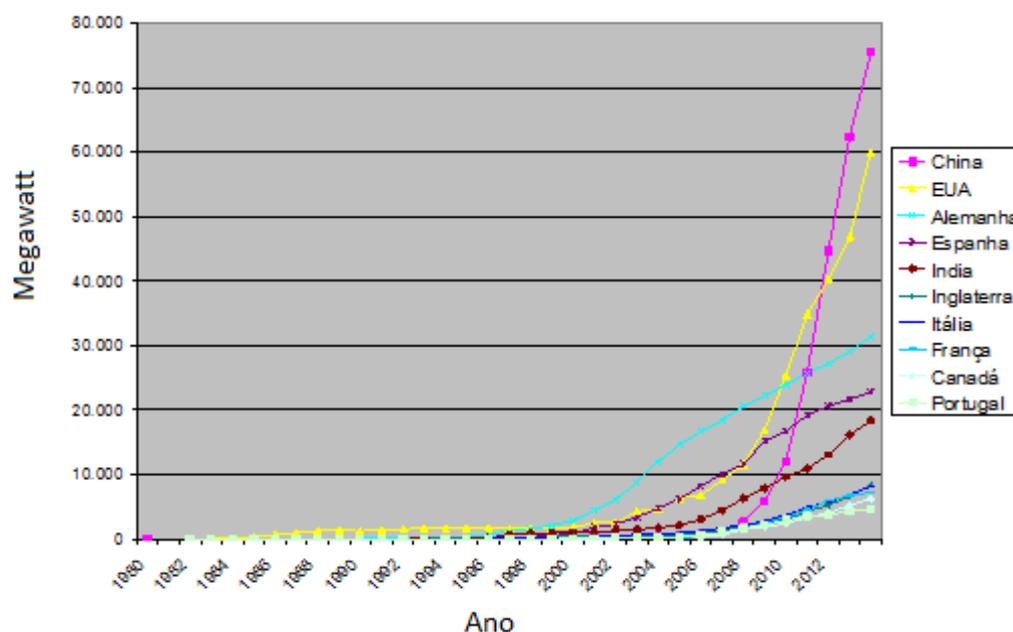
A figura 10 também revela que os países foram desenvolvendo esta fonte de forma desigual ao longo do tempo. A próxima seção mostra a evolução por país.

4.3. CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA EÓLICA POR PAÍS

A taxa de expansão de energia eólica em cada país varia significativamente. Nos anos 1980, por exemplo, os EUA eram o principal mercado para energia eólica (HOPKINS, LAZONICK 2012). Na década de 1990 e no início do século atual, as maiores taxas de crescimento destas atividades foram verificadas na Europa, em especial na Alemanha. Em 2008 os EUA recuperaram a liderança global. Em 2010, os EUA perdem a liderança para a China. Em 2011 a capacidade instalada adicionada pela China foi de aproximadamente 50% do total mundial, três vezes maior do que a dos EUA e nove vezes maior do que a da Alemanha (EARTH POLICY INSTITUTE, 2014).

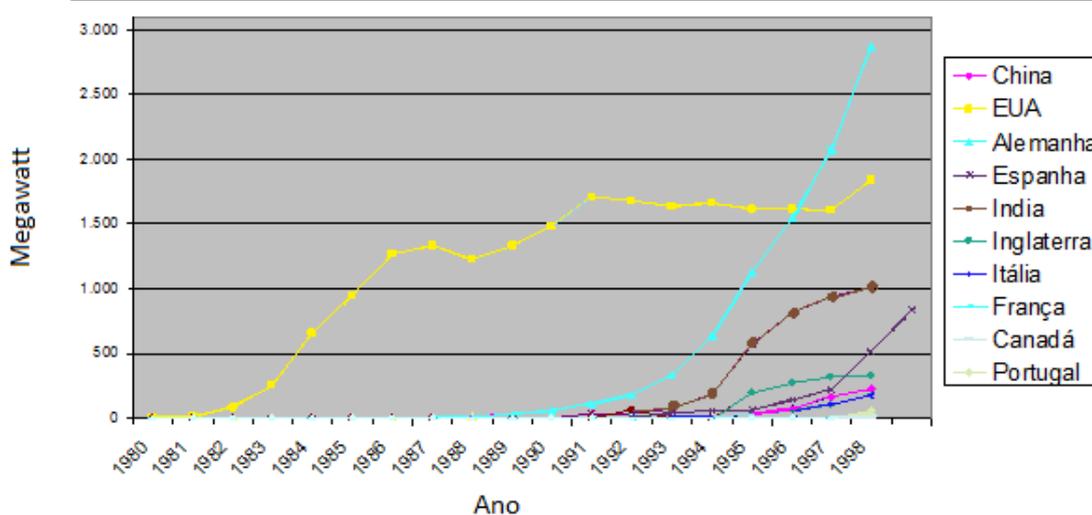
A figura 11 apresenta a evolução da capacidade acumulada nos países no período de 1980 até 2012. A figura evidencia o crescimento exponencial da China a partir dos anos 2000. Por problema de escala, optou-se por evidenciar o período entre 1980 até 1998 separadamente (figura 12). O objetivo deste segundo gráfico é evidenciar o início da liderança norte-americana e o momento em que a Alemanha a assumiu.

Figura 11 - Evolução da energia eólica por país desde 1980 até 2012



Fonte: Elaboração própria com dados do Earth Policy Institute (2013)

Figura 12 - Evolução da energia eólica por país desde 1980 até 1998



Fonte: Elaboração própria com dados do Earth Policy Institute (2013)

Conforme descrito no capítulo 3, o crescimento do mercado eólico chinês está atrelado a uma ampla gama de políticas – industriais, tecnológicas e de mercado - que utilizam o mercado interno como estratégia de desenvolvimento de tecnologias. Como apontam diversos documentos de CTI chineses, um dos pilares de sua estratégia é

alcançar a liderança no desenvolvimento das principais tecnologias ambientais globais, o que inclui as tecnologias ligadas à energia eólica⁴⁵.

O crescimento do setor de energia eólica da China desde 2006 surpreendeu até mesmo os analistas mais otimistas do setor. Conforme apontado IRENA (2012).

“This rapid cycle of technological, human and institutional learning has not been witnessed in any other market” (IRENA, 2012, p. 52).

Junto com a China, a Índia também tem se tornado, desde 2009, importante mercado para a indústria eólica. Em 2011, o setor de energia eólica indiano experimentou um crescimento recorde, com mais de 3 GW de novas instalações (IRENA, 2012).

Em função da liderança da China, da expansão indiana e dos reflexos da crise financeira mundial, ocorreu uma inversão histórica: em 2010, pela primeira vez o crescimento do mercado eólico foi puxado pelas economias emergentes e não pelos países membros da OCDE:

“In 2010, for the first time ever, more new wind power capacity was installed in developing countries and emerging economies than in the traditional wind markets of the OECD. This puts an end to the assertion that wind power is a premium technology only for rich countries which cannot be deployed at scale in other markets” (GWEC, 2011, p. 1).

Em contraste com a expansão da China e da Índia, o período de 2009 a 2011 foi marcado por menores taxas de novas instalações de geração eólica nos EUA e na Europa. O mercado norte-americano instalou 5MW, em 2010, quase 50% a menos parques eólicos do que o verificado em 2009. No mercado europeu, a nova capacidade instalada em 2010 foi de cerca de 10GW, ou seja, 7,5% menor do que a de ano anterior, apesar de um aumento de 50% do mercado *offshore* na Europa (GWEC, 2012).

Em 2011, a crise nos países centrais continua e o relatório anual do GWEC (2012) destaca:

“The distribution of the growth reveals that for the second year, the majority of new installations were outside the OCDE countries, a trend that seems to be established (...). The aftershocks of the credit crisis, the continuing Eurozone crisis, and regulatory and political turmoil in the traditional

⁴⁵ Para mais detalhes sobre a estratégia do Estado chinês em relação às tecnologias ambientais, ver Podcameni e Cassiolato (2013).

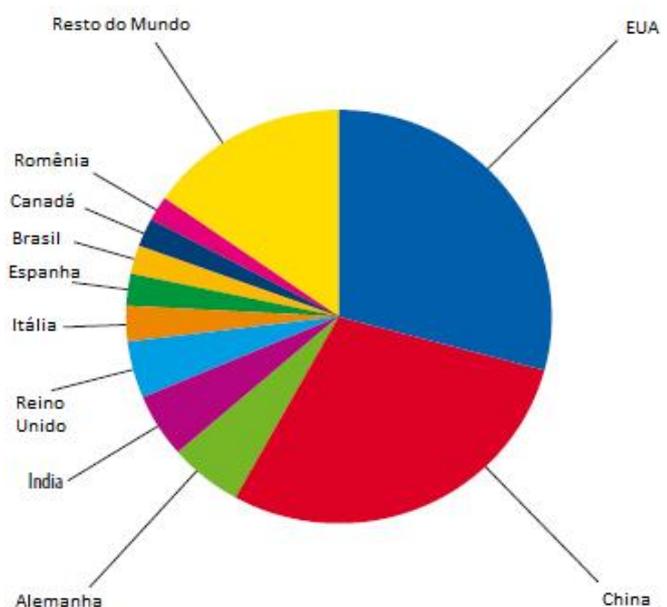
markets in Europe and North America continue to hamper the industry”.
(GWEC, 2012, p. 1).

Porém, vale notar que a previsão do GWEC (2012) foi um pouco diferente das expectativas. Segundo relatório GWEC 2013, em 2012, a China e a Índia reduziram um pouco a ritmo de implantação da fonte eólica enquanto os EUA se recuperaram e tiveram uma forte expansão.

Em 2012, a China implementou 12,9 GW de energia eólica, um pouco menos que a média dos três anos anteriores, e a Índia também reduziu a taxa de incremento da capacidade de geração de energia eólica, de 3 GW para 2,3 GW (GWEC, 2013). A redução da taxa chinesa foi interpretada pelos analistas (GWEC, 2013) como um sinal de maturidade do mercado eólica chinês, já a redução da Índia ocorreu em função de instabilidade de algumas políticas de fomento a fonte eólica.

Em contraste com a China e com a Índia, os EUA tiveram uma taxa de expansão superior aos 3 últimos anos. O ano de 2012 foi considerado um ano histórico para a energia eólica nos EUA. O país conectou 13,1 GW de nova capacidade de energia eólica utilizando 25 bilhões de dólares em investimentos privados. Em 2012, dentre as fontes de energia elétrica, a eólica foi a mais instalada nos EUA, fornecendo cerca de 40% de toda a nova capacidade instalada da época. Vale ainda destacar o quarto trimestre de 2012, quando foram inseridos 8,4 GW de energia eólica à rede elétrica norte-americana. Trata-se de um recorde na história de energia do país. Esta fortíssima expansão se deveu, em grande parte, a proximidade da data de expiração do crédito federal tributário (PTC), estipulado para ser extinto em 31 de dezembro de 2012. Porém, o Congresso norte-americano estendeu o PTC por mais um ano (GWEC, 2013).

Frente à desaceleração da China e à forte expansão norte-americana, os dois países instalaram praticamente a mesma quantidade de energia eólica em 2012: 12,9 GW e 13,1 GW respectivamente (GWEC, 2013).

Figura 13 - Dez maiores países em novas capacidades instaladas (Jan-Dez 2012)

País	MW	% de Participação
EUA	13,124	29,3
China	12,960	28,9
Alemanha	2,415	5,4
Índia	2,336	5,2
Reino Unido	1,897	4,2
Itália	1,273	2,8
Espanha	1,122	2,5
Brasil	1,077	2,4
Canadá	935	2,1
Romênia	923	2,1
Resto do Mundo	6,737	15,0
TOTAL TOP 10	38,062	85
Total Mundial	44,799	100,0

Fonte: GWEC (2013)

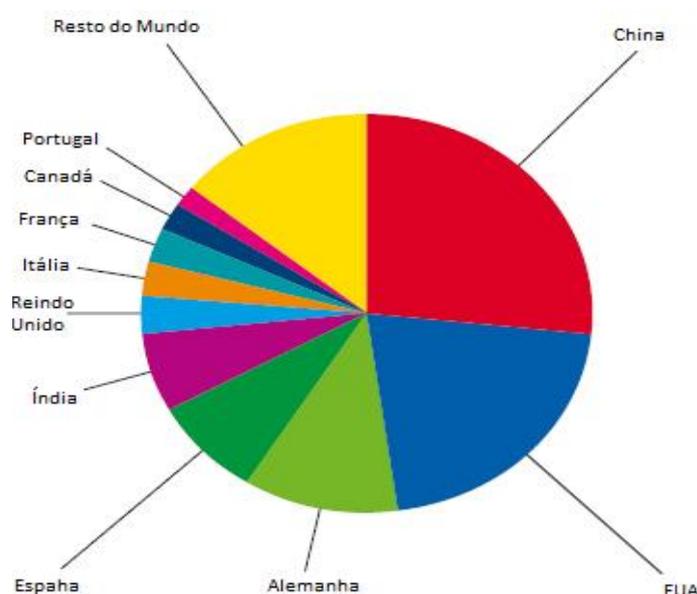
Assim, em 2012, a maioria das instalações de fonte eólica voltou a se concentrar nos países membros da OCDE pela primeira vez desde 2009, mesmo com o excelente desempenho da China. Este resultado foi em grande parte consequência do excepcional desempenho dos EUA e de uma recuperação do mercado europeu.

Outro dado interessante é que o Brasil entra no *ranking* dos dez maiores países, ficando na oitava posição. O país também se beneficiou do movimento de redirecionamento dos investimentos em energia eólica em direção aos países

emergentes. Em 2010, foram instalados 326 MW no Brasil, 24% a mais do que em 2009 (GWEC, 2011) ⁴⁶.

Apesar de os EUA terem ultrapassado (marginalmente) a China em nova capacidade instalada em 2012, a última ainda se mantém como líder em capacidade acumulada total. A figura 14 compara as dez maiores capacidades acumuladas em energia eólica no fim de 2012 e mostra que 26% das instalações eólicas mundiais se concentram na China enquanto 21% se concentram em território norte-americano. A Alemanha e Espanha representam 11% e 8%, respectivamente, enquanto a Índia se destaca com 6% da capacidade global instalada (GWEC, 2013).

Figura 14 - Países com maiores capacidades acumuladas em energia eólica (Dezembro 2012)



País	MW	% de Participação
China	75,324	26,7
EUA	60,007	21,2
Alemanha	31,308	11,1
Espanha	22,796	8,1
Índia	18,421	6,5
Reino Unido	8,445	3,0
Itália	8,144	2,9
França	7,564	2,7
Canadá	6,200	2,2
Portugal	4,525	1,6
Resto do Mundo	39,853	14,1
Total TOP 10	242,734	85,9
Total Mundial	282,587	100,0

Fonte: GWEC (2013)

⁴⁶ Como será visto na seção III desta tese, o Brasil, tem desde 2009, expandido significativamente a capacidade instalada desta fonte de energia.

4.4. PANORAMA DAS OEMs NO MUNDO

Conforme já mencionado no capítulo 2, as OEMs se caracterizam essencialmente como uma indústria de equipamentos concentrada em um grupo restrito de empresas. Os dez maiores fabricantes mundiais de aerogeradores concentram aproximadamente 70% do mercado em 2012. Mas esta concentração historicamente já foi superior. Em 2005, por exemplo, as seis maiores OEMs representavam quase 80% do mercado e a Vestas chegou a concentrar um quarto da produção mundial. Em 2009, a participação da empresa dinamarquesa caiu para 12%. As participações no mercado global da GE, Gamesa, Enercon e GE também caíram substancialmente entre 2005 e 2011. No mesmo período, as empresas chinesas, que praticamente não tinham representatividade em 2005, alcançam 35% da produção mundial em 2011 (BTM CONSULT, 2013).

Em 2011 e 2012, houve uma queda da participação das empresas chinesas e uma recuperação das empresas europeias e norte-americanas. Em 2012 a Vestas perdeu a liderança pela primeira vez, para a empresa norte-americana GE (BTM CONSULT, 2013).

Tabela 2 - Dez maiores fabricantes mundiais de aerogeradores

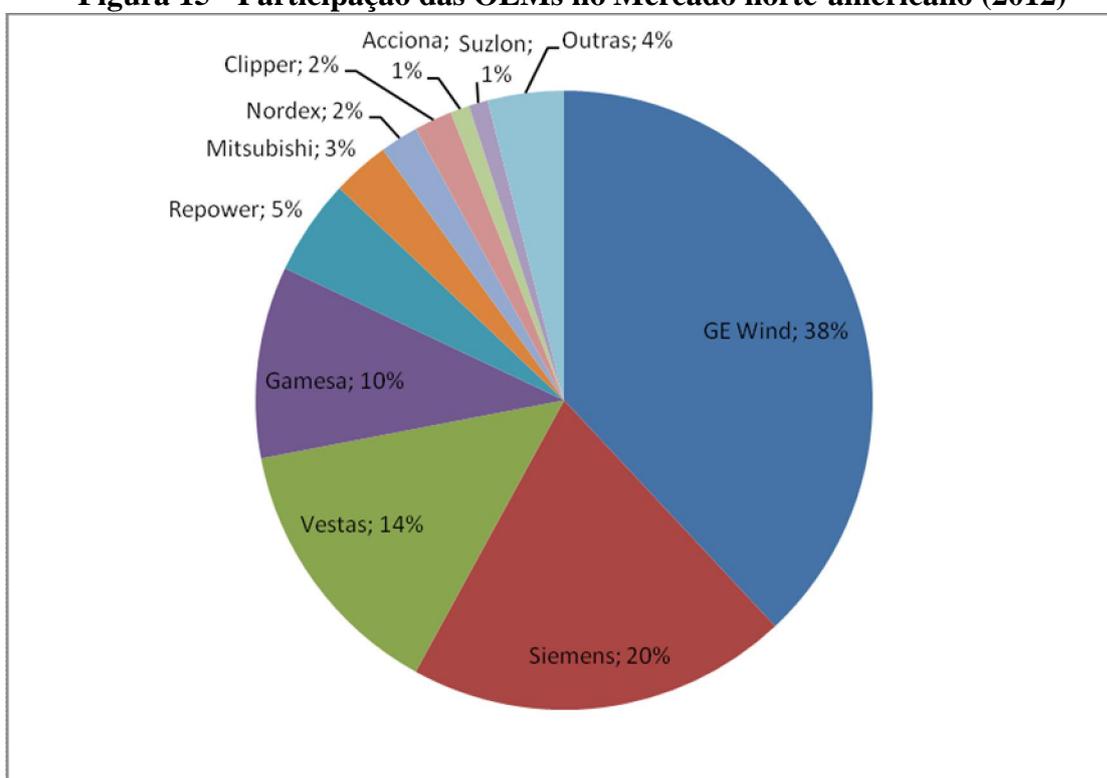
Fabricante	País	Market Share (%)							
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Vestas	Dinamarca	27,8	28,2	22,8	19	12,5	14,8	12,9	14
Sinovel	China	0	0,5	3,4	5	9,2	11,1	9	3,2
Goldwind	China	1,1	2,8	4,2	4	7,2	9,5	9,4	6
Gamesa	Espanha	12,8	15,6	15,4	11	6,7	6,6	8,2	6,1
Enercon	Alemanha	14,2	15,4	14	9	8,5	7,2	7,9	8,2
GE	EUA	17,5	15,5	16,6	18	12,4	9,6	8,8	15,5
Suzlon	Índia	6,1	7,7	10,5	7	6,4	6,9	7,7	7,4
Guodian	China	*	*	*	*	1,1	4,2	7,4	*
Siemens	Alemanha	5,4	7,3	7,1	7	5,9	5,9	6,3	9,5
Mingyang	China	*	*	*	*	*	*	2,9	2,7

Fonte: BTM Consult, 2013

Conforme mencionado, a evolução das OEMs está ancorada nos mercado doméstico. A tabela 2 revela que a GE alcançou a liderança pela primeira vez na história

em 2012. Como apontado no capítulo 3, em 2012 houve uma corrida a projetos eólicos nos Estados Unidos. Como mostra a BTM Consult (2013), a recuperação recente de vendas das turbinas da GE foi atrelada a uma expansão do mercado interno norte-americano. Em 2006, a GE dominava o mercado norte-americano de produção de aerogeradores com 37% do market share (BTM CONSULTORIA, 2007). Entre 2006 a 2012, a participação da GE⁴⁷ no mercado norte-americano oscilou entre 28% a 50%, alcançando seu índice mais baixo em 2011 (EWEA DATABASE). Em 2012, a GE expandiu sua participação no mercado norte-americano e alcançou novamente o patamar semelhante ao de 2006 (EWEA DATABASE).

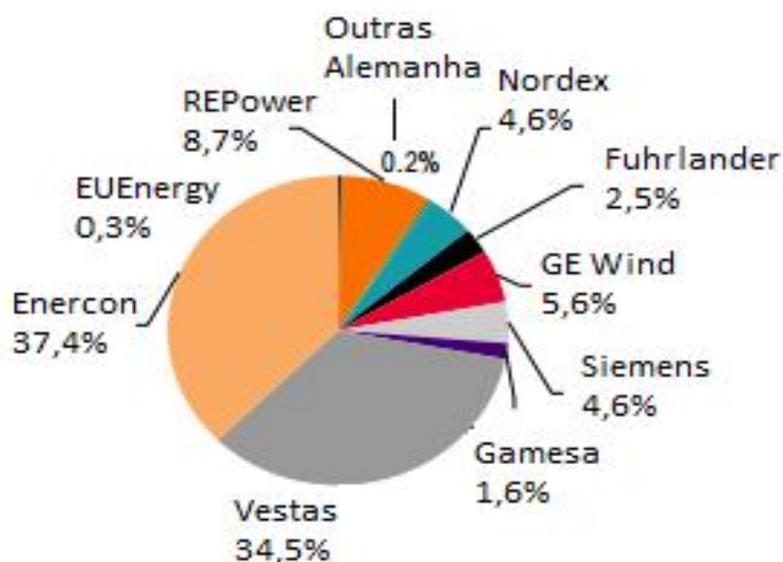
Figura 15 - Participação das OEMs no Mercado norte-americano (2012)



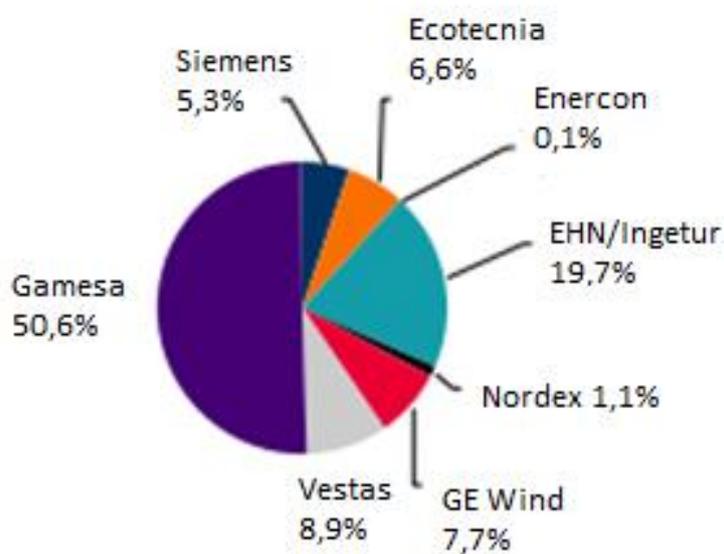
Fonte: AWEA DATABASE

As OEMs europeias também se firmaram com base em seus mercados domésticos. Em 2006, as empresas espanholas Gamesa, Ecotecnia, ENH/Ingetur dominavam 76% das vendas de aerogeradores na Espanha, enquanto as empresas alemãs Enercon, Repower, Nordex, Fuhrlander, Siemens alcançavam 55% do mercado alemão (EWEA DATABASE).

⁴⁷ Acessado em Março de 2014 <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-6356e.pdf>

Figura 16 - Participação no Mercado: Alemanha em 2006

Fonte: BTM CONSULTORIA (2007)

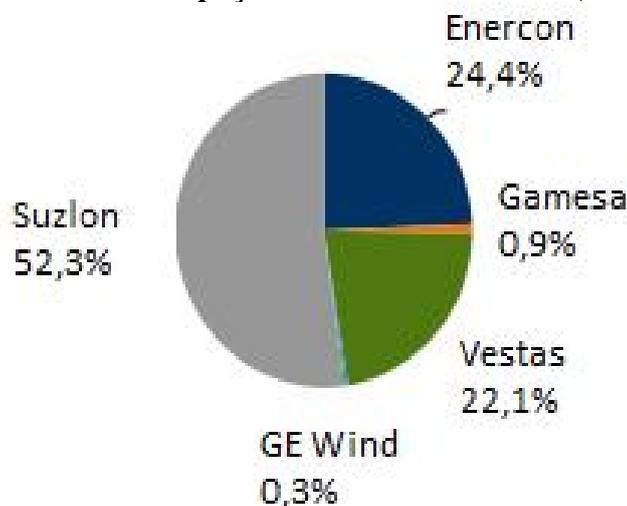
Figura 17 - Participação no Mercado: Espanha (2006)

Fonte: BTM CONSULTORIA (2007)

Os países que desenvolveram sua capacidade produtiva de aerogeradores baseada em políticas de promoção de IDE, como a Índia e a China, também foram expandindo a participação das empresas domésticas na medida em que seus mercados eólicos foram se consolidando. As empresas subsidiárias de transnacionais foram

reduzindo sua participação no mercado indiano e, em 2006, a empresa indiana Suzlon já representava metade do mercado local (BTM, 2007).

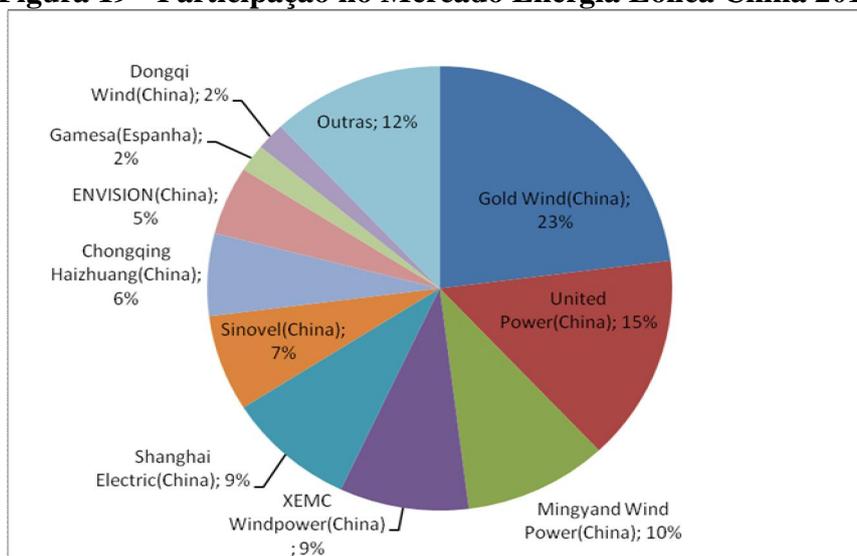
Figura 18 - Participação no Mercado indiano (2006)



Fonte: BTM CONSULTORIA (2007)

Conforme já mencionado, as subsidiárias de transnacionais vêm perdendo espaço no mercado chinês, em função de políticas tecnológicas e industriais que apóiam as OEMs locais. A figura 9 (do capítulo 3) mostra o intenso processo de endogeneização tecnológica das empresas chinesas. Em apenas cinco anos (2004 a 2009), as OEMs chinesas eram responsáveis por quase 90% dos equipamentos eólicos produzidos na China. Entre 2009 e 2013, a participação das empresas chinesas declinou um pouco chegando a 80%.

Figura 19 - Participação no Mercado Energia Eólica China 2013



Fonte: Industrial Securities (2013)

A perda de espaço das subsidiárias no mercado eólico chinês é nítida: em 2006, a Vestas e a Gamesa tinham 44% daquele mercado e, em 2010, esse percentual foi reduzido para 13%. A perda relevante do *market-share* chinês e a redução dos mercados tradicionais de energia eólica levaram tais OEMs a buscarem novos destinos para seus equipamentos. (BERGER, 2011).

Adicionalmente, a consolidação das OEMs chinesas no mercado, pressiona o preço dos aerogeradores para baixo. Conforme mostra Lemus (2012), o principal diferencial competitivo das empresas chinesas é o baixo preço de suas turbinas eólicas, que é alcançado em função de menores custos de mão de obra e de matéria-prima, dos investimentos estatais na indústria de turbinas e um modelo de produção de aerogeradores que a China consolidou. O modelo chinês padronizou a fabricação dos componentes dos aerogeradores e conseguiu reduzir o custo de produção do mesmo.

Assim, em função dos menores custos e dos investimentos estatais, o preço médio praticado pelas OEMs chinesas no mercado local em 2010 foi quase a metade do preço médio praticado pelas OEMs europeias em seus próprios mercados (LEMUS, 2012).

Perante o aumento da pressão competitiva da indústria eólica, as OEMs europeias e norte-americanas estão tendo que alterar suas estratégias produtivas. Além de investir em inovações em *design* dos principais componentes da turbina e no uso de novos materiais, estas OEMs estão transferindo parte de sua produção para perto dos mercados locais. A instalação em unidades produtivas próximas ao mercado consumidor, especialmente para produção de componentes intensivos em mão de obra, tem sido uma estratégia recorrente que conseguiu reduzir custos (LEMUS, 2012; CAMILLO, 2012).

Os locais escolhidos para a instalação de novas unidades produtivas têm sido países com perspectivas de crescimento de longo prazo e que também possam servir como plataforma de exportação para países próximos. Neste contexto, o Brasil tem se tornado um dos importantes mercados para estas OEMs. Como será visto nos capítulos subsequentes, o desenvolvimento do mercado eólico no Brasil ocorria de forma lenta até 2009, quando a reconfiguração das OEMs iniciou um novo ciclo de desenvolvimento.

4.5. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, buscou-se compreender a evolução da indústria eólica no mundo. A evolução global da capacidade instalada foi apresentada, enfatizando a rápida expansão desta fonte no mundo. Na sequência, discutiu-se a evolução da energia eólica por países. Optou-se por analisar o mesmo conjunto de países que o capítulo 3. Mais uma vez o impacto da crise internacional foi mencionado como divisor, permitindo a ascensão de novos mercados eólicos.

Na sequência, a análise se voltou para a evolução da estrutura produtiva da indústria eólica e a evolução das principais OEMs no mundo foi apresentada. A importância dos mercados domésticos para a evolução das OEMs foi destacada. Ademais, a reconfiguração da estrutura produtiva e as mudanças das estratégias de produção das OEMs depois de 2009 foram analisadas.

O aumento da pressão competitiva da indústria eólica está impulsionando as OEMs a instalarem unidades produtivas próximas ao mercado consumidor. Neste contexto, o Brasil tem se tornado um importante mercado para estas OEMs. Assim, a vinda das OEMs para o Brasil está inserida num contexto de acirramento da competitividade da indústria eólica e uma estratégia de redução de custo.

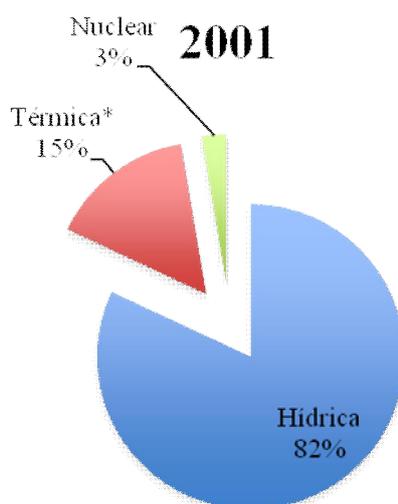
Os próximos capítulos têm como objetivo analisar a evolução da indústria eólica no Brasil. Conforme será visto, o desenvolvimento do mercado eólico no Brasil ocorria de forma lenta até 2009, quando as principais OEMs instalaram subsidiárias no Brasil. Assim, um dos aspectos centrais deste capítulo era evidenciar o contexto global das OEMs no momento em que estas estão se instalando no país.

PARTE III - A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Os primeiros investimentos brasileiros em energia eólica ocorreram como resposta à crise energética dos anos 1970. No final daquela década, o governo militar, inicia uma série de iniciativas voltadas ao desenvolvimento de capacitações científicas e tecnológicas em fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis. A mais conhecida delas foi o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Entre as demais, a pesquisa em energia eólica recebe algum destaque e um Centro de Energia Eólica é criado no Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA). Os investimentos em energia eólica não estavam, portanto, associados a questões ambientais, mas a preocupações energéticas.

Após a normalização da oferta de petróleo, as iniciativas de apoio à fonte eólica foram muito reduzidas e, até, interrompidas. Apenas no início da década de 2000 a energia eólica voltou a ser uma preocupação para o governo brasileiro, visto que o país estava novamente em uma situação de vulnerabilidade energética. A matriz elétrica brasileira é historicamente baseada em hidroeletricidade. Conforme as informações da Figura 20, em 2001 as fontes hídricas eram responsáveis por 82% da matriz e a falta de investimentos em novos reservatórios, associada a um período prolongado de secas, culminou em uma severa crise energética. Um forte racionamento de energia se faz necessário, assim como se inicia um esforço para diversificar as fontes de geração de energia. A ênfase neste segundo momento passa a ser um gradual aumento da participação da energia eólica na matriz energética.

Figura 20 - Capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil em 2001

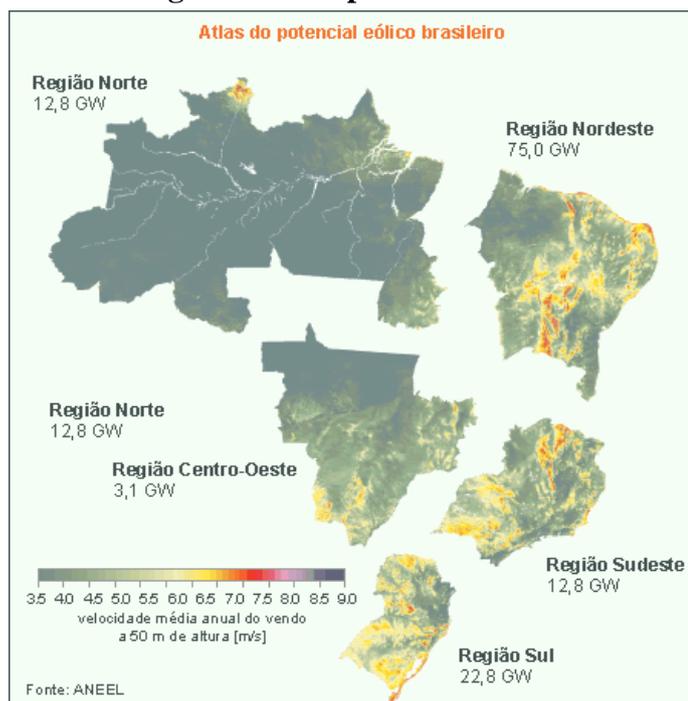


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE / Ministério de Minas e Energia – MME / Balanço Energético Nacional 2008

*Inclui pequena parcela de eólica

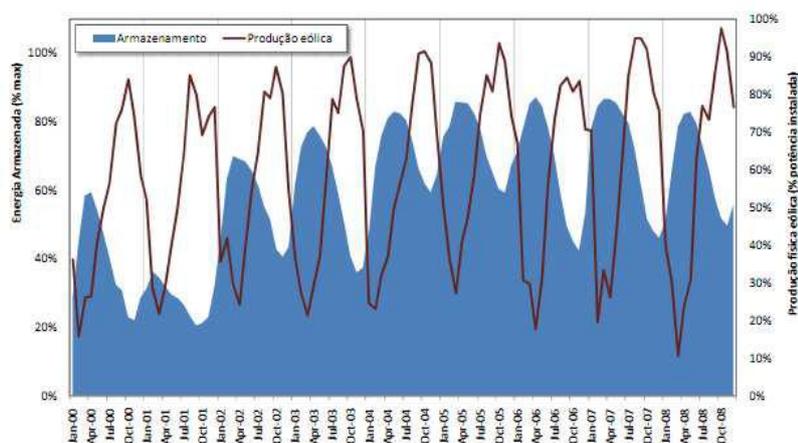
Nesse momento foi fundamental a iniciativa de mensuração e análise do potencial eólico do Brasil e de melhor compreender as características dos ventos nacionais. Esta iniciativa sintetizada no ‘Atlas do Potencial Eólico Brasileiro’, publicado em 2001 estimou em 143 GW a potência tecnicamente aproveitável do Brasil (CEPEL, 2001)⁴⁸. O Nordeste foi identificado como a região que concentra o maior potencial eólico do País com 75GW, mais de 50% do total (figura 21).

⁴⁸ O mapa eólico brasileiro afirma que o Brasil tem o potencial eólico estimado em 143 GW, mas este mapa foi elaborado com base em torres de 50 metros. Assim, faz-se necessária a atualização deste Atlas, com maior resolução de mapeamento, considerando alturas superiores a 100 metros e aerogeradores com potência acima de 1,5 MW. É necessário, também, considerar o inventário do potencial eólico *offshore*.

Figura 21 - Mapa eólico brasileiro

Fonte: CEPEL (2001).

Estes estudos pioneiros sobre os ventos brasileiros produzidos no início dos anos 2000 apresentaram resultados bastante importantes. Foi identificada, por exemplo, uma forte complementaridade entre o regime de ventos e o regime de chuvas em diversas regiões, principalmente na região Nordeste. Esta complementaridade significa que quando há pouca chuva (com os reservatórios das hidrelétricas mais vazios) há mais vento (figura 22), e isso representa um ganho adicional na segurança energética. Esta complementaridade não é um fenômeno comum. Em diversos países ocorre o oposto: os ventos coincidem com os períodos de chuva.

Figura 22 - Energia Armazenada em Reservatórios Hidrelétricos e a Geração Eólica no Nordeste Brasileiro

Fonte: Simões (2010).

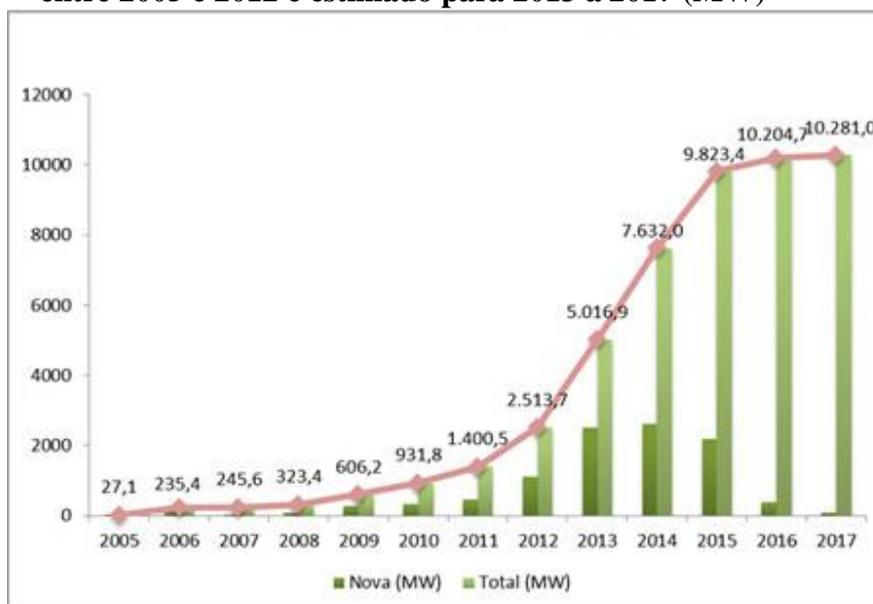
Outra característica singular dos ventos brasileiros é que estes costumam ser unidirecionais com velocidades relativamente constantes e poucas rajadas, principalmente na região Nordeste⁴⁹. A baixa variância de velocidade e direção aumenta o aproveitamento eólico e, por isso, o vento brasileiro está dentre os melhores ventos do mundo para aproveitamento de energia. Estas especificidades possuem também importantes implicações tecnológicas que serão analisadas ao longo deste capítulo.

Além da realização de estudos de medição de vento, o Brasil passou a implementar, a partir de 2001, programas específicos para inserção da fonte eólica na matriz energética. No início da década de 2000, a energia eólica começou a ser comercializada através de políticas específicas que visavam à criação de um mercado para esta fonte e, ao final da década, já alcançava um novo patamar, sendo comercializada através de leilões públicos. Desde 2009, a geração eólica é a fonte que mais cresceu no país em participação nos leilões. As contratações dos últimos anos surpreenderam até os mais otimistas.

A rápida expansão da energia eólica pode ser conferida pela figura 23 que mostra a capacidade instalada desta fonte e sua participação na matriz elétrica Brasileira no Período 2005-2012. Em 2005, havia apenas 27 MW de energia eólica instalados no país. Cinco anos depois, o Brasil estava quase alcançando a marca do primeiro GW em energia eólica. Atualmente já há mais de 10 GW contratados que devem entrar em operação até 2017.

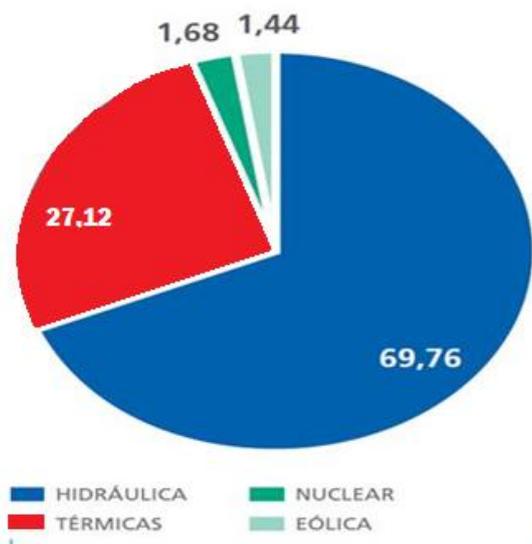
⁴⁹ Os ventos possuem características distintas ao longo do país. Os ventos do extremo sul do país, por exemplo, tendem a ser mais intensos e a apresentarem fortes rajadas. Porém, de uma maneira geral, é possível afirmar que, na média, e principalmente na região Nordeste, os ventos brasileiros tendem a ser unidirecionais e com poucas rajadas.

Figura 23 - Capacidade Instalada de Energia Eólica na Matriz Elétrica Brasileira entre 2005 e 2012 e estimado para 2013 a 2017 (MW)



Fonte: ABEEólica (2013)

Figura 24 - Matriz Elétrica Brasileira 2013(%)



Fonte: Banco de Informações de Geração – Aneel

Mais recentemente, a necessidade de inserção da fonte eólica na matriz energética brasileira tem sido reforçada em função da tendência de redução do tamanho dos reservatórios das novas centrais hidrelétrica. O potencial hidrelétrico brasileiro remanescente se concentra na região Norte, onde as exigências socioambientais de empreendimentos hidrelétricos na Amazônia exigem a construção de hidrelétricas com armazenamento a fio d'água que possuem capacidade reduzida. Assim, o Plano Decenal

de Expansão de Energia 2020 (PDE 2020) prevê uma forte redução da capacidade de armazenamento das próximas hidrelétricas que serão construídas no Brasil (EPE, 2011). A energia eólica possui, portanto, uma importância crescente na segurança energética do País. A expectativa da EPE é que a energia eólica seja responsável por 7% da matriz energética em 2020. Esta intensificação das atividades aumentou a demanda por equipamentos e estimulou o desenvolvimento de uma indústria eólica local, principalmente a partir de 2011.

Assim, diante da abrangência, da complexidade e da interrelação entre os impactos da inserção da fonte eólica no Brasil em áreas que vão além da questão energética, esta parte da tese se propõe a analisar a evolução da estrutura produtiva, dos processos de inovação e o papel que as políticas têm desempenhado nesta dinâmica. Tal análise será realizada tendo como quadro de referência o arcabouço do SNI.

Esta análise está dividida em quatro capítulos, iniciando-se com a descrição das políticas que criaram o mercado eólico no Brasil e a discussão do papel que as políticas desempenham no desenvolvimento industrial e tecnológico da cadeia produtiva de aerogeradores (capítulo 5).

O capítulo seguinte analisa a evolução da estrutura produtiva de equipamentos eólicos no Brasil, com o objetivo de compreender a estratégia produtiva e inovativa das principais empresas que compõem a indústria nacional de aerogeradores, analisando também os papéis que as empresas nacionais e transnacionais desempenham nesta estrutura.

O sétimo capítulo examina a base científica do país em áreas relacionadas à fonte eólica. O objetivo principal é mapear a existência de capacitações científicas nas áreas de conhecimentos centrais ao desenvolvimento tecnológico do aerogerador e sua interação com as unidades produtivas.

O último capítulo analisa o impacto das políticas na evolução das estratégias produtivas e inovativas e da base científica. O foco da análise são as interações entre os atores que compõem o SNI de energia eólica com o objetivo de compreender de forma sistêmica os processos de inovação da cadeia eólica.

Além do exame dos documentos de política e da bibliografia existente foram realizadas entrevistas em profundidade com os principais OEMs instalados no Brasil, especialistas e governos estaduais.

CAPÍTULO 5 - POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS PARA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

“Quando o intelecto toma um conceito falso por verdadeiro e se satisfaz sem continuar investigando, ou, então, se engana em suas indagações e se estabelece um fundamento falso, decorre necessariamente que tudo o que depende desse fundamento pode não ser verdadeiro e, conseqüentemente, as providências que se tomam acreditando serem apropriadas não surtem o efeito desejado”. Antonio Serra (1613).

5.1. INTRODUÇÃO

Conforme acima apontado, a inserção da fonte eólica nas matrizes energéticas dos diferentes países está intimamente associada à adoção de políticas que fomentam o seu desenvolvimento. Este capítulo tem como objetivo central analisar as principais políticas adotadas no Brasil associadas à fonte eólica. Apesar de haver um enorme conjunto de políticas implícitas que afetam o desenvolvimento desta fonte no país, esse capítulo se concentra na análise das políticas explícitas de CTI para energia eólica, tais como estruturação do mercado eólico e políticas industriais específicas.

Em relação às políticas de estruturação de mercado, optou-se por concentrar a análise nos programas PROEÓLICA, PROINFA e no sistema de leilões, pois estas foram as políticas que levaram à constituição do mercado eólico no País⁵⁰.

Em relação às políticas industriais, a análise terá como foco as linhas de financiamento e os mecanismos de progressiva nacionalização dos componentes do aerogerador. Estes mecanismos surgiram como forma de incentivar a constituição de um parque industrial nacional, e consistiam na exigência de um índice mínimo de conteúdo local e na disponibilização de linhas de financiamento preferenciais aos empreendimentos eólicos. Embora diversos incentivos e isenções fiscais também tenham sido concedidos à cadeia produtiva, optou-se por centrar a análise nestes dois

⁵⁰ Há outros mecanismos tais como descontos nas tarifas de distribuição e transmissão para empreendimentos de geração eólica, mas a pesquisa se limitou a analisar os três mecanismos mais importantes. Para um estudo completo sobre os mecanismos de incentivo a fonte eólica, ver Nogueira (2011).

mecanismos, pois avalia-se que foram os mais importantes para o desenvolvimento da estrutura produtiva brasileira nesse segmento⁵¹.

Ademais, é preciso ressaltar que apesar das políticas serem aqui apresentadas separadamente, para facilitar sua compreensão, elas devem ser consideradas como parte de um conjunto integrado de políticas uma vez a interação entre seus mecanismos é um fator fundamental para o alcance dos objetivos. A análise integrada entre estas políticas será apresentada no capítulo 8, que analisa o SNI de energia eólica no Brasil. O presente capítulo é composto de três seções, além desta introdução e da conclusão. A segunda seção analisa as políticas de estruturação de mercado relacionadas à energia eólica. A terceira tem como foco as políticas industriais. A quarta estuda as políticas voltadas ao desenvolvimento tecnológico de aerogeradores. Esta quarta seção, que aborda o foco principal da tese, propõe uma breve análise da evolução das políticas de CTI no Brasil, descrevendo seus principais instrumentos. Por fim, esta seção se concentra nas políticas de CTI voltadas especificamente à fonte eólica, tais como subvenções econômicas e os fundos setoriais destinados à inovação em energia eólica, assim como o programa de P&D da ANEEL.

A quinta seção apresenta uma síntese conclusiva do capítulo.

5.2. POLÍTICAS DE ESTRUTURAÇÃO DE MERCADO

Apenas em 2001, em resposta à crise energética vivenciada no Brasil, que o primeiro plano para inserir a fonte eólica na matriz energética foi lançado. Entre 2001 e o momento presente (2014), é possível enxergar uma evolução das políticas de criação e estruturação do mercado eólico que caminharam de planos de incentivo baseados no estabelecimento de metas e de tarifas prêmio para o modelo de leilões de energia⁵².

⁵¹ Dentre as principais isenções de impostos é possível citar no âmbito nacional: i) suspensão da exigência de contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS nas importações de bens e serviços vinculados a projetos de infraestrutura, inclusive os de geração de energia; ii) isenção de ICMS para diversos componentes da indústria eólica, dentre eles aerogeradores, torres, pás e turbinas eólicas e iii) desoneração em caráter permanente do IPI incidente sobre aerogeradores. Apesar da importância dos incentivos fiscais, o capítulo vai analisar apenas o IN e as linhas de financiamento. O motivo da escolha reside no fato de que as entrevistas realizadas no âmbito desta pesquisa identificaram estes dois mecanismos como determinantes na decisão das OEMs que se instalaram no Brasil. Para maiores detalhes sobre os incentivos fiscais da indústria eólica, ver Nogueira (2011)

⁵² Adicionalmente ao PROEÓLICA, o PROINFA e o sistema de leilões, alguns incentivos foram dados ao fomento do mercado eólico. A geração elétrica a partir de fontes alternativas teve acesso a incentivos fiscais que visavam garantir o acesso à transmissão e à distribuição. Tais incentivos foram promulgados

Programas de incentivo

Criado através da Resolução Nº 24, de 5 de julho de 2001, o Programa Emergencial de Energia Eólica, o PROEÓLICA tinha como meta a implantação de 1.050 MW de potência interligada ao SIN até dezembro de 2003. O programa reconhecia a importância da complementaridade sazonal entre os regimes de ventos no Brasil e os fluxos hidrológicos nos reservatórios do Sistema Interligado e visava promover o aproveitamento da energia eólica como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental.

Para atingir a meta, a Resolução estabelecia a garantia de aquisição da energia gerada por pelo menos 15 anos pela Eletrobrás a um valor definido pela ANEEL (Planalto, 2011a). O Programa falhou por diversas razões. Wachsmann & Tolmasquim (2003) apontam o baixo valor de referência adotado no programa, R\$ 72,95/MWh, como fator principal do fracasso. Segundo os autores, este valor não era capaz de cobrir os custos de geração eólica na época, que ficavam entre R\$ 101,40/MWh e R\$ 218/MWh em 2001. Adicionalmente, é possível citar como obstáculos ao sucesso do PROEÓLICA os prazos extremamente curtos e a falta de regulamentação apropriada que estabelecesse de forma clara as metas e os benefícios do Programa.

Com a mudança de governo em 2003, foi lançado, no ano seguinte, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) com o objetivo de aumentar a participação de três tecnologias de energia renovável: as usinas a biomassa, as pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e as usinas eólicas.

Na evolução da introdução da energia eólica na matriz brasileira, o PROINFA encaixa-se como um arcabouço transitório entre os programas de incentivos tradicionais e o modelo puro de leilões, pois ele teve como base uma metodologia híbrida entre os leilões e o *feed in* onde o governo definia a priori o preço e a quantidade de energia a serem contratados.

pela Lei No 11.488 de 2007, que tinha por objetivo promover investimentos em infraestrutura (MME, 2011a). Alterando a Lei No 9.427 de 1996 e regulada pela Resolução ANEEL No 271 de 2007, a lei estabelece que hidrelétricas com capacidade inferior a 1.000 kW de potência e plantas de geração solar, eólica, à biomassa ou de cogeração qualificada com potência inferior a 30.000 kW detêm um desconto de 50% nas tarifas de utilização dos sistemas de transmissão e de distribuição, desconto esse refletido no consumo e na produção de energia (MME, 2011b; Alvim Filho, 2010). Outra vantagem importante atribuída a plantas dentro dessas categorias é a possibilidade de comercialização com consumidores especiais, vantagem essa instituída também pela Lei No 9.427 de 1996, alterada e regulamentada pela Lei No 11.943 de 2009 e pela Resolução ANEEL No 323 de 2008, respectivamente (MME, 2010c). Estes instrumentos foram positivos, porém, secundários.

A primeira fase do PROINFA tinha por meta adicionar ao SIN, através de contratos de longo prazo, 3.300 MW de capacidade instalada igualmente distribuída entre as fontes eólica, biomassa e PCHs. A segunda fase do PROINFA tinha uma meta inicial de atingir 10% de participação das fontes alternativas na produção elétrica do país até 2026.

A legislação que instituiu o PROINFA (Lei 10.438/2002, alterada pela Lei 10.762/2003), introduziu um marco institucional específico para as fontes alternativas, até então inexistente no país, e uma série de instrumentos que incentivaram o desenvolvimento destas fontes de energia, a saber: estabelecimento de tarifa-prêmio ou *feed-in*; estabelecimento de cotas de contratação; contratos de venda de energia de longo prazo celebrados com a Eletrobrás, inicialmente de 15 anos, depois estendidos para 20 anos; e condições favoráveis de financiamento pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), sendo o montante financiável inicialmente de 70% do investimento total, e depois estendido para até 80%⁵³.

O critério para definir a seleção dos projetos foi o tempo de duração da licença ambiental, isto é, empreendimentos com licenças ambientais mais longas tinham preferência. A implementação do PROINFA instituiu, portanto, uma reserva de mercado para a energia eólica e reduziu os riscos dos investimentos a ela associados. Inicialmente o prazo para a conclusão da primeira etapa do PROINFA estava previsto para 30 de dezembro de 2006. Porém, em função dos atrasos - apenas cinco projetos foram implementados no prazo - este prazo foi prorrogado diversas vezes até 31 de dezembro de 2011, quando efetivamente chegou ao fim. Em função destes atrasos e de mudanças ocorridas no sistema elétrico brasileiro, a segunda etapa do programa nunca chegou a ser regulamentada.

Diferentemente do PROEÓLICA, o PROINFA conseguiu introduzir a fonte eólica na matriz energética de forma sistematizada. Ao total, foram contratados 54 projetos de energia eólica, com potência total de 1.423 MW, sendo 805,58MW apenas na Região Nordeste durante sua primeira etapa (2002 a 2011) (tabela 3).

53 De acordo com o programa, a energia produzida seria despachada no Sistema Elétrico Integrado Nacional (SIN) e comprada pela Eletrobrás por meio de um contrato de 20 anos a partir do início da operação da planta de geração. O valor econômico da contratação seria definido pelo Poder Executivo, de acordo com cada fonte de energia, mas teria um piso de noventa por cento da tarifa média nacional de fornecimento ao consumidor final dos últimos doze meses para os empreendimentos eólicos. E os custos dos contratos incorridos pela Eletrobrás (valor pago pela energia elétrica adquirida, custos administrativos, financeiros e encargos tributários) seriam divididos entre todas as classes de consumidores finais atendidas pelo SIN, com exceção dos consumidores classificados na Subclasse Residencial Baixa Renda (consumo igual ou inferior a 80 kWh/mês).

Tabela 3 - Projetos eólicos contratados no âmbito do PROINFA

Região	Potência Contratada (MW)
Nordeste	805,58
Sul	454,29
Sudeste	163,05
TOTAL	1.422,92

Fonte: ANEEL (2013)

A princípio, o PROINFA parece ser bem elaborado, uma vez que engloba diversos mecanismos tradicionais que os países líderes adotaram, tais como o estabelecimento de uma meta para a expansão da energia eólica, um sistema de garantia de preço e uma linha preferencial de investimento. Porém, ao analisar mais profundamente, é possível perceber uma desconexão do programa com o contexto brasileiro, que resultou em entraves a sua execução.

Primeiramente, grande parte dos projetos contratados enfrentou significativas dificuldades financeiras e foi vendido a terceiros. A dificuldade em cumprir as garantias exigidas pelo BNDES tem sido apontada (CAMILLO, 2012; DUTRA, 2007) como razão central para a elevada rotatividade na propriedade dos projetos vencedores do PROINFA e a criação de um mercado paralelo de projetos. Mais da metade dos projetos contratados teve sua propriedade alterada. Ao final de diversas mudanças de titularidade, empresas de grande porte, a maioria do setor de energia, tornaram-se os proprietários finais dos projetos.

Diferentemente da Dinamarca e Alemanha, onde atores locais foram protagonistas no desenvolvimento inicial da fonte eólica, o Brasil optou por desenvolver o setor eólico através de grandes empresas internacionais e com pouca participação dos atores locais.

As metas de inserção da fonte eólica pelo PROINFA foram alcançadas cinco anos depois do previsto. Tais atrasos também foram ocasionados por problemas na infraestrutura brasileira, como falta de condições para transportar as peças dos aerogeradores e a fragilidade da rede elétrica, além da dificuldade financeira já mencionada dos empreendedores em dar continuidade aos projetos⁵⁴.

⁵⁴ O transporte das peças maiores, como as pás, por exemplo, necessitava de escolta rodoviária e só poderia ser feito em horários regulamentados. Estas condições atrasavam a construção dos parques eólicos.

Além disso, o PROINFA não criou nenhum incentivo específico para garantir a conexão da energia eólica gerada ao sistema elétrico. Apesar da fonte eólica ter prioridade no despacho e desconto no uso das redes, não houve investimentos na rede elétrica para que as linhas de transmissão conseguissem escoar a energia gerada. A falta de planejamento e de articulação entre o sistema de transmissão elétrico e as demandas de conexão dos parques eólicos que seriam construídos foi se tornando cada vez mais crítica, transformando-se em prejuízos para a sociedade brasileira.

Por fim, vale observar que as tarifas prêmio foram implementadas no Brasil já no primeiro pacote de apoio à energia eólica e não foram acompanhadas de um conjunto instrumentos de política industrial⁵⁵. Se compararmos com as experiências internacionais, a do Brasil se difere. Nos países líderes, os dois mecanismos foram instituídos apenas depois de aproximadamente uma década de fomento à P&D e à indústria, enquanto nos países *latecomers*, tais políticas também foram acompanhadas de inúmeros mecanismos de apoio à transferência de tecnologias.

Modelo de Leilões

Em 2004, o governo brasileiro lançou o novo marco regulatório do setor elétrico. O novo modelo estabeleceu a criação de instituições com diferentes responsabilidades, como planejar o setor elétrico (EPE), monitorar a segurança do suprimento de eletricidade (CMSE) e negociar a aquisição de energia elétrica no sistema interligado (CCEE). Os pilares do novo modelo passaram a ser: segurança de suprimento, modicidade tarifária, regulação estável e universalização da energia elétrica (NOGUEIRA, 2011).

Através da Lei 10.848 e do Decreto nº 5.163, as regras do novo modelo de regulamentação da comercialização de eletricidade foram instituídas. Este modelo separava o setor elétrico em dois ambientes: o ambiente de comercialização regulado (ACR), onde a energia é totalmente contratada pela distribuidora concessionária através de um sistema de leilão promovido pela CCEE, sob delegação da ANEEL; e o ambiente de comercialização livre (ACL) onde geradoras, consumidores livres e especiais estabelecem acordo de forma livre. No primeiro caso, o preço é estabelecido nos leilões enquanto no segundo o preço é acordado entre comprador e vendedor.

⁵⁵ Já no Brasil, adotou-se junto com a tarifa prêmio linhas preferenciais de investimento para energia eólica e um IN atrelado à habilitação do projeto no PROINFA. Porém, o IN foi rapidamente suspenso, como será visto na próxima seção.

O foco da pesquisa cairá sobre o ACR, uma vez que é o ambiente onde a fonte eólica é predominantemente comercializada⁵⁶. Nele, o sistema de leilão é o principal instrumento de contratação de energia elétrica no país. Dos projetos apresentados, são escolhidos aqueles que apresentarem a menor tarifa (R\$/MWh). Foram instituídos três modelos de leilões de energia: (i) Leilões de Energia Nova (LEN); (ii) Leilões de Energia Existente (LEE); (iii) Leilões de Energia Reserva (LER)⁵⁷.

Os Leilões de Energia Nova são responsáveis por expandir o parque de geração através da concorrência entre empreendedores. Os Leilões de Energia Nova podem ser Leilões A-5 que possuem prazo de cinco anos para entrega da energia contratada ou Leilões A-3, que possuem prazo de três anos para entrega da energia contratada (NOGUEIRA, 2011).

Os Leilões de Energia Existente visam contratar energia elétrica num espaço de tempo mais curto e para tal, adquirem energia elétrica proveniente de empreendimentos que já estão em operação comercial. O prazo de entrega desta energia pode ser no ano seguinte (Leilões A-1), ou entrega durante alguns meses críticos (Leilões de Ajuste).

Já os Leilões de Energia Reserva tem como objetivo aumentar a segurança do suprimento elétrico. Os vencedores dos LER firmam Contratos de Energia Reserva (CER) que prevêem uma remuneração fixa pela disponibilidade da energia. Este valor pode ser alterado em função da diferença entre o montante contratado e o efetivamente gerado ou devido a punições devido à indisponibilidade da energia (NOGUEIRA, 2011).

A partir de 2004, os leilões de energia surgem como principal mecanismo de incentivo às fontes de energia no ambiente de contratação regulada. A princípio, a instituição do novo modelo não afetou diretamente a energia eólica⁵⁸ que era contratada pelo recém-criado PROINFA. Mas o novo modelo introduziu uma nova lógica diferente da lógica do PROINFA. Enquanto o leilão tem como objetivo estimular a competição entre os empreendedores via preço a fim de alcançar uma minimização do custo do

⁵⁶ Apenas em 2013, a fonte eólica passa a ser comercializada no ACL e ainda de forma pouco significativa. Foge ao escopo da pesquisa analisar o ACL.

⁵⁷ Além dos leilões para geração de energia, há leilões de transmissão de energia que são utilizados para expansão da rede de transmissão do SIN e permitem que empreendimentos de transmissão sejam remunerados por meio da Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST), que recai sobre todos os usuários da rede básica de transmissão do SIN. As Instalações de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada (ICGs) são instalações de transmissão em qualquer tensão, destinadas a permitir a conexão de centrais eólicas, à biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas à rede. Estas são remuneradas separadamente pela Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão de Fronteira (TUSTFR) rateado apenas por usuários que utilizam tais instalações (NOGUEIRA, 2011).

⁵⁸ O primeiro leilão com participação de energia eólica foi realizado apenas em 2007.

sistema elétrico brasileiro, a tarifa prêmio, principal instrumento de incentivo do PROINFA, tem como princípio garantir uma remuneração acima do custo de geração da fonte eólica aos empreendedores. É possível afirmar, portanto que há uma incompatibilidade entre este programa e o novo modelo energético. Esta incompatibilidade levou a suspensão do PROINFA em 2007.

Em dezembro de 2006 chegou ao fim a primeira fase do PROINFA e o MME nunca chegou a regulamentar a segunda fase do programa. A utilização do mecanismo de preço para a criação de uma reserva de mercado, restrita à primeira fase do PROINFA, foi considerada como encerrada.

Os Leilões

Entre 2004 e 2007 nenhum leilão para a fonte eólica foi realizado. Em 2007 foi criado mais uma modalidade de certame, o Leilão de Fontes Alternativas (LFA), a fim de diversificar a matriz energética brasileira. Neste modelo os prazos estabelecidos para entrega da energia contratada variam de um a cinco anos. Os projetos podem tanto ser de Energia Nova quanto de Energia Existente. As diferenças dos LFAs em relação aos demais tipos de leilão são que as fontes alternativas ficam livres da concorrência com as fontes convencionais e o preço inicial leva em consideração as características técnicas dos empreendimentos baseados em fontes alternativas (NOGUEIRA, 2011).

Em maio do mesmo ano ocorreu o primeiro leilão de fontes alternativas, com o objetivo de contratar projetos de geração a partir de biomassa, PCHs e eólica. Quase 640 MW em de projetos de PCHs e de biomassa foram contratados, mas nenhum empreendimento de energia eólica foi vencedor no certame. O preço da energia eólica na época era acima de R\$ 200,00/MWh, tornando a competição com as outras fontes participantes inviável.

Este resultado sugere que optar pelo mecanismo de leilão para fomentar a fonte eólica não foi uma opção coerente com o contexto que a energia eólica se encontrava no Brasil. Naquele momento, a energia eólica ainda era incipiente no País e apenas uma parcela dos projetos do PROINFA tinha entrado em vigor. A indústria eólica ainda não tinha se estabelecido localmente e não havia, portanto, a possibilidade dos projetos eólicos conseguirem alcançar uma redução de custo em função do efeito escala ou pelo estabelecimento de uma rede de fornecedores locais.

Ademais, os grandes grupos de energia globais não se interessaram pelo primeiro LFA, principalmente em função do forte crescimento que ocorria no mercado

global de energia eólica naquele momento. Além de ainda desfrutar de políticas de tarifas prêmio nos países *latecomers*, o mercado mundial de energia eólica apresentava altas taxas de crescimento na China e nos EUA. Assim, o contraste entre o elevado crescimento do mercado mundial, o reduzido mercado nacional e a falta de estabilidade nas políticas de apoio à energia eólica no Brasil fizeram com que os grandes grupos de energia tenham tido como alvos preferenciais os países líderes.

Os preços dos aerogeradores estavam, inclusive, aumentando desde 2006. É possível afirmar, portanto, que o uso do leilão como instrumento de inserção da energia eólica na matriz energética em 2007 foi uma opção incoerente com o contexto desta fonte de energia no Brasil e no mundo.

Foi apenas em 2009, quando o governo realizou um leilão exclusivo para a fonte eólica que os primeiros projetos eólicos foram contratados via certame. Em dezembro de 2009, foi realizado o primeiro leilão exclusivo de energia eólica, equivalente ao Segundo Leilão de Energia de Reserva⁵⁹.

O leilão foi extremamente bem sucedido. Foram contratados 71 empreendimentos, totalizando 1.805,7 MW de potência a ser instalada até julho de 2012. Houve um deságio de 21,5%, e o preço médio da energia alcançou o valor de R\$ 148,39/MWh, aproximando-se do valor das usinas térmicas.

Em 2010 o governo decidiu não realizar mais leilões exclusivos para a fonte eólica, e instituiu dois leilões destinados a fontes renováveis, onde a energia eólica competia com outras fontes, como PCHs e termelétricas a biomassa.

Os Leilões de Fontes Alternativas de Energia Elétrica de 2010 resultaram na contratação de 70 centrais eólicas, 12 termelétricas a biomassa e 7 PCHs. Os 70 projetos de usinas eólicas contratados totalizavam 2.047,8 MW, com um preço médio de R\$ 130,86 / MWh. Com este resultado, a energia eólica foi a fonte energética que teve o maior volume de contratação e o menor preço. Pela primeira vez, a energia eólica começou a ser vista não apenas como uma alternativa ambiental, mas como uma alternativa econômica para a geração de eletricidade.

Em 2011, a energia eólica concorreu em outros dois leilões. No primeiro, a fonte eólica concorreu com as termelétricas a biomassa, termelétricas a gás natural, PCHs além da ampliação da usina hidrelétrica de Jirau, no rio Madeira. Já o segundo leilão foi

⁵⁹ O primeiro Leilão de Energia de Reserva foi promovido em 2008, mas apenas biomassa participou como fonte geradora. Energia eólica foi considerada apenas no segundo Leilão de Energia de Reserva, que ocorreu em Dezembro de 2009.

voltado exclusivamente para eólica e biomassa. Novamente a energia eólica teve o maior volume contrato, aproximadamente 2.000 MW, e alcançou um preço médio extremamente baixo, R\$ 100 / MWh.

Em 2012, no entanto, o Ministério de Minas e Energia só realizou um leilão e contratou apenas 277 MW de energia eólica. Os preços alcançaram um patamar ainda mais baixo, R\$ 87,94/MWh. Esta pequena contratação em 2012 foi resultado do estabelecimento de um preço inicial considerado baixo pelo mercado e de uma previsão de baixa demanda de energia elétrica no país.

Porém, a demanda baixa de energia não se confirmou e o governo precisou expandir significativamente a quantidade de energia contratada no ano seguinte. Assim, em 2013, foram realizados quatro leilões de contratação de energia elétrica nos quais a energia eólica participou de três. Foram contratados mais de 4500 MW de energia eólica, a preços entre R\$ 110/MWh e R\$124/MWh.

Ao analisar a evolução dos certames de 2007 até 2013, é possível perceber que uma mudança em relação ao nível de contratação da energia eólica no Brasil a partir de 2009. A partir desta data, a fonte eólica passou a ser inserida na matriz energética brasileira via certames, em volumes significativos e apresentando quedas progressivas do preço médio até 2012. Apenas no ano de 2009 foram contratados 1,8 GW, um montante superior a todo o período do PROINFA.

O aumento do montante contratado de energia eólica e a significativa redução de preço desta fonte a partir de 2009 podem ser explicados por diversos motivos. Em primeiro lugar, os fatores que mais impactaram foram a crise internacional e alteração na conjuntura global pós 2008. Como já mencionado, a crise econômica mundial afetou mais significativamente os países centrais que os países emergentes e a demanda por energia eólica se reduziu nos primeiros. Sem poder contar com seus mercados tradicionais, os principais fornecedores globais de aerogeradores se voltaram para mercados alternativos.

A crise internacional também influenciou a queda de preços. O acúmulo de estoques de equipamentos nos países centrais, em função da desaceleração dos mercados tradicionais, empurrou o preço para baixo⁶⁰. De 2008 a 2010, o preço das turbinas caiu 15% (GWEC, ABEEÓLICA, 2011).

⁶⁰ Conforme apontado no capítulo 5, além da crise internacional, a consolidação dos OEMs chineses também pressionou os preços dos componentes eólicos para baixo.

Além da crise internacional, alguns fatores nacionais também podem ser citados para a redução do preço da energia eólica no Brasil. A existência de financiamento subsidiado pelo BNDES num cenário de escassez de financiamento internacional, por exemplo, também aumentou a atratividade do País e permitiu que os geradores estipulassem preços mais baixos, uma vez que o custo de capital destes empreendimentos é extremamente alto. Adicionalmente, a taxa cambial brasileira deste período foi caracterizada por um enfraquecimento do dólar frente ao real, favorecendo o barateamento dos equipamentos, que eram importados (NOGUEIRA, 2011) ⁶¹.

Analisando os fatores supracitados, é necessário reconhecer que o mercado brasileiro de energia eólica foi impulsionado por uma janela de oportunidade. Em decorrência da crise internacional e do desaquecimento dos mercados tradicionais, o Brasil se tornou uma opção promissora no setor eólico. A perspectiva de crescimento do mercado doméstico, a taxa de cambio favorável à importação, os contratos de fornecimento que garantem uma receita por um prazo de 20 anos e a disponibilidade de linhas de financiamento subsidiado num cenário de escassez de crédito internacional passaram a ser determinantes após 2009. Em 2010, o Brasil foi eleito o nono melhor país do mundo para receber investimentos eólicos e em 2011 alcançou o patamar da energia eólica mais barata do mundo (SIMAS, 2013; MME, 2011).

Assim, a realização de um leilão exclusivo para energia eólica em 2009 permitiu que o país aproveitasse as oportunidades da conjuntura⁶². Como resultado, o período de 2009 a 2013 foi caracterizado por uma forte expansão no mercado eólico brasileiro, que passou a contratar volumes crescentes de energia eólica a preços baixos.

⁶¹ Outro fator importante que explica a manutenção dos preços baixos da energia eólica é o elevado fator de capacidade das usinas brasileiras. Enquanto a média mundial do fator de capacidade de parques eólicos é de 30%, no Brasil esses fatores chegam a 50%, estando entre os maiores do mundo. Esses altos fatores de capacidade são explicados pelas características dos ventos brasileiros: constantes, unidirecionais e com poucas rajadas. Assim, o elevado aproveitamento de cada aerogerador instalado representa um elevado ganho e permite que o preço final da energia eólica seja baixo.

⁶² É possível apontar que houve algumas adaptações na política energética a partir de 2009 que ajudaram de forma secundária o desenvolvimento da fonte eólica. Em primeiro lugar, em 2009 houve a organização de um certame exclusivo para a energia eólica, que protegeu esta fonte da concorrência da biomassa e da PCH. Este leilão exclusivo ajudou a iniciar a contratação de projetos eólicos via certames no Brasil. Para este leilão foi ainda formulado um modelo contratual específico para a fonte eólica, que admite uma margem de variação na produção de energia. Adicionalmente, foi criada uma nova opção de conexão das fontes alternativas com o setor elétrico, as Instalações de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração de Conexão Compartilhada – ICG. As ICGs têm por objetivo suprir a demanda de conexão de usinas localizadas em regiões que ainda não tem acesso a redes de distribuição e transmissão (CAMILLO, 2013). Estas duas medidas foram adaptações realizadas pela política energética que tiveram impacto positivo do desenvolvimento da fonte eólica. Mas estas medidas não teriam impacto relevante se não houvesse a mudança na conjuntura internacional.

Portanto, o sucesso da expansão da fonte eólica no Brasil está mais associado a fatores conjunturais do que aos resultados da política implementada para seu desenvolvimento. As políticas adotadas eram inclusive inadequadas ao contexto brasileiro. Foi apenas a partir de 2009 que o novo contexto internacional permitiu que a política começasse a funcionar.

Outra importante limitação da política de energia no Brasil é a falta de planejamento e articulação entre a geração e a transmissão. Os atrasos na expansão das linhas de transmissão para conectar os parques eólicos se tornaram recorrentes com a expansão da fonte eólica. Segundo a Aneel (2013), a falta de linhas de transmissão atrasa a operação de 34% dos parques eólicos no Brasil. Os empreendimentos dos Estados da Bahia e do Rio Grande do Norte, por exemplo, ficaram sem conexão e trouxeram um prejuízo de R\$700 milhões para o sistema elétrico brasileiro. Este valor se refere tanto à remuneração da energia gerada e não transmitida quanto à necessidade de acionar as usinas térmicas que são mais caras.

A solução encontrada pelo governo foi de restringir a contratação aos parques eólicos que tenham garantia de conexão com a rede de transmissão. Com isso, inverte-se o modelo de leiloar os melhores projetos eólicos e em seguida instituir linhas de transmissão, para o modelo em que a geração de energia eólica fica limitada aos locais que já tenham infraestrutura adequada. Novamente, o desenvolvimento da fonte eólica é dificultado por questões relacionadas ao setor elétrico e não especificamente à energia eólica. O setor elétrico é um sistema complexo e que necessita de investimentos de longo prazo. O grau de planejamento varia de país para país, mas quase sempre existe em alguma medida. A política de energia eólica depende da interação com as outras fontes de energia e com outros elementos do sistema, como a transmissão (EWEA, 2009).

Adicionalmente, a solução encontrada pelo governo pode aumentar a desigualdade regional. Os locais menos desenvolvidos são justamente os que carecem de redes de transmissão. Como os investimentos eólicos se constituem em possibilidade de alavancar o desenvolvimento regional, ao limitar a participação dos leilões aos parques que já tenham garantia de linhas de transmissão, limita-se a participação dos territórios menos desenvolvidos nos leilões.

A próxima seção discute as políticas industriais adotadas no Brasil para a fonte eólica.

5.3. POLÍTICA INDUSTRIAL

A política de desenvolvimento de capacidade interna de produção de aerogeradores e de seus componentes constituiu-se praticamente numa estratégia de atração de investimento direto estrangeiro (IDE). Num cenário de inserção tardia do País no mercado eólico global, no qual o desenvolvimento tecnológico dos aerogeradores já estava bastante avançado, o Brasil utilizou estratégia semelhante aos demais países *latecomers*. Porém, aqueles países analisados no capítulo 3, utilizaram o IDE como primeiro passo para o desenvolvimento industrial autóctone, estimulando e protegendo empresas de capital local.

O principal instrumento na estratégia de atrair as subsidiárias de empresas transnacionais para realizar IDE no Brasil foi a instituição do índice de nacionalização, inicialmente atrelado ao PROINFA e posteriormente às linhas de financiamento do BNDES. Adicionalmente, a oferta de linhas de crédito aos empreendimentos eólicos em condições favoráveis também foi um fator importante na atração de IDE. Esta seção tem como objetivo analisar estes dois mecanismos usados pelo governo brasileiro para atrair os IDE, assim como discutir as limitações destas estratégias.

5.3.1. Índice de nacionalização (IN) atrelado aos programas de energia

O estabelecimento de um IN de equipamentos para empreendimentos eólicos foi estipulado pela primeira vez no PROINFA, que tinha dentre seus objetivos o incentivo à indústria nacional e à geração de empregos. Assim, uma parcela dos componentes que iriam compor o parque eólico deveria ser provida por empresas brasileiras. Na primeira fase do programa, o IN mínimo estipulado era de 60%. A segunda fase, que não foi devidamente regulada, previa um IN de 90% (DUTRA, 2006).

No entanto, durante os primeiros anos do PROINFA só havia um fabricante de turbinas eólicas no Brasil. A reduzida oferta de equipamentos nacionais representou atrasos no cronograma do programa e o governo decidiu abandonar a exigência de conteúdo local, possibilitando que os empreendimentos eólicos importassem os componentes dos aerogeradores. Mesmo sem a regra de conteúdo local, a

implementação dos parques eólicos ainda não cumpriu os prazos previstos no Programa e as metas não foram alcançadas⁶³.

Quando a fonte eólica passou a ser comercializada via leilões, não houve estabelecimento de um IN para os empreendimentos participantes. Liebreich (2010) afirma que não foi estabelecido um IN nos leilões de eólica em função das dificuldades encontradas para atender a esta exigência no PROINFA. A única exigência em relação às importações de aerogeradores era que apenas os equipamentos com potência nominal igual ou superior a 1,5 MW poderiam ser importados. Os leilões seguintes mantiveram a mesma exigência. Porém, esta medida foi praticamente inócua dado que, como os ventos brasileiros são otimizados com turbinas maiores, os empreendedores já tinham como estímulo natural à importação de máquinas acima de 1,5 MW. Apenas em 2009 o IN retorna ao cenário da fonte eólica, mas desta vez atrelado ao financiamento do BNDES, como mostra o próximo tópico.

5.3.2. Linhas de financiamento preferenciais e IN atrelado às linhas de financiamento

O BNDES sempre teve um importante papel no financiamento dos empreendimentos eólicos desde os primeiros projetos, oferecendo empréstimos a taxas preferenciais de até 80% dos itens financiáveis⁶⁴.

No PROINFA, o Banco disponibilizou linhas de financiamentos preferenciais aos empreendimentos eólicos, e no leilão de 2009 também foram adotadas linhas de financiamento com juros subsidiados e prazos longos de até 14 anos para amortização. Porém, como condicionante a este financiamento, 60% (do peso e do valor) dos componentes das turbinas deveriam ser fabricados no País. O índice era calculado considerando-se a relação entre o valor dos componentes nacionais e o preço de venda do aerogerador. O valor dos componentes nacionais era obtido pela diferença entre o preço de venda do equipamento e o valor dos componentes importados, excluindo-se IPI e ICMS. A regra do IN era dada pela seguinte fórmula:

$$IN = 1 - [\text{valor dos componentes importados} / (\text{valor de venda} - \text{impostos})]$$

⁶³ Problemas de logística e infraestrutura, assim como dificuldades de transportar grandes componentes, ocasionaram atrasos na implementação dos parques eólicos.

⁶⁴ Entre os itens não financiáveis estão: aquisição de terrenos, custos de manutenção, transferência de ativos, aquisição de bens importados, exceto máquinas e equipamentos sem similar nacional, e despesas de internalização de bens importados, exceto para máquinas e equipamentos sem similar nacional.

Em 2010, o período de amortização desses projetos foi estendido para 16 anos, o que melhorou a competitividade dos investimentos em energia eólica (BNDES, 2010). Entre 2009 e 2011, o Banco do Nordeste (BNB) também disponibilizou linhas preferenciais para os empreendimentos eólicos que também estipulavam que as turbinas eólicas deveriam ser compostas de 60% de conteúdo local, calculado da mesma forma que o BNDES, além de exigir que o empreendimento estivesse situado na Região Nordeste.

As linhas de financiamento preferenciais tanto do BNDES como do BNB são importantes fatores competitivos para os empreendimentos eólicos. Como estes projetos são intensivos em capital, o acesso a um financiamento com juros reduzidos é central para a competitividade de um empreendimento. Ademais, tais linhas de crédito também oferecem prazos compatíveis com os investimentos e eliminam o risco cambial quando comparado às compras financiadas de bens importados.

Entre 2005 e 2011, o Banco desembolsou R\$ 4 bilhões para projetos no setor. Em 2012, os desembolsos para os empreendimentos eólicos foram de quase R\$ 3 bilhões, 27% acima de 2011 (R\$ 2,2 bilhões). Os projetos de energia eólica na carteira total do Banco somavam, em 2012, R\$ 12,9 bilhões, através do financiamento de 156 parques eólicos.

Apesar do montante do desembolso do BNB ser inferior ao do BNDES, o primeiro desempenha um papel crucial no desenvolvimento da Região Nordeste visto que sua missão é atuar na promoção do desenvolvimento da região Nordeste, garantindo competitividade aos empreendimentos da região (BNB, 2014).

Para tal, o BNB oferecia condições um pouco mais favoráveis que o BNDES (ver anexo 1), sendo o agente de financiamento mais importante para os estados do Nordeste. Por exemplo, enquanto o BNDES aplicou R\$706 milhões em energia eólica no Rio Grande do Norte entre 2005 e 2011, o BNB aplicou R\$902 milhões entre 2009 e 2011 – R\$196 milhões a mais em metade do tempo (TRIBUNA DO NORTE, 2011)⁶⁵.

Em setembro de 2011, o BNB deixou de financiar a construção de parques eólicos. Os empreendimentos eólicos que estavam na carteira de investimentos do BNB foram transferidos para o BNDES.

A decisão de concentrar todas as operações relativas aos empreendimentos eólicos no BNDES foi uma decisão do governo federal com o intuito de uniformizar os

⁶⁵<http://tribunadonorte.com.br/noticia/mudanca-no-financiamento-as-eolicas-preocupa-investidores/196522>; acessado em março de 2014.

incentivos aos projetos de energia eólica. Os empreendimentos da Região Nordeste ainda têm acesso a linhas preferenciais de financiamento através do BNDES, porém tais empreendimentos deixaram de ter uma vantagem em relação aos projetos das demais regiões. Desta forma, desde o final de 2011, o BNDES passou a concentrar todas as linhas de financiamento aos parques eólicos no Brasil.

Grande parte dos parques eólicos implementados foram financiados com fundos BNDES ou BNB, o que mostra a importância destes para o desenvolvimento do setor.

Em relação ao objetivo de atrair IDE para o País, é possível afirmar que o mecanismo foi bem sucedido. A partir de 2011, algumas OEMs como Gamesa e Alstom começaram a instalar subsidiárias no Brasil. A pesquisa de campo realizada junto às OEMs no âmbito desta tese indagou sobre as principais motivações para instalar fábricas no país⁶⁶. De acordo com as entrevistas, a existência de financiamento do BNDES atrelado a um IN e a perspectiva de crescimento do mercado eólico brasileiro foram as razões de tais empresas realizarem IDEs no país. Ou seja, perante a mudança no contexto global e nacional, a política industrial se tornou eficiente. Todas as OEMs que se instalaram no Brasil pós-2010 responderam que a linha de financiamento do BNDES não teria forças suficientes para estimular tais investimentos se não fosse o aumento da demanda nacional por equipamentos eólicos fruto da expansão da participação da geração eólica nos leilões. Assim, percebe-se que, diante do novo contexto da indústria no Brasil e no mundo, tal instrumento teve papel fundamental na atração das subsidiárias das OEMs para o País⁶⁷.

Portanto, o estabelecimento de um IN, a disponibilidade de financiamentos preferenciais e a perspectiva de crescimento do mercado nacional começaram a atrair as principais OEMs a instalar unidades produtivas no Brasil. Todavia, a pergunta relevante para os objetivos desta tese é: a atração de IDE representou ganhos tecnológicos significativos para o País?

O BNDES baseou a regra de conteúdo local em peso e valor agregado dos componentes. Como será visto em mais detalhes no capítulo 6, esta regra incentivava as OEMs instaladas no Brasil a nacionalizarem componentes de baixo conteúdo tecnológico ou a comprarem no País os componentes que já eram produzidos nacionalmente há bastante tempo. Assim, em relação a processos de transferência

⁶⁶ Foram entrevistados 9 OEMs. Os resultados principais da pesquisa de campo serão apresentados no capítulo 6.

⁶⁷ O capítulo 6 descreve a evolução da estrutura produtiva da indústria eólica no Brasil e apresenta os impactos das políticas sobre as estratégias adotadas pelas OEMs.

tecnológica e de fortalecimento da capacidade de inovação, não é possível afirmar que tal mecanismo tenha sido bem sucedido.

Ciente desta limitação, o BNDES alterou as regras do IN associado ao financiamento dos empreendimentos eólico em dezembro de 2012, com o objetivo de aumentar o conteúdo tecnológico da cadeia produtiva concentrada no Brasil. A nova metodologia estabeleceu a ampliação progressiva da quantidade de componentes nacionais nos equipamentos, a serem cumpridas de acordo com um cronograma previamente estabelecido. A nova regra estabelece um período de três anos para a evolução da nacionalização. Este período é subdividido em etapas, e a cada etapa exige-se que um conjunto de componentes seja nacionalizado.

Para se cadastrar na nova regra, os fabricantes têm que cumprir de forma progressiva as metas estabelecidas pelo BNDES. O marco inicial foi fixado em 1º de janeiro de 2013. O credenciamento no marco inicial exigia que os fabricantes de aerogeradores com caixa multiplicadora atendessem a pelo menos três dos quatro critérios listados a seguir:

1. Fabricação das torres no Brasil, com pelo menos 70% das chapas de aço fabricadas no País ou concreto armado de procedência nacional;
2. Fabricação das pás no Brasil em unidade própria ou de terceiros;
3. Montagem da nacelle no Brasil, em unidade própria.
4. Montagem do cubo no Brasil, com fundido de procedência nacional;

Para os fabricantes de aerogeradores sem caixa multiplicadora, a exigência inicial de montagem do cubo no Brasil foi substituída pela fabricação do gerador no país em unidade própria, com núcleo magnético de chapas de aço-silício e bobinas de cobre de procedência nacional.

Ao aderirem às metas do marco inicial, os fabricantes se comprometeram a ampliar de maneira progressiva os componentes locais de seu processo produtivo com cumprimento de todas as etapas até janeiro de 2016. Nesta data final, todos os aerogeradores terão as pás e as torres totalmente produzidas no Brasil, além de metade dos principais componentes da nacelle, sendo pelo menos dois componentes de alta complexidade.

A nova regra é mais rigorosa e impõe que alguns componentes sejam necessariamente fabricados no Brasil. Mas a regra possui uma flexibilidade em relação aos três primeiros anos. As OEMs podem escolher, dentre um conjunto predeterminado

de componentes, quais componentes serão nacionalizados. Assim, as empresas podem escolher trajetórias de nacionalização diferentes, de acordo com suas capacitações. Uma empresa que já possui uma fábrica de cubos, por exemplo, provavelmente vai começar a nacionalização escolhendo este item⁶⁸.

Como será mostrado ao longo do capítulo 6, a alteração das regras do IN do BNDES teve um significativo impacto nas estratégias de produção e inovação das OEMs, que estão realizando um esforço para desenvolver uma rede de fornecedores nacionais de componentes de maior intensidade tecnológica.

Em suma, o Brasil apostou na atração de IDE como forma de desenvolver uma estrutura industrial eólica. Essa opção foi primeiramente sinalizada com o estabelecimento de conteúdo local mínimo para os empreendimentos participantes do PROINFA. Essa exigência acabou sendo abandonada, assim como as metas de desenvolvimento industrial deste programa, visto que a prioridade dada à constituição de um mercado eólico de forma rápida prevaleceu sobre os objetivos de geração de emprego e consolidação de uma estrutura produtiva. Houve, portanto, uma subordinação da política industrial às necessidades do setor energético.

Embora após a reforma do setor elétrico o requerimento de IN mínimo tenha passado a ser necessário para o financiamento público, via BNDES ou BNB, até 2009, esta exigência não tinha força suficiente para tornar o Brasil atraente para receber IDE das OEMs. Conforme já apontado, até o final da década de 2000, o mercado eólico internacional estava extremamente aquecido e o Brasil não apresentava de forma clara suas metas para energia eólica. A não regulamentação da segunda fase do PROINFA e o insucesso do leilão de 2007 para a fonte eólica aumentavam as incertezas em relação a esta fonte no País.

Desde o abandono do IN no PROINFA até o primeiro leilão de energia eólica em 2009, praticamente inexistiu uma política industrial em energia eólica no Brasil. Em 2009, a política industrial foi retomada de forma tímida através de linhas de financiamento preferencial para os empreendimentos eólicos vencedores do leilão, com um IN mínimo como requisito para estas linhas de créditos. Mas o que efetivamente garantiu o sucesso destes instrumentos a partir de 2010 foi mudança do contexto internacional. No novo cenário mundial, marcado por uma crise nas economias

⁶⁸ Para maiores informações sobre a mudança de regra, veja: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/credenciamento_aerogeradores_metodologia.pdf

avançadas, as principais empresas transnacionais encontravam-se com capacidade ociosa nos países de origem e o Brasil representava um dos poucos mercados em expansão. Desta maneira, as principais produtoras globais de aerogeradores abriram subsidiárias no Brasil e o País foi capaz de construir uma indústria local de turbinas, sem, porém, aumentar sua capacidade tecnológica.

Apenas em 2012 houve um maior alinhamento das políticas de financiamento e industrialização com os processos de transferência tecnológica e de fortalecimento da capacidade de inovação, a partir da modificação das regras do BNDES, que passaram a exigir que as OEMs produzissem parte dos componentes de elevado conteúdo tecnológico nacionalmente.

A próxima seção examina as políticas de inovação para a indústria eólica no Brasil.

5.4. POLÍTICA DE CTI

O objetivo desta seção é analisar as políticas de fomento ao desenvolvimento tecnológico e às inovações na indústria eólica. Para tal, uma breve contextualização das políticas de CTI no Brasil é apresentada e na sequência os principais programas de CTI voltados à fonte eólica são examinados, a saber: o Programa de Subvenção Econômica (FINEP/ MCTI); o Fundo Setorial de Energia Elétrica (FINEP/ MME/ CNPq); o Programa de P&D (ANEEL) e as chamadas públicas do CNPq.

5.4.1. Políticas de CTI no Brasil

No Brasil, principalmente a partir de 1999, a questão da inovação volta a ser tema de interesse no âmbito do governo federal, após uma década de esquecimento (KOELER, 2009). Durante a década de 1990, a prioridade dada às políticas macroeconômicas de caráter restritivo, e a característica neoliberal dos governos Collor e FHC, restringiram a adoção de políticas de CTI. Cassiolato e Erber (1997) classificam este período como neoliberal radical e nesta visão, inexistem razões para a implementação de políticas industriais, uma vez que estas políticas diferenciam os

setores ou agentes econômicos e causam distorções na alocação de mercado. Este período pode ser considerado como desfavorável ao desenvolvimento inovativo do país.

O segundo mandato do FHC se diferenciou do primeiro mandato em relação à política de inovação adotada, que passou a ser guiada por uma ‘agenda neoliberal reformista’, que permitia a atuação do Estado voltada para a correção das falhas do mercado, principalmente através da implementação de políticas horizontais. A política industrial deste período é voltada para a criação de oferta de tecnologia através de desenvolvimento de P&D ou criação de infraestrutura tecnológica⁶⁹ (CASSIOLATO, ERBER, 1997).

Apesar da política industrial deste período ainda ser bastante restrita, alguns importantes mecanismos foram instituídos, como os fundos setoriais, que visavam recuperar a capacidade de financiamento à P&D e à inovação. Entre 1999 e 2002 foram criados 12 fundos setoriais (KOELLER, 2009).

No início dos anos 2000 houve um reconhecimento do baixo esforço inovador das empresas brasileiras e da insuficiência dos mecanismos de apoio à CTI no Brasil. Esta percepção levou a uma revisão da agenda destinada a CTI e representou um resgate das políticas para o setor. Ao longo dos dois mandatos do governo Lula (2002-2010) diversas medidas foram tomadas no sentido de fortalecer a política de CTI no País. Houve um incremento dos recursos destinados ao fomento das atividades de inovação com a criação de novos fundos setoriais e a adoção de diversas Leis e Políticas, dentre as quais a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) em 2004, a Lei de Inovação em 2004, a Lei do Bem em 2005 e a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) em 2008.

A PITCE tinha dentre os objetivos principais o aumento da eficiência econômica da indústria brasileira e o desenvolvimento de tecnologias com maior potencial de indução do nível de atividade. Em continuidade à PITCE, o governo lançou em 2008 a PDP, com o objetivo principal de dar seguimento ao ciclo de expansão da economia brasileira. A PDP visava basicamente a ampliação da capacidade de oferta, a preservação da robustez do balanço de pagamentos, a elevação da capacidade de inovação e o fortalecimento das micro e pequenas empresas. Esta política procurou

⁶⁹ Segundo os autores, quatro ‘tipos’ de ‘agendas de política’ marcam a década de 1990 no Brasil e em diversos países: ‘agenda neoliberal radical’; ‘agenda neoliberal reformista’; ‘agenda neo desenvolvimentista’; e a ‘agenda social-democrata’. Para mais informações, ver Cassiolato e Erber (1997).

avançar em relação à PITCE através do estabelecimento de metas quantitativas explícitas (CZERESNIA, 2013)⁷⁰.

Um dos marcos mais importante para a retomada da política de CTI no Brasil foi a instituição da Lei de Inovação, que criou incentivos à inovação e à pesquisa científica tanto nas empresas quando nos institutos de pesquisa e universidades. Além de mecanismos para estimular a interação entre as universidades e empresas e fomentar a incubação de empresas nos institutos tecnológicos, esta lei também introduziu um importante instrumento de apoio direto ao setor produtivo, a subvenção econômica. A subvenção econômica institui um mecanismo de financiamento não-reembolsável às empresas, com intuito de compartilhar os custos e riscos inerentes às atividades de inovação⁷¹.

Na sequência, a Lei do Bem estabeleceu mecanismos que desoneram de forma automática os investimentos realizados em projetos de inovação, sem que haja necessidade de apresentação de projetos.

Especificamente no setor elétrico, foram tomadas algumas medidas no sentido de fomentar os processos de inovação. A mais importante foi o estabelecimento do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor de Energia Elétrica, em 2000, que previa que as empresas concessionárias, permissionárias ou autorizadas de distribuição, transmissão e geração de energia, deveriam aplicar anualmente um percentual mínimo de sua receita no programa. A obrigatoriedade da aplicação desses recursos está prevista em lei e nos contratos de concessão, cabendo à ANEEL regulamentar o investimento, acompanhar a execução dos projetos e avaliar seus resultados.

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor de Energia Elétrica tem sido essencial no incentivo a inovações e como forma de superar os desafios tecnológicos na área.

Foge ao escopo desta pesquisa analisar com maior profundidade a evolução das políticas de CTI no País. O objetivo aqui é apenas descrever brevemente essa evolução para contextualizar a análise das políticas tecnológicas que se segue.

⁷⁰As macro-metas foram compostas por quatro grupos de ações específicas para serem alcançadas até 2010: (1) ampliar a taxa de investimento para evitar a formação de gargalos de oferta; (2) elevar o esforço de inovação, sobretudo no setor empresarial; (3) preservar a robustez do balanço de pagamentos; e (4) fortalecer as micro e pequenas empresas (CZERESNIA, 2013).

⁷¹Apesar de estar prevista na legislação desde 2001, as ações de subvenção econômica tiveram sua implementação iniciada em 2005, através do próprio Ministério da Ciência e Tecnologia e, a partir de 2006, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, tendo como agência executiva a FINEP. A partir de 2006, então, a FINEP passou a operacionalizar a subvenção econômica utilizando seu mecanismo tradicional – os editais de chamada pública (KOELLER, 2009).

5.4.2. Subvenção Econômica

O programa de “Subvenção Econômica à Inovação Nacional” teve o objetivo de apoiar, por meio da concessão de recursos de subvenção econômica (recursos não-reembolsáveis), o desenvolvimento, por empresas brasileiras, de produtos, processos e serviços inovadores, visando ao desenvolvimento das áreas consideradas estratégicas nas políticas públicas federais (FINEP, 2010). O Programa foi operado por meio de editais de chamadas públicas e a disponibilização dos recursos estava condicionada à apresentação de contrapartida pelas empresas beneficiadas. Desde o início de sua operacionalização, em 2006, foram cinco editais (2006, 2007, 2008, 2009 e 2010). Cada um estabeleceu regras diferentes em relação às áreas e temas que poderiam ser apoiados (FINEP, 2010). O ano de 2010 foi o último ano de chamada de subvenção.

A tabela 4 apresenta os 18 projetos eólicos de subvenção contemplados no programa de subvenção econômica entre 2006 e 2010. Durante todo o período, a área de energia foi incluída, mas nem sempre a fonte eólica foi contemplada. No triênio 2006-2008 e em 2010, o edital não incluiu a energia eólica de forma direta e apenas alguns projetos de interesse eólico foram aprovados. Em 2006, um projeto de desenvolvimento e produção de nanocomposito da empresa ORBYS, que pode vir a ser usado nas pás eólicas. Em 2007 a empresa brasileira WEG foi apoiada (aproximadamente um milhão de reais) para desenvolver geradores eólicos utilizando ímãs permanentes⁷². Em 2008, a empresa brasileira Tecsis recebeu aproximadamente R\$ 8 milhões para desenvolver moldes e sistemas estruturais para pás de geradores eólicos a partir de materiais compostos.

No ano de 2009, o edital incluiu, pela única vez, a fonte eólica como prioritária.⁷³ Houve um significativo aumento na quantidade de projetos eólicos contemplados. Dos 26 projetos aprovados naquele ano, 18 eram para a fonte eólica.

⁷² A entrada da WEG como produtora de turbinas eólicas será analisada no capítulo 6.

⁷³ Dentre os objetivos da chamada pública daquele ano constava o “desenvolvimento de equipamentos, componentes, peças ou partes aplicados à produção de energia solar e energia eólica” (FINEP, 2009, P. 9).

Tabela 4 - Projetos eólicos contemplados no programa de subvenção econômica

TÍTULO	ANO AÇÃO	PROPONENTE	V.FINEP
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE NANOCOMPÓSITO POLIMÉRICOS ESTRUTURAIS E RECOBRIMENTO DE FIBRA DE VIDRO PARA A INDÚSTRIA TÊXTIL E COMPÓSITOS EM GERAL	2006	ORBYS DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA DE MATERIAIS LTDA	R\$ 515.085,00
PROJETO, FABRICAÇÃO E ENSAIOS DE GERADORES EÓLICOS A ÍMÃS PERMANENTES	2007	LWEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A.	R\$ 998.499,00
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AVANÇADO PARA PROCESSO INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DE MOLDES, MODELOS E SISTEMAS ESTRUTURAIS PARA PÁS DE GERADORES EÓLICOS UTILIZANDO MATERIAIS COMPOSTOS.	2008	TECSIS TECNOLOGIA E SISTEMAS AVANÇADOS LTDA – FILIAL	R\$ 7.899.140,00
DESENVOLVIMENTO DE SUBCOMPONENTES PARA TORRES EÓLICAS	2009	USIMINAS MECÂNICA S.A.	R\$ 1.225.250,00
PRO FACTOR-W - SISTEMA INTELIGENTE PARA A REGULAÇÃO DE TENSÃO E COMPENSAÇÃO DINÂMICA DE REATIVOS EM USINAS DE GERAÇÃO EÓLICA	2009	HPE INDÚSTRIA E COMERCIO DE EQUIPAMENTOS ELETRO-ELETRÔNICOS LTDA –ME	R\$ 555.202,56
DISPOSITIVOS DE CONTROLE PARA USINAS EÓLICAS	2009	REIVAX INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRONICA E CONTROLE LTDA.	R\$ 1.726.405,70
DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS APLICADOS À PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA.	2009	WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A.	R\$ 1.674.152,40
CONVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA GERADOR DE ENERGIA EÓLICA	2009	ICSA DO BRASIL LTDA.	R\$ 2.483.065,00
CONVERSOR EÓLICO DE 20 KVA PARA SISTEMAS ELÉTRICOS ISOLADOS	2009	METALÚRGICA FRATELLI LTDA	R\$ 584.400,00
AEROGERADORES AVANÇADOS OTIMIZADOS PARA USO NO BRASIL	2009	WIND POWER ENERGIA AS	R\$ 9.997.856,00
AGIL10K - PROTÓTIPO CABEÇA-DE-SÉRIE DE UM AEROGERADOR DE INDUÇÃO DE 10KW UTILIZANDO TECNOLOGIA NACIONAL	2009	RECRIAR TECNOLOGIAS E ENGENHARIA LTDA	R\$ 804.086,00
PRODUÇÃO DE AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE	2009	CLAMPER INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.	R\$ 1.026.850,40

DESENVOLVIMENTO DE TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL (TEEH) DE PEQUENO PORTE, DE ALTA EFICIÊNCIA E CARACTERÍSTICAS ADAPTÁVEIS PARA INSTALAÇÕES SOBRE EDIFICAÇÕES RURAIS E URBANAS	2009	HIDROMETALURGICA ZMLTDA	R\$ 708.950,52
CONVERSOR ESTÁTICO PARA GERADOR EÓLICO DE 20 KW	2009	EQUISUL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	R\$ 1.004.000,00
ANALISADOR DE ENERGIA PARA GERADORES EÓLICOS	2009	EMBRASUL INDUSTRIA ELETRONICA LTDA	R\$ 1.294.716,00
CONDICIONADOR DE ENERGIA EÓLICA-SOLAR COM FILTRO ATIVO	2009	EMBRASUL INDUSTRIA ELETRONICA LTDA	R\$ 2.687.830,60
PLATAFORMA DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E TRANSFORMADORES PARA GERADORES EÓLICOS	2009	SIEMENS LTDA	R\$ 2.006.275,20
DESENVOLVIMENTO DE TORRES OTIMIZADAS PARA ENERGIA EÓLICA E RESPECTIVO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	2009	SECCIONAL BRASIL S/A	R\$ 3.935.430,00
PROTÓTIPO DE UM COMPENSADOR DE REATIVOS (STATCOM) DE 300KVAR APLICADO A GERAÇÃO EÓLICA	2009	RECRIAR TECNOLOGIAS E ENGENHARIA LTDA	R\$ 517.769,00

Fonte: Elaboração própria com dados da FINEP

Primeiramente é possível afirmar que o programa demorou em considerar a geração eólica como estratégica. Apenas em 2009, quando passou a competir nos leilões e já tinha alcançado certa competitividade, esta fonte foi considerada prioritária. A subvenção econômica, pilar da política tecnológica, não teve o papel de anteceder o desenvolvimento do mercado eólico, como na maioria dos países que desenvolveram com sucesso essa indústria.

Adicionalmente, a retirada da energia eólica no edital de 2010 configurou-se como uma desconexão com a conjuntura nacional, dado que os leilões de 2009 apontavam para uma perspectiva de expansão contínua dessa fonte na matriz energética brasileira.

Outra dimensão relevante refere-se à escolha dos projetos apoiados. Dos 18 projetos de energia eólica apoiados ao longo dos anos, cinco eram destinados para turbinas de pequeno porte, quatro eram para dispositivos para centrais eólicas e nove

podem ser destinados a aerogeradores de grande porte⁷⁴. Destes, quatro se destinavam a projetos para componentes de baixo conteúdo tecnológico e quatro eram de projetos de maior intensidade tecnológica.

Nesse caso, chama atenção a subvenção dada a projetos de aerogeradores de pequeno porte. Novamente, o momento era marcado pela perspectiva de desenvolvimento da indústria eólica de grande porte no País, após o sucesso dessa energia nos leilões. A opção de concentrar um terço dos projetos eólicos apoiados naquele ano no segmento de pequeno porte levanta questionamentos sobre a conexão dos instrumentos de política de inovação com a política de constituição e regulação do mercado e com a própria política industrial. É importante ressaltar que algumas tecnologias desenvolvidas em pequeno porte podem ser aplicadas em grande porte. Mas a maioria apoiada pela subvenção envolve exclusivamente projetos de pequeno porte.

Além do segmento de pequeno porte, a subvenção também apoiou projetos relacionados à integração das centrais eólicas com a rede de transmissão. O aprimoramento dos sistemas inteligentes para a regulação de tensão da rede elétrica, de mecanismos de conexão com as centrais eólicas e de dispositivos de controle para as usinas são cruciais para o funcionamento do sistema elétrico e merecem ser subvencionados. Além disso, alguns projetos eram de alta intensidade tecnológica, como o desenvolvimento de um analisador de energia pela empresa Embrasul.

Os projetos de pequeno porte e de dispositivos de controle e conexão às redes eólicas somam metade dos projetos subvencionados ao longo dos anos. Os demais projetos foram destinados ao segmento de aerogeradores de grande porte. Destes, quase metade (4 de 9) foram destinados à subvenção de projetos de componentes de baixo conteúdo tecnológico (torres, transformadores e ar condicionado) com processos de produção já bastante difundidos e os quais as OEMs tendem a terceirizar para fornecedores locais.

Ao final, foram apenas seis projetos de maior intensidade tecnológica no segmento de aerogeradores de grande porte foram apoiados. Os três primeiros, o da ORBYS, o da Tecsys e o da WEG, foram acima analisados.

Os outros três foram selecionados na chamada pública de 2009 e eram das empresas WEG, IMPSA e ICSA, sendo esta última uma subsidiária da IMPSA para a

⁷⁴ Os projetos de dispositivos para centrais eólicas eram de alta intensidade tecnológica. Mas, como o foco da pesquisa recai mais sobre o aerogerador, optou-se por não aprofundar a análise sobre os projetos relacionados à estabilização da rede e os dispositivos de conexão às centrais eólicas.

produção de conversores de potência. O projeto da WEG tinha como objetivo o desenvolvimento de equipamentos eletroeletrônicos de aerogeradores, o da IMPSA era focado no desenvolvimento de aerogeradores otimizados para uso no Brasil e o da ICSA pretendia desenvolver um conversor de frequência para geradores de energia eólica.

Estes seis projetos podem ser considerados como importantes para o desenvolvimento da base tecnológica do país. Dois foram importantes em processos no segmento de pás e os outros quatro foram focados em demais componentes do aerogerador de grande porte. A crítica recai, contudo, na reduzida quantidade de projetos. Conforme mencionado anteriormente, a indústria global eólica passou por uma reconfiguração que abriu espaço para novos fabricantes e para a manufatura padronizada de componentes eólicos mais complexos (CAMILLO, 2013). Assim, seria interessante que a possibilidade de desenvolver fornecedores de alta tecnologia locais fosse mais bem aproveitada, a exemplo da China.

Em relação a projetos focados no desenvolvimento de aerogeradores nacionais ou adaptação dos aerogeradores às especificidades brasileiras, há apenas dois projetos, um da Impsa e outro da WEG⁷⁵.

Sobre os atores envolvidos, os projetos foram, em sua maioria, propostos por empresas de engenharia e de dispositivos para o setor elétrico. Estas empresas estão aproveitando a expansão da energia eólica no Brasil para entrar no setor. Temos quatro empresas de grande porte, sendo três OEMs, WEG, Impsa e Siemens, e uma fabricante de pás eólicas, a Tecsis.

Os projetos contemplados receberam recursos num valor próximo a R\$ 41 milhões. As empresas que receberam os maiores aportes foram a IMPSA⁷⁶, com quase R\$ 10 milhões e a Tecsis com um pouco menos que R\$ 8 milhões.

A maior parte dos recursos foi destinada aos estados do Sul e Sudeste. A Região Nordeste, que apresenta o maior potencial eólico do país, foi contemplada com apenas um projeto, o da Impsa. Destinar apenas um projeto para a região com maior potencial eólico do país pode ser compreendido como uma fraqueza, pois como a logística do setor eólico exige que as fábricas de equipamentos eólicos fiquem próximas aos parques, a necessidade de fortalecimento da capacitação científica e tecnológica da Região Nordeste era algo fácil de ser previsto. No entanto, o Nordeste foi bastante

⁷⁵ Tais empresas possuem estratégias de produção e de inovação diferenciadas em relação às demais OEMs que se instalaram no Brasil. Este tópico será analisado no capítulo 6.

⁷⁶ Se levar em consideração o aporte dado a ICSA, o valor recebido pela Impsa ultrapassa R\$ 12 milhões.

marginalizado pela subvenção econômica. Em 2012, uma das maiores dificuldades da indústria era a escassez de fornecedores localizados no Nordeste, um gargalo que poderia ter sido minimizado com a utilização do Programa de Subvenção para esta região.

A seguir, será analisada a utilização do fundo setorial no desenvolvimento tecnológico da indústria eólica.

5.4.3. Fundo Setorial

Conforme mencionado, a partir de 1999 foram sendo criados fundos setoriais com o intuito de promover a inovação em áreas estratégicas. A condição para que os projetos fossem financiados era que estes deveriam envolver, necessariamente, empresas e instituições científicas e tecnológicas.

Atrelados à criação dos fundos setoriais, foram instituídos os Comitês Gestores formados por governo, setor produtivo e academia para definir as diretrizes, os projetos a serem financiados e o acompanhamento dos fundos. A intenção era permitir a participação do setor privado e da academia na definição dos projetos a serem financiados e incentivar a formação de parcerias em projetos de pesquisa, entendendo que a inovação não ocorreria de forma isolada (KOELLER, 2009). Os editais são elaborados com base nas diretrizes estabelecidas pelos Comitês Gestores de cada um dos fundos.

A FINEP ou o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) concedem financiamentos não-reembolsáveis (FINEP) ao projeto, depois que estes são selecionados. Há também a possibilidade de concessão de bolsas de pesquisa via CNPq (KOELLER, 2009).

Em 2001, foi criado o CT-Energia para o qual os projetos relacionados à energia eólica podem se candidatar às chamadas para seleção de projetos desde que haja coerência com os temas definidos.

Desde a criação do fundo até 2009, ano da última chamada, foram realizadas nove seleções, incluindo editais, encomendas etc. Desde 2009 nenhuma nova chamada foi realizada. A seleção realizada em 2006 foi a única que tinha como objetivo central as fontes de energia renováveis e como tema prioritário as fontes eólica e solar

fotovoltaica. Alguns editais, como o de 2003, incluíram o desenvolvimento das energias renováveis como um dos objetivos, mas não fizeram menção explícita à geração eólica.

Considerando todas as seleções realizadas por chamada pública via fundo setorial de energia, foram contabilizados 15 projetos em energia eólica. Não é uma quantidade irrelevante, tendo em vista que todas as seleções somaram em torno de 120 projetos. Dos 15 projetos de energia eólica subvencionados pelo CT- Energia, 10 eram voltados para aerogeradores de pequeno porte e, destes, todos tinham a participação de empresas. As empresas fabricantes de turbinas de pequeno porte Enersud e Eletrovento eram parceiras em três e dois projetos respectivamente. A WEG também atuou como parceira em um projeto de turbinas de pequeno porte. As demais eram empresas fabricantes de dispositivos para o setor elétrico.

Sobre os cinco projetos que não eram voltados a aerogeradores de pequeno porte, apenas um era destinados a aerogeradores de grande porte. O projeto era voltado ao desenvolvimento de um conversor eólico, sendo um formado por uma parceria entre o colégio Evangélico Panambi com a empresa metalúrgica Fratelli Ltda.

Dois projetos eram de controle e conexão a rede, desenvolvido em parceria com a Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos (COPPETEC) e a Elepot Estudos e Pesquisas Ltda., empresa incubada no COPPETEC. O segundo projeto é voltado Sistema Supervisório, de Automação e Controle para Usinas Marinha e Eólica, desenvolvido pela UFRJ e Enersul.

Os outros dois eram voltados para o desenvolvimento de parametrização e modelagem de sistemas fluviais e eólicos na bacia. E desenvolver modelos matemáticos para a realização de estudos de interligação de aerogeradores à rede elétrica. Apesar de cruciais, não eram focados no aerogerador.

No total foram desembolsados quase R\$ 5 milhões pela FINEP. O projeto de aerogerador de pequeno porte, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, recebeu a maior quantia. Os projetos do CT-Energia seguem o mesmo padrão de concentração regional que os programas da Subvenção Econômica, localizando-se nas regiões Sul e Sudeste. Foram 11 projetos apoiados nestas duas regiões e apenas 2 no Nordeste e 2 no Norte⁷⁷.

⁷⁷ É necessário investigar os projetos enviados como forma de saber se há um viés regional na aprovação dos projetos ou uma escassez de demanda provenientes das demais regiões (CO, N e NE). Recomenda-se que seja realizado um estudo que compare as demandas regionais com os projetos aprovados.

Adicionalmente, foram identificados quatro projetos de energia eólica no âmbito dos fundos setoriais que não foram contratados via chamadas públicas, mas sim encomendas específicas. Destes, somente um – elaboração do atlas eólico brasileiro - se caracteriza como sendo especificamente relacionado à fonte eólica. Os demais são estudos focados em energia e popularização da ciência (tabela 5).

Não se pode afirmar que os fundos setoriais não promoveram processos de interação entre os atores locais no âmbito do programa, mas tal interação se voltou basicamente para o segmento de fabricantes de pequenos aerogeradores, fabricantes de dispositivos para o setor elétrico e grupos de pesquisa do setor elétrico.

Tabela 5 - Encomenda e chamada pública de energia eólica apoiados pelo CT-Energia

TÍTULO	ANO AÇÃO	PROPONENTE	UF	V.FINEP
MODELOS MATEMÁTICOS DE GERADORES EÓLICOS	2002	FUNDAÇÃO DE AMPARO E DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	PA	R\$ 5.000,00
PROJETO DE TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL	2003	UNIÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO E ASSISTÊNCIA	RS	R\$ 221.860,00
DESENVOLVIMENTO DE UM MICRO-AEROGERADOR NACIONAL DE 10KW	2003	FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA	SC	R\$ 269.900,00
AEROGERADOR NACIONAL DE 5 KW PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	2003	FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP	SP	R\$ 292.500,00
GRW 5000	2003	CENTRO DE ESTUDOS DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UERJ	RJ	R\$ 300.000,00
PARAMETRIZAÇÃO E MODELAGEM DE SISTEMAS FLUVIAIS E EÓLICOS NA BACIA DO PARNAÍBA	2003	FUNDAÇÃO NORTE RIO GRANDENSE DE PESQUISA E CULTURA	RN	R\$ 375.000,00
DESENVOLVIMENTO DE UM AEROGERADOR E OTIMIZAÇÃO DE SEU ACACOPLEMENTO À MOTOBOMBAS CONVENCIONAIS POR MEIO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIAS	2006	INSTITUTO EUVALDO LODI - NÚCLEO REGIONAL DO AMAPÁ	AP	R\$ 254.218,60
CONVERSOR EÓLICO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS INTERLIGADOS	2006	COLEGIO EVANGELICO PANAMBI ESCOLA DE 1 E 2 GRAUS	RS	R\$ 353.992,10
PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR EÓLICO DE 24 KW	2006	FUNDAÇÃO CASIMIRO MONTENEGRO FILHO	SP	R\$ 296.595,00
DESENVOLVIMENTO DE ROTORES AERODINÂMICOS PARA TURBINAS EÓLICAS	2006	FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	SP	R\$ 322.785,00

CONTROLADOR DE CARGA MULTIUSO PARA TURBINAS EÓLICAS DE PEQUENO PORTE	2006	FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	SP	R\$ 213.338,00
REEQUIPAMENTO DE LABORATÓRIO PARA ENSAIOS DE CONVERSORES PARA SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR-FOTOVOLTAICOS E EÓLICO-ELÉTRICOS DE PEQUENO PORTE	2006	ASSOCIAÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN	CE	R\$ 292.500,00
SISTEMAS RECONFIGURÁVEIS PARA GERAÇÃO COM FONTES RENOVÁVEIS	2006	FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS COPPETEC	RJ	R\$ 196.413,00
DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS APLICADO EM GERADOR EÓLICO DE PEQUENO PORTE ATÉ 10KW	2008	FUNDAÇÃO DE APOIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	RS	R\$ 1.023.970,00
SISTEMA SUPERVISÓRIO, DE AUTOMAÇÃO E CONTROLE PARA USINAS MARINHA E EÓLICA	2008	FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS COPPETEC	RJ	R\$ 543.625,00
ESTUDO DO POTENCIAL DE MERCADO DAS FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS NO BRASIL	2004	FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS	RJ	R\$ 120.000,00
PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO E DESEMPENHO DE NOVOS MATERIAIS ADEQUADOS A CADEIA PRODUTIVA DE BIODIESEL, PETRÓLEO E ENERGIA.	2007	FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	PE	R\$ 391.913,00
A CIÊNCIA PODE AJUDAR	2007	INSTITUTO CIÊNCIA HOJE	RJ	R\$ 200.000,00
ATUALIZAÇÃO DO ATLAS EÓLICO BRASILEIRO	2008	CENTRO DE PESQUISAS EM ENERGIA ELÉTRICA	RJ	R\$ 899.096,24

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da FINEP

Novamente, há um descompasso entre a política científica e tecnológica e as demais políticas. Durante todo o período que esteve em vigor, o CT-Energia apoiou basicamente pequenos aerogeradores, destinados aos sistemas isolados. Fica evidente, neste caso, a falta de uma visão sistêmica que coordenasse as políticas de estruturação de mercado e as tecnológicas e direcionasse os instrumentos de política aos gargalos que o País enfrentava.

O CNPq em 2010 lançou o Edital focado em capacitação laboratorial e a formação de recursos humanos em fontes renováveis onde uma das linhas era Energia eólica⁷⁸.

Como resultado de edital foram contemplados 11 projetos, sendo três do Rio Grande do Sul, seis da região nordeste e dois no estado Minas Gerais. Entre esses, dois são diretamente focados em controle, três em dados eólicos, quatro em aerogeradores e um em pás. Os dois únicos projetos de pesquisa selecionados que vinha ao encontro da indústria de energia eólica que se estava construindo no Brasil era o que se propunha a pesquisar novos materiais para pás de turbinas de grande porte e o aprimoramento de protótipo de aerogerador de 2MW, adequando peças e componentes para aumento da eficiência face às condições do nordeste brasileiro, sem comprometer a segurança operativa.

Neste edital a região nordeste recebe seis projetos de capacitação de laboratorial e pessoal focado em energia eólica, sendo a primeira vez que a região recebe um incentivo proporcional ao potencial eólico.

Tabela 6 - Projetos selecionados no edital MCT/CNPQ/FNDCT 05/2010159

AUTOR	UNIDADE	PROJETO
ALEX MAURÍCIO ARAÚJO	UFPE	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA GERENCIAMENTO E ANÁLISE DE DADOS EÓLICOS
HILTON ABÍLIO GRÜNDLING	UFSM	LABORATÓRIO PARA VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE TÉCNICAS DE CONTROLE DE GERADORES EÓLICOS DURANTE FALTAS NO SISTEMA ELÉTRICO
HUMBERTO PINHEIRO	UFSM	
JOHN EDWARD NEIRA VILLENA	SENAI/ DR/RN	APRIMORAMENTO DE AEROGERADOR DE 2MW PARA ADEQUAÇÃO ÀS CONDIÇÕES EÓLICAS BRASILEIRAS
JORGE ANTONIO VILLAR ALE	PUCRS	AValiação DO DESEMPENHO AERODINÂMICO E ESTRUTURAL DE ROTORES EÓLICOS
JOSÉ DANIEL DINIZ MELO	UFRN	DESENVOLVIMENTO DE PÁS DE ALTO DESEMPENHO PARA AEROGERADORES DE GRANDE PORTE
PAULO CESAR MARQUES DE CARVALHO	UFC	PREVISÃO DE POTENCIAL EÓLICO VISANDO OPERAÇÃO INTEGRADA ÓTIMA DE UNIDADES GERADORAS DE ELETRICIDADE: ESTUDO DE CASO PARA O NORDESTE DO BRASIL

⁷⁸ Edital MCT/CNPq/FNDCT 05/2010159

RICARDO LUIZ UTSCH DE FREITAS PINTO	UFMG	PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTES DE UM GERADOR DE PEQUENO PORTE RECONFIGURÁVEL
ROBERTO FERNANDO DA FONSECA LYRA	UFAL	PREVISÃO DO VENTO EM PARQUES EÓLICOS NO NORDESTE BRASILEIRO
RUTH PASTÓRA SARAIVA LEÃO	UFC	GERENCIAMENTO E CONTROLE DE MICROREDE INTELIGENTE
SELENIO ROCHA SILVA	UFMG	DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES EM SISTEMAS DE GERAÇÃO PARA AEROGERADORES DE PEQUENO E GRANDE PORTE CONECTADOS A REDE ELÉTRICA

5.4.4. Programa de P&D do setor elétrico brasileiro

5.4.4.1. Características gerais do programa

Em 2000, a ANEEL estabeleceu que as concessionárias de serviços públicos de distribuição, transmissão ou geração de energia elétrica, as permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica e as autorizadas à produção independente de energia elétrica, excluindo aquelas que geram energia exclusivamente a partir de instalações eólicas, solar, biomassa, cogeração qualificada e PCHs devem aplicar anualmente um percentual mínimo de sua receita operacional líquida (ROL) em projetos de P&D do setor de energia elétrica segundo regulamentos estabelecidos pela ANEEL⁷⁹.

Não é objetivo desta tese fazer uma apresentação e análise detalhada desta ação da ANEEL. Deve-se apenas destacar que há inúmeras críticas à concepção e implementação do programa. Neves (2011), por exemplo, aponta que os critérios estabelecidos pela ANEEL para a análise dos projetos não são suficientes para sua efetiva avaliação e seleção. Segundo o autor, os critérios não são claros e representam incerteza para as empresas do setor elétrico. Desde o início, muitas empresas não implementavam projetos de P&D e os recursos do programa não eram totalmente utilizados. Teixeira e Marques (2008) apontam que até 2008, apenas um número reduzido de empresas, concentrado nas empresas com maior experiência e vocação em P&D, tais como Furnas, Cemig e Copel, submetiam propostas de projetos de P&D para aprovação da ANEEL.

⁷⁹ Lei no 9.991, de 24 de julho de 2000, alterada pelas Leis n°10.848, de 2004, n° 11.465, de 2007, n° 12.111, de 2009 e n° 12.212, de 2010,

Polito (2006) afirma que o programa de P&D da ANEEL, até 2008, estava mais voltado para pesquisa do que para desenvolvimento, uma vez que grande parte dos projetos foi desenvolvida em parcerias com centros de pesquisas e universidades e não atingiu escala industrial e aplicação no sistema elétrico.

Em 2008, com o objetivo de aumentar a agilidade do programa, o processo de aprovação foi modificado. A partir daquele ano passou a ser facultativa a submissão dos projetos de P&D para avaliação inicial da ANEEL e os projetos poderiam ser implementados e enviados à ANEEL apenas no final. Mas esta nova regra representou um aumento no risco associado aos projetos de P&D, uma vez que estes poderiam não ser aprovados pela ANEEL após a execução. Segundo a nova regra, os projetos que forem reprovados, ou aprovados parcialmente, deverão ter os seus gastos realizados e não reconhecidos estornados para a conta contábil de P&D.

Segundo Neves (2011), a mudança no Programa de P&D da ANEEL foi estimulada pela falta de recursos da agência para avaliar todos os projetos recebidos, o que resultava na aprovação de projetos sem a devida relevância. As empresas, tendo o projeto aprovado antecipadamente pela ANEEL, não se preocupavam com ajustes, mas somente em executá-lo, pois tinham a garantia que após a execução teriam o investimento reembolsado. A partir de 2008, mesmo que o projeto tenha parecer positivo em seu julgamento inicial, isso não garante sua aprovação após a execução, na avaliação final da ANEEL, que é obrigatória (NEVES, 2011).

Outra crítica recorrente ao programa é a falta de uma articulação dos projetos com as necessidades do País e com a política industrial e tecnológica. Segundo Silva *et al.* (2010), os esforços das empresas no âmbito do programa estão voltados para as necessidades de curto prazo e dessa forma, não há garantia de que os recursos serão aplicados nas áreas mais deficitárias ou importantes para o setor elétrico.

Para tentar reduzir a falta de sintonia entre os objetivos das empresas e os objetivos da ANEEL, foi criado o Projeto de P&D estratégico da ANEEL, com a aprovação da Resolução Normativa nº 316/2008. Através do uso de chamadas temáticas, a agência define critérios para que as empresas interessadas apresentem propostas de projetos considerados estratégicos para o setor elétrico nacional.

Adicionalmente, também a partir de 2008, o programa ganhou um caráter mais dirigista. Foram definidos onze temas considerados como prioritários e estratégicos. Desde então, os projetos de P&D do programa devem estar alinhados com tais temas. As energias alternativas foram incluídas, desde o início, como tema prioritário. O

objetivo era alinhar os projetos de pesquisa às demandas mais relevantes do setor elétrico e estimular projetos mais complexos e de longo prazo. A medida foi motivada pelo diagnóstico de que até 2008, os projetos eram mais simples e respondiam demandas tecnológicas mais imediatas (CAMILLO, 2013).

5.4.4.2. Energia eólica no âmbito do programa de P&D da Aneel

Esta seção analisa os projetos de energia eólica no âmbito do programa de P&D da Aneel após 2008, quando passou a ser facultativa a submissão dos projetos de P&D para avaliação inicial da ANEEL⁸⁰. Assim, 36 projetos em Energia Eólica⁸¹ foram aprovados inicialmente como P&D pela Aneel. Deste, apenas 15 projetos foram levados adiante pelas proponentes, os demais não entraram em execução⁸².

Em 2009, foram apoiados quatro projetos de eólica que receberam conjuntamente R\$ 2 milhões. No ano seguinte, foram desembolsados R\$ 13,3 milhões, distribuídos em cinco projetos. A média de recurso recebido por projeto saltou de R\$ 500 mil para R\$ 2,7 milhões. Em 2011, foram seis projetos e a média de valor recendeu por projeto se manteve similar ao ano anterior, R\$ 2,8 milhões. Em 2012, houve um aumento significativo na quantidade de projetos, que passou para 15 projetos, com média de R\$ 1,5 milhão para cada projeto. Em 2013, foram apenas cinco projetos apoiados, mas que somam R\$ 16,6 milhões. Em 2014, até março, havia apenas um projeto de R\$ 360 mil.

O recurso total aprovado pela Aneel em energia eólica a partir de 2008 até o presente (2014) foi um pouco superior a R\$160 milhões, que corresponde a 3% dos recursos disponibilizados para P&D no país.

Do total, oito projetos estão ligados diretamente a aerogeradores (seis em execução), cinco projetos focados em políticas para a fonte, sendo que os dois projetos da CELPA apresentados em 2013 são idênticos (um em execução). Onze projetos são referentes a levantamento de potencial eólico (cinco em execução), três tem referência a

⁸⁰ A Aneel disponibiliza apenas os projetos apoiados após a mudança de metodologia. Esforços foram realizados para se obter os dados sobre os projetos apoiados antes de 2008, mas tais esforços foram em vão. Desta forma, a análise se restringe ao período 2009 a 2014 (Março).

⁸¹ No formulário de projeto de P&D existe a classificação de “Tema Escolhido” onde é marcado a alternativa “FA” - Fontes Alternativas de Geração de Energia Elétrica. Os projetos classificados como FA foram analisados e feita individualmente e ao final haviam 35 projetos de fonte eólica.).

⁸² As razões para a não execução dos projetos de P&D são muito variáveis, como nota baixa da Aneel, reestruturação da empresa, alteração de foco, entre outros motivos.

materiais (um em execução), cinco referem-se a sistemas híbridos solar-eólico (dois em execução), quatro referem-se à proteção e conexão a rede.

Os projetos são basicamente de desenvolvimento de protótipos de dispositivos e componentes de turbinas de pequeno porte. Contudo, grande parte dos projetos dos protótipos e componentes ainda estava em descompasso com o mercado eólico de grande porte em formação. A exceção foi o projeto da Petrobras de 2012, que buscava aprimorar um aerogerador de 2MW às condições eólicas brasileiras a um custo de R\$ 14 milhões.

Dentre as proponentes, a empresa CEEE-GT é a que mais enviou projetos para avaliação da Aneel, sete ao total. Contudo, até o momento esta empresa não apresentou interesse em executar nenhum dos projetos. É visível a participação de agentes atuantes no setor eólico com investimentos em parques eólicos, como é o caso da Eletrosul e da TRACTBEL.

Tabela 7 - Programas de energia eólica do programa de P&D da Aneel

EMPRESA	SIGLA	TÍTULO DO PROJETO	CUSTO DO PROJETO	ANO
USINA TERMÉLETRICA NORTE FLUMINENSE S/A	UTNF	AEROGERADORES DARRIEUS DE PÁS RETAS: DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA ÓTIMA PARA O ROTOR EÓLICO A OPERAR COM VELOCIDADE VARIÁVEL	R\$ 348.040,00	2009
AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS S/A	AMPLA	DESENVOLVIMENTO DE PROJETO, PROTÓTIPO E CABEÇA DE SÉRIE DE TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL PARA USO EM AMBIENTE URBANO	R\$ 882.600,00	2009
ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S/A	ELETROSUL	SISTEMA DE CONVERSÃO ESTÁTICA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA EÓLICA.	R\$ 400.320,00	2009
AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS S/A	AMPLA	DESENVOLVIMENTO DE PROJETO, PROTÓTIPO E CABEÇA DE SÉRIE DE DISPOSITIVO PARA INTERCONEXÃO DE GERADORES EÓLICOS NA REDE PÚBLICA PARA A FAIXA DE 1 A 5 KW.	R\$ 439.450,00	2009
CENTRAL GERADORA TERMELÉTRICA FORTALEZA S/A	CGTF	SISTEMA DE SIMULAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE PARQUES EÓLICOS, AUTOMAÇÃO DA NACELLE E INTERCONEXÃO DE AEROGERADORES A REDES ELÉTRICAS EM ATENDIMENTO À NORMA IEC 61400-25	R\$ 8.618.301,36	2010

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO	CHESF	SISTEMA DE PREVISÃO DE VENTOS E GERAÇÃO EÓLICA EM SÍTIOS DO NE	R\$ 1.434.886,31	2010
AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS S/A	AMPLA	DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO DE GERADOR EÓLICO-SOLAR	R\$ 416.300,00	2010
PETRÓLEO BRASILEIRO S/A.	PETROBRÁS	COMPENSADOR DINÂMICO DE REATIVOS APLICADO À GERAÇÃO EÓLICA (STATCOM-BR)	R\$ 2.736.829,20	2010
COMPANHIA ENERGÉTICA POTIGUAR S.A.	POTIGUAR S.A.	DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE POTENCIAL EÓLICO (SAPE) COMPOSTO DE METODOLOGIA E FERRAMENTA COMPUTACIONAL	R\$ 376.590,50	2010
CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A.	CELESC-DIS	IMPLANTAÇÃO DE MICRO GERAÇÃO EÓLICA USANDO GERENCIAMENTO DE CARGAS NÃO-CRÍTICAS PELO LADO DA DEMANDA NO SAPIENS PARQUE	R\$ 924.620,00	2011
ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S/A	ELETROSUL	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE GERADOR EÓLICO MAGNUS DE VELOCIDADE VARIÁVEL	R\$ 853.319,25	2011
COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO	CESP	OBSTÁCULOS REGULATÓRIOS E METODOLÓGICOS PARA INSERÇÃO DE ENERGIA EÓLICA EM SISTEMAS DE BASE HÍDRICA	R\$ 1.678.630,00	2011
COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ	CPFL-PAULISTA	DE0042 - SISTEMA HÍBRIDO SOLAR/EÓLICA	R\$ 6.762.330,00	2011
PETRÓLEO BRASILEIRO S/A.	PETROBRÁS	APERFEIÇOAMENTO DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE	R\$ 3.998.382,02	2011
TRACTEBEL ENERGIA S/A	TRACTEBEL	DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS DE PREVISÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA PARQUES EÓLICOS EM OPERAÇÃO	R\$ 3.028.616,20	2011
HIDROELÉTRICA PANAMBI S/A.	HIDROPAN	DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO PARA TERRENOS COMPLEXOS VISANDO GERAÇÃO DISTRIBUIDA	R\$ 369.338,00	2012
CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A.	CELESC-DIS	DESENVOLVIMENTO DE UM PARQUE EÓLICO EM POLÍMEROS QUE POSSA SER INSTALADO EM PEQUENAS ÁREAS COM FLUXO REDUZIDO DE VENTO	R\$ 981.805,00	2012
CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A.	CELESC-DIS	INVERSORES DE FREQUÊNCIA DE ALTO DESEMPENHO E PEQUENO PORTE (3KW A 30KW) PARA	R\$ 1.531.120,00	2012

		CONEXÃO DE GERADORES EÓLICOS, TERMICOS E FOTOVOLTAICOS AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO		
COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CEEE-GT	METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO FATOR DE CAPACIDADE NO PROJETO DE PARQUES EÓLICOS EMPREGANDO A DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	R\$ 559.270,00	2012
COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CEEE-GT	SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS ÓTIMOS PARA A CONVERSÃO DE ENERGIA EÓLICA E EÓLICA SUBMARINA NA REGIÃO SUL DO BRASIL	R\$ 360.000,00	2012
COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CEEE-GT	SIMULAÇÃO METEOROLÓGICA COM VISTAS À DETERMINAÇÃO ÓTIMA DA LOCALIZAÇÃO DE NOVOS PARQUES EÓLICOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.	R\$ 622.650,00	2012
COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CEEE-GT	SISTEMAS DE BAIXO CUSTO PARA SIMULAÇÃO METEOROLÓGICA NA LOCALIZAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS	R\$ 613.315,00	2012
ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S/A	ELETROSUL	DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS PARA PROTEÇÃO DA AVIFAUNA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ASSOCIADAS A PARQUES EÓLICOS.	R\$ 1.203.819,00	2012
COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CEEE-GT	SOFTWARE DINÂMICO DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO PARA O RIO GRANDE DO SUL	R\$ 659.100,00	2012
COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CEEE-GT	SISTEMA PARA SIMULAÇÃO METEOROLÓGICA PARA DETERMINAÇÃO ÓTIMA DA LOCALIZAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS	R\$ 548.340,00	2012
COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CEEE-GT	DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS APLICADOS A UM SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA (EÓLICA, SOLAR, BIOGÁS)	R\$ 1.343.638,95	2012
CENTRAL GERADORA TERMELÉTRICA FORTALEZA S/A	CGTF	AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DISTINTOS TIPOS DE BATERIAS DE ÍON-LI CONECTADAS À REDE DE DISTRIBUIÇÃO E À PARQUES DE GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA EM UMA REDE INTELIGENTE	R\$ 2.610.075,15	2012

DUKE ENERGY INTERNATIONAL, GERAÇÃO PARANAPANEMA S/A.	DUKE	RISCOS DE MERCADO NA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA: UMA ABORDAGEM VIA COMPLEMENTAÇÃO ENERGÉTICA E GESTÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS, CONSIDERANDO A MITIGAÇÃO DE INCERTEZAS DA GERAÇÃO EÓLICA	R\$ 878.499,36	2012
MONJOLINHO ENERGÉTICA S/A	MONEL	AVALIAÇÃO DA COMPLEMENTARIDADE ENTRE FONTES SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO	R\$ 643.300,00	2012
PETRÓLEO BRASILEIRO S/A.	PETROBRÁS	APRIMORAMENTO DE AEROGERADOR DE 2MW PARA ADEQUAÇÃO ÀS CONDIÇÕES EÓLICAS BRASILEIRAS	R\$ 14.550.931,96	2012
CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A.	ELETRONORTE	ENSAIOS E MODELAGEM DA RESISTÊNCIA À FADIGA EÓLICA DA MONTAGEM GRAMPO DE SUSPENSÃO/ CABO PARA CONDUTORES DE ALUMÍNIO SUBMETIDOS A ALTOS NÍVEIS DE EDS	R\$ 3.173.996,00	2013
CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A.	CELESC-DIS	DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DE UMA CHAMINÉ SOLAR COM INSERÇÃO EÓLICA ATRAVÉS DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	R\$ 1.957.065,00	2013
CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ S/A.	CELPA	FERRAMENTAS DE APOIO À CONCESSIONÁRIA E AO CONSUMIDOR PARA A DECISÃO DE INSERÇÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTES SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	R\$ 5.039.802,14	2013
CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ S/A.	CELPA	FERRAMENTAS DE APOIO À CONCESSIONÁRIA E AO CONSUMIDOR PARA A DECISÃO DE INSERÇÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTES SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	R\$ 5.039.802,37	2013
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A.	FURNAS	APLICABILIDADE DE NOVA TECNOLOGIA DE EXTRAÇÃO DE ENERGIA DO VENTO PARA TURBINA EÓLICA VERTICAL, UTILIZANDO	R\$ 1.443.082,50	2013

		PÁS DOBRÁVEIS E ARTICULADAS		
RIO AMAZONAS ENERGIA S.A.	RIO AMAZONAS ENERGIA S.A.	NINTEGRAÇÃO DE SOLAR FOTOVOLTAICA A CENTRAL EÓLICA - SIMULAÇÕES E MEDIDAS EXPERIMENTAIS	R\$ 360.000,00	2014

Fonte: Elaboração própria com dados da Aneel

* A instituição Não

Em 2013 foi instituída a primeira chamada pública estratégica voltada a energia eólica dentro do Programa de P&D da ANEEL, a Chamada nº 017 para o Projeto Estratégico Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Eólica, realizada em abril de 2013. Os objetivos deste edital eram o incentivo ao desenvolvimento tecnológico nacional da cadeia produtiva da indústria de energia eólica; a redução dos custos dos equipamentos e componentes; capacitação de profissionais nos segmentos da cadeia eólica, otimização dos recursos energéticos através do planejamento integrado de recursos, da complementaridade e da sinergia entre a fonte eólica e demais fontes; e o aperfeiçoamento regulatório e dos mecanismos de certificação que favoreçam o aumento da segurança e da confiabilidade do suprimento de energia.

Como resultado da Chamada nº 17, a ANEEL recebeu cinco propostas que preveem o desenvolvimento de tecnologia nacional para geração eólica. O desenvolvimento de geradores de 3MW e o aperfeiçoamento de peças eólicas (pás, naceles, geradores, conversores e torres, dentre outras) estão entre os projetos a serem desenvolvidos (ANEEL, 2013d).

Segue na tabela 8 uma síntese dos projetos enviados.

Tabela 8 - Projetos de energia eólica enviados para Chamada 17

Empresa	Título do Projeto	Custo do Projeto
CELESC-DIS	Desenvolvimento de tecnologia nacional de geração eólica para geração distribuída.	R\$ 10.747.270,00
CHESF	Análise e desenvolvimento de torre eólica com altura maior ou igual a 120 m.	R\$ 35.730.291,67
CHESF	Desenvolvimento de uma pá otimizada para rotores eólicos de diâmetro superior a 100 metros utilizando materiais de alto desempenho.	R\$ 34.098.678,57
TRACTEBEL	Desenvolvimento e certificação de aerogerador nacional de 3,3 MW de acoplamento direto, com gerador síncrono de ímãs permanentes e conversor de potência plena.	R\$ 74.209.904,00
Queiroz Galvão Energética S/A.	Desenvolvimento de metodologias de medição e simulação de vento integradas à otimização operacional e financeira de um parque eólico em operação no Brasil.	R\$ 2.402.248,24

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do DUTO/ANEEL

O projeto da TRACTEBEL estabelece uma parceria com a WEG para o desenvolvimento e certificação do aerogerador nacional de 3,3 MW de acoplamento direto, com gerador síncrono de ímãs permanentes e conversor de potência plena. Sendo o projeto estimado em R\$ 160 milhões⁸³.

O estabelecimento de uma chamada estratégica, apesar de ter ocorrido de forma tardia, é positiva. Como foi visto na seção anterior, em 2012 o BNDES alterou as regras do IN atrelado ao financiamento dos projetos eólicos e entendemos que a instituição de uma chamada estratégica alguns meses depois da nova regra do BNDES representa um alinhamento entre tais políticas. Enquanto o primeiro exige o aumento do conteúdo local da cadeia produtiva dos equipamentos eólicos, o segundo incentiva que os recursos dos projetos de P&D do programa da ANEEL sejam aplicados na cadeia eólica.

⁸³ Infelizmente não foi possível obter os nomes das empresas parceiras nos demais projetos.

5.5. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Assim como no resto do mundo, a inserção da energia eólica na matriz energética nacional está intimamente associada à adoção de políticas que fomentam o seu desenvolvimento. Este capítulo mostrou as principais políticas associadas à fonte eólica no Brasil.

Como visto, as políticas de estruturação de mercado foram adotadas em um ambiente de incertezas energéticas. No âmbito da reforma do setor elétrico, as necessidades específicas da fonte eólica foram ignoradas e apenas em função de uma nova conjuntura internacional, a política de estruturação de mercado passa a funcionar novamente. Desta forma, foi possível perceber a falta de conexão da política de estruturação de mercado com o estágio de desenvolvimento da tecnologia e com as condições da indústria eólica nacional.

Em relação à política industrial, o Brasil apostou na atração de IDE. Essa opção foi primeiramente sinalizada com o estabelecimento de conteúdo local mínimo para os empreendimentos participantes do PROINFA. Essa exigência acabou sendo abandonada, assim como as metas de desenvolvimento industrial diante da prioridade dada à constituição de um mercado eólico de forma rápida e que resultou em um abandono dos objetivos de geração de emprego e consolidação de uma estrutura produtiva. Não houve uma coevolução entre as políticas industriais e as de estruturação de mercado, mas sim um ajustamento da primeira em relação à segunda, ficando evidente a subordinação da política industrial às de estruturação de mercado.

Desde o abandono do IN no PROINFA até o primeiro leilão de energia eólica em 2009, praticamente inexistiu uma política industrial para a energia eólica no Brasil. Em 2009, uma mudança no contexto internacional garantiu o sucesso destes instrumentos e partir de 2010, as principais transnacionais passaram a abrir subsidiárias no Brasil. Assim, o País construiu uma indústria local de turbinas formada por subsidiárias de empresas estrangeiras, mas não associou instrumentos que promovessem um processo de transferência tecnológica.

Em relação às políticas de CTI, estas se mostraram descontínuas, pontuais e desarticuladas com o contexto nacional. A estratégia de CTI do país em energia eólica não acompanha a estratégia produtiva e nem os objetivos da política de estruturação de mercado. Os projetos financiados pela política de CTI raramente coincidem com os

desafios das indústrias eólicas, tampouco há um direcionamento da política de CTI para dar suporte aos objetivos estabelecidos pelas políticas de estruturação de mercado. Apesar de, ainda que em nível de discurso, as políticas visem promover a inovação, elas se restringem a financiar projetos de P&D, sem nenhuma preocupação aparente de como utilizar os eventuais resultados positivos destes projetos (que por sua vez apresentam alta taxa de insucesso) em inovações a serem utilizadas pelo setor produtivo. A desconexão entre as políticas ficou evidente: enquanto os programas de CTI praticamente só financiavam pequenos aerogeradores, os objetivos da política energética não eram alcançados em função de gargalos da indústria eólica de grandes aerogeradores.

Um dos aspectos centrais que a experiência brasileira apontou foi a falta de coordenação entre as políticas. As políticas de estruturação de mercado, industrial e científica parecem competir entre si e os objetivos de uma se sobrepõe às metas das demais.

CAPÍTULO 6 - DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA PRODUTIVA DA CADEIA DE EQUIPAMENTOS EÓLICOS NO BRASIL

“Só um economista imagina que um problema é estritamente econômico”
(Celso Frutado).

6.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo é composto de sete seções e tem o intuito de analisar a evolução da estrutura industrial associada à energia eólica que está recentemente se formando no Brasil.

Após esta breve introdução, identifica-se as empresas que compõem a cadeia produtiva de equipamentos eólicos no Brasil. Apesar desta cadeia ser formada por inúmeros fornecedores de componentes, optou-se por limitar a análise às OEMs e aos fornecedores do macro componentes (pás e torres).

As quatro seções que se seguem analisam as estratégias de produção e de inovação adotadas por estas empresas e o impacto da mudança de metodologia do BNDES nestas estratégias.

Para dar suporte à análise, foi realizada uma pesquisa de campo com as empresas produtoras de aerogeradores, de pás e de torres. A pesquisa abrangeu nove fabricantes de aerogeradores (GE, Impsa, Wobben, WEG, Alstom, Gamesa, Acciona, Vestas e Siemens), quatro fabricantes de pás (Wobben, Tecsis, Aeris e LM) e uma fabricante de torre (Inneo Energia). Esta amostra compreende todos os produtores de aerogeradores e de pás que atuam no mercado brasileiro. A pesquisa também incluiu especialistas, professores e governos estaduais.

Os objetivos principais da pesquisa de campo eram:

- i) Identificar as estratégias de produção e inovação dos fabricantes que compõem a cadeia de aerogeradores;
- ii) Analisar o impacto da mudança nas regras de conteúdo local atrelado ao financiamento do BNDES nas estratégias de produção e inovação dos fabricantes que compõem a cadeia de aerogeradores;
- iii) Capturar a percepção das empresas sobre os principais programas voltados para apoiar a indústria eólica.

Ao final, uma síntese conclusiva é apresentada.

6.2. CADEIA PRODUTIVA DE EQUIPAMENTOS EÓLICOS NO BRASIL

O quadro 1 apresenta as empresas fornecedoras de aerogeradores, torres e pás no Brasil em 2013, assim como o início de operação no País e o país de origem da matriz.

Quadro 1 - Principais Produtores de Equipamentos Eólicos no Brasil em 2013

	Empresas	Início da Operação no Brasil	Origem da Matriz
Produtoras de Aerogerador	Wobben/Enercon	1995	Alemanha
	Impsa	2008	Argentina
	Alstom	2011	França
	Gamesa	2011	Espanha
	Vestas	2012	Dinamarca
	Siemens	2013	Alemanha
	GE	2014*	EUA
	Acciona	2013	Espanha
	WEG	2011**	Brasil
Produtoras de pás eólicas	Aeris	2013	Brasil
	Tecsis	1995	Brasil
	Wobben/Enercon	2002	Alemanha
	LM	2013	Dinamarca
Produtoras de Torres	Wobben/Enercon	2011	Alemanha
	Inneo Torres	2011	Espanha
	Engebasa	2009	Brasil
	Piratininga Máquinas	2010	Brasil
	Tecnomaq	2006	Brasil
	Intecnial	2008	Brasil
	RM eólica	2010	Brasil

Fonte: Elaboração própria

*previsão

** empresa WEG já possuía fábricas de componentes de outros segmentos como geradores. Em 2011, a empresa decidiu iniciar a produção de aerogeradores e usou sua fábrica em Jaraguá do Sul (SC). Porém, em 2012, devido a uma mudança no modelo do aerogerador, o início da produção foi adiado e agora a empresa tem previsão de vender seus primeiros aerogeradores em 2014.

A partir das informações contidas no quadro 1, pode-se inferir que a instalação de empresas produtoras de equipamentos eólicos é relativamente recente e que os

maiores produtores mundiais de aerogeradores têm fábricas (ou estão planejando ter) no Brasil. Adicionalmente, percebe-se que as empresas fabricantes de aerogerador são subsidiárias de empresas transnacionais, com exceção das empresas WEG e Impsa. A primeira é a única fabricante de aerogeradores nacionais e a Impsa é uma empresa argentina que concentra sua atuação na América Latina.

A WEG é líder na produção de motores elétricos e geradores desde a década de 1980 e não possuía experiência na fabricação de aerogeradores. Foi apenas em 2011, com a assinatura de um acordo de transferência de tecnologia com o Grupo M. Torres Olvega Industrial (MTOI) que a empresa começou a produzir aerogeradores. Segundo a empresa, o fato da WEG tradicionalmente já produzir diversos componentes do aerogerador como transformadores e geradores, ajudou no início da produção de aerogeradores, embora houvesse diversas etapas de produção que a WEG não dominava. O acordo tecnológico da MTOI com a WEG resultou na criação de uma *joint venture*, com participação igualitária, para a fabricação, montagem, instalação e comercialização de aerogeradores e fornecimento de serviços de operação e manutenção. A estratégia escolhida foi focar inicialmente no mercado nacional⁸⁴.

Em 2012, a *joint venture* lançou seu primeiro aerogerador de 1,65 MW, porém esta potência foi considerada pequena para o mercado brasileiro e a empresa não conseguiu realizar nenhuma venda. O tamanho do aerogerador da WEG era considerado adequado para o mercado brasileiro no momento em que empresa desenvolveu o projeto (2011), mas considerado ultrapassado no momento do seu lançamento (2012). A *joint venture* com a MTOI foi desfeita em função deste fracasso.

Em 2013, a WEG assinou outro acordo de transferência de tecnologia (com a companhia americana Northern Power) para a fabricação de aerogeradores maiores, com potência entre 2,1 e 2,3 MW, rotores das pás com 93 a 110 metros de diâmetro e torres de até 120 metros de altura. A nova máquina atende melhor aos requisitos técnicos dos regimes de ventos brasileiros. A WEG já assinou contratos de venda deste aerogerador cujo primeiro exemplar será entregue no primeiro semestre de 2014.

Assim como a WEG, a Impsa também decidiu entrar recentemente na produção de aerogeradores. Com longa tradição na produção de turbinas hidrelétricas e no desenvolvimento de equipamentos para a indústria de petróleo e gás, a Impsa entrou no ramo de energia eólica apenas em 2003⁸⁵.

⁸⁴ Informações adquiridas através de entrevista com a empresa.

⁸⁵ Informações adquiridas através de entrevista com a empresa.

Da mesma forma que a empresa brasileira, a empresa argentina já possuía um vasto conhecimento em áreas correlatas ao desenvolvimento da produção de aerogeradores, mas também recorreu à assinatura de acordos de transferência tecnológica para iniciar sua produção de aerogeradores. Em 2003, assinou um contrato de transferência tecnológica com a alemã Vensys e foi bem sucedida na produção do seu primeiro modelo.

Além dos aerogeradores com tecnologia Vensys, a Impsa posteriormente desenvolveu tecnologia própria. Segundo declaração da própria empresa, o conhecimento acumulado em diversas áreas, tais como, mecânica de fluídos, manejo de estruturas de grande altura, conversão de frequência e automação, ajudaram no desenvolvimento tecnológico.

A Impsa, através de sua subsidiária Impsa Wind, escolheu o mercado brasileiro para iniciar suas atividades em energia eólica. A expansão do mercado brasileiro e a dificuldade de penetrar nos mercados norte-americano e europeu foram os motivos apontados pela empresa. Atualmente, a Impsa Wind já possui projetos na Malásia e no Vietnã, mas o Brasil permanece como seu principal mercado no segmento eólico.

Além da brasileira WEG e da Argentina Impsa, as companhias produtoras de aerogeradores que já se instalaram ou estão se instalando no Brasil (Wobben, Alstom, Gamesa, Vestas, Siemens, Acciona, GE) são empresas globais já consolidadas no mercado e com forte atuação nos mercados norte-americano e europeu. O mercado brasileiro, apesar de possuir importância crescente, não é o principal.

É possível ainda inferir pelo quadro 1 que há quatro empresas de pás instaladas no Brasil: LM, Aeris, Tecsis e Wobben. Destas, duas são brasileiras, Tecsis e Aeris.

A empresa brasileira Tecsis, uma das líderes mundiais, possui uma história interessante. Esta empresa herdou sua capacidade tecnológica do CTA (Centro Tecnológico Aeroespacial). No final da década de 1970, o governo militar, preocupado com os dois choques do petróleo, criou no CTA um grupo de energia eólica, o qual funcionou de 1979 a 1984. Após a normalização da oferta de petróleo, o grupo de energia eólica foi desmontado, mas um de seus membros fundou a Tecsis em 1995. O sucesso da Tecsis está relacionado à capacitação brasileira acumulada na aeronáutica, setor onde o Brasil tem competitividade mundial com a Embraer, terceira maior fabricante de aviões do mundo.

É relevante notar que até o surgimento da Tecsis, as pás no mundo eram desenvolvidas a partir dos conhecimentos científicos da área de navegação. A técnica de

navegação acumulou um vasto conhecimento em ventos que foi usado no desenvolvimento das primeiras pás de aerogeradores. A Tecsis representa uma inflexão neste processo de aprendizagem pelo fato de ter sido a primeira empresa a desenvolver pás de aerogeradores a partir da base de conhecimento da aeronáutica. O fundador da empresa, Bento Koike, conta que foi um processo bastante intuitivo:

“Começamos uma empresa de ventiladores de grande porte e depois evoluímos para a pá. A gente não sabia fazer, começamos a experimentar, nos reunimos numa sala com três engenheiros e começamos a fazer um *brainstorm* e a tentar usar o que a gente sabia... No início da empresa, recebemos uma encomenda do dono da Enercon, o Wobben (...) quando ele viu a nossa pá, ele nunca mais quis saber de comprar de mais nenhuma empresa. Ele me falou pessoalmente que foi a melhor pá que ele já tinha visto. Foram anos trabalhando com a Enercon (...) mas depois a Enercon quis comprar a Tecsis, eu não quis vender e a parceria acabou, mas foi importante ter recebido apoio da Enercon no início da Tecsis, a gente não tinha dinheiro, o Wobben chegava a pagar adiantado”.

Atualmente a Wobben⁸⁶ produz suas próprias pás e a Tecsis se tornou a segunda maior fornecedora de pás do mundo, atrás apenas da Dinamarquesa LM. A líder dinamarquesa iniciou a sua produção em 1978 e rapidamente alcançou a liderança mundial. Conforme mencionado, sua base tecnológica deriva da área de navegação. Seus principais mercados são o norte-americano, chinês e europeu. A LM decidiu instalar uma fábrica de pás no Brasil apenas em 2013, em Pernambuco.

Porém, é importante ressaltar que estas empresas têm estratégias de desenvolvimento de produto bastante diferentes entre si. A dinamarquesa produz uma pá de prateleira, ou seja, produz alguns modelos de pá e o cliente escolhe. Apenas pequenas adaptações são permitidas. Já a brasileira produz apenas sob encomenda e especificamente para cada aerogerador.

A segunda empresa brasileira no ramo de pás, a Aeris, também possui relação com a aeronáutica. A Aeris é uma empresa nascente fundada por três engenheiros da Embraer. Embora tenha sido criada apenas em 2013, foi extremamente bem recebida no mercado. A Aeris segue o modelo da Tecsis de produzir suas pás por encomenda e com especificações particulares para cada aerogerador.

⁸⁶ A empresa alemã Wobben é uma fabricante de aerogerador que também atua no segmento de pás e torres. A atuação desta empresa no segmento de pás e de torres não será analisada separadamente, mas junto com a estratégia geral da empresa que é abordada junto com OEMs.

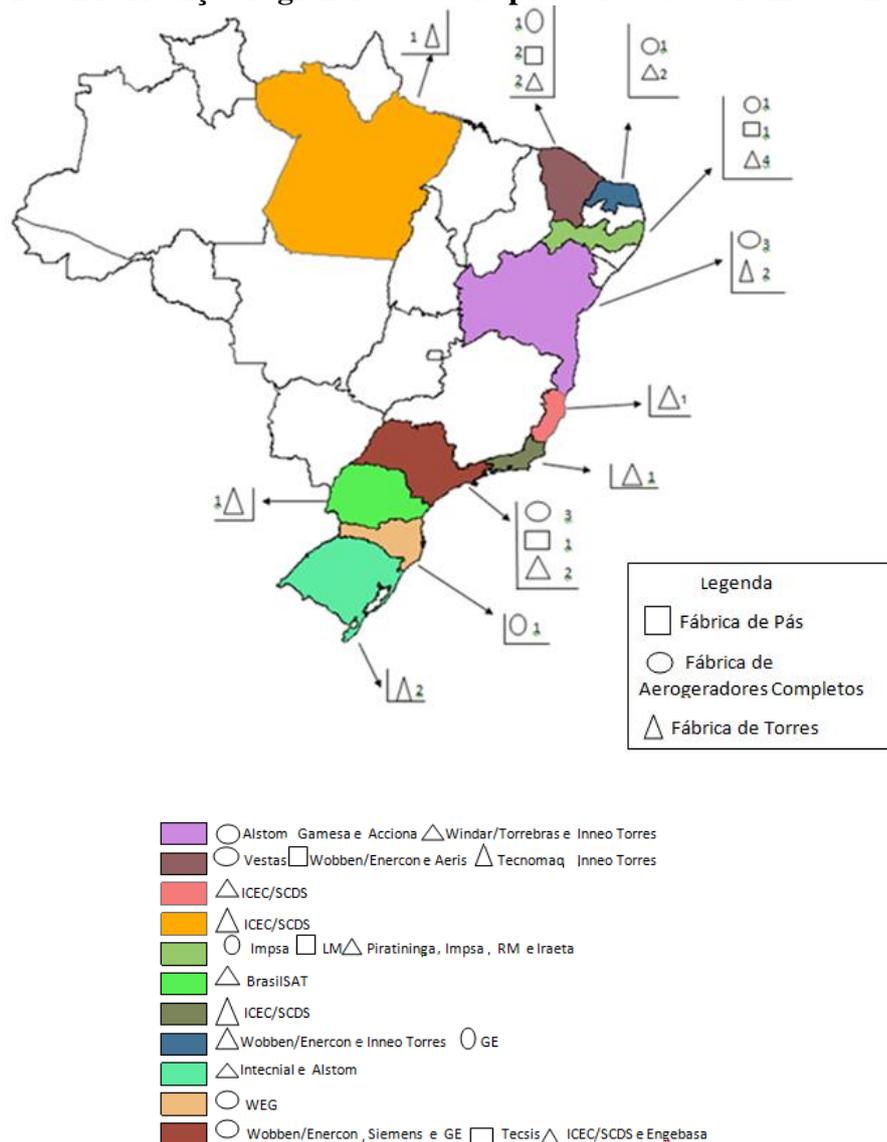
Vale lembrar que a produção de pás é caracterizada por elevadas barreiras à entrada, em função da sofisticação do produto e do alto custo inicial para abertura da fábrica.

Já o segmento de torres possui baixas barreiras à entrada, o que implica num número maior de empresas. O quadro 1 apresenta apenas uma amostra perante um universo grande de empresas de torres no Brasil. Apesar de haver presença de empresas estrangeiras neste segmento como a espanhola Inneo Torres, este setor é composto majoritariamente por fabricantes de aerogeradores integrados que não terceirizam suas torres, como a Wobben e a Impsa, ou por empresas nacionais de menor porte.

Dessa forma, é possível concluir que as empresas transnacionais têm assumido um papel dominante no sistema de produção de aerogeradores no Brasil. A empresa nacional WEG está tentando se firmar neste mercado, caracterizado pela acirrada concorrência e por trajetórias tecnológicas extremamente dinâmicas. No segmento de pás, percebe-se que o Brasil possui forte inserção em função do desmembramento de capacitações acumuladas no setor aeroespacial. O sucesso da Tecsis e o surgimento da Aeris não estão relacionados com as políticas de inovação recentes, mas com programas da década de 1970. É possível afirmar também que há um padrão nacional na fabricação de pás associado aos campos de conhecimentos relacionados à aeronáutica, em contraposição a um padrão global de pás baseado nos conhecimentos relacionados à navegação. Com exceção das duas empresas de pás e da WEG, as empresas brasileiras têm se concentrado no segmento de torres, que é caracterizado por ser intensivo em recursos naturais e com baixa intensidade tecnológica.

Por fim, a figura 25 mostra a distribuição regional da cadeia produtiva das turbinas eólicas que está se instalando no Brasil.

Figura 25 - Distribuição regional da cadeia produtiva das turbinas eólicas



Fonte: Elaboração própria.

É possível perceber que a maior parte das unidades produtivas se localiza na região Nordeste e Sul, locais que concentram os maiores potenciais eólicos. Os elevados custos de transportes dos pesados equipamentos estimulam a construção das fábricas perto dos parques eólicos. Desta forma, há possibilidades de geração de empregos e desenvolvimento nestas regiões, impulsionados pelo crescimento da indústria eólica. Porém, é importante entender que o impacto destas empresas sobre o território na qual estão instaladas depende da estratégia de produção e de inovação adotada. Ou seja, características como a quantidade de pessoas que a empresa contrata, se a empresa apenas monta os equipamentos ou se produz localmente, quais componentes são

produzidos e se a empresa possui interação com institutos de pesquisa locais são atributos das estratégias de produção e de inovação que influenciam o impacto das empresas no desenvolvimento regional. Assim, a próxima seção analisa as estratégias de produção destas empresas.

6.3. ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO DAS EMPRESAS DE EQUIPAMENTOS EÓLICOS NO BRASIL

O objetivo inicial desta seção é discutir a estratégia produtiva das empresas analisadas a partir da compreensão de quais são os componentes produzidos no País e quais são importados e os fatores que influenciam esta decisão.

Os resultados apresentados dividem-se em dois momentos: até dezembro 2012 e pós-dezembro 2012, para conseguir captar o efeito da alteração das regras de conteúdo local associadas aos financiamentos dos parques eólicos pelo BNDES nas mudanças nas estratégias produtivas das empresas.

As entrevistas apontaram que, de maneira geral, até 2012 a estratégia produtiva dos fabricantes de aerogeradores restringia-se à fase final de montagem. Praticamente todos os componentes da nacelle vinham de fora do País e eram apenas montados no Brasil. Conforme mencionado, até 2012 a regra de conteúdo nacional do BNDES exigia que 60% (em peso e valor) dos componentes fossem produzidos nacionalmente. De uma maneira geral, as empresas de aerogeradores tendiam a comprar as pás e as torres de fabricantes nacionais e importavam a maior parte da nacelle. As exceções eram a Wobben e a Impsa que produziam, desde sua entrada no Brasil, parte da nacelle localmente.

A Wobben entrou no País em 1995 e abriu uma fábrica de pás em Sorocaba, ao lado da Tecsis. A empresa alemã exportava as pás, uma vez que o mercado eólico brasileiro inexistia. Com a construção dos primeiros parques eólicos no PROINFA, a empresa voltou sua produção para o mercado interno e expandiu para a produção completa dos aerogeradores. Por ter sido a pioneira no Brasil, realizou um esforço significativo de estruturar no país a cadeia produtiva e de treinar os fornecedores. Parte da nacelle, como os geradores e transformadores, era produzida no Brasil, porém, os componentes de maior intensidade tecnológica, como os relacionados ao sistema

elétrico-eletrônico e de *software* eram importados. O *design* dos equipamentos também era realizado no exterior.

A empresa argentina Impsa, segunda a entrar no Brasil, possui um perfil um pouco menos verticalizado que a Wobben, terceirizando as pás e as torres. Da mesma forma que a pioneira Wobben, a Impsa produzia parte da nacelle, mas também importava componentes de maior intensidade tecnológica (sistema elétrico-eletrônico e de *software*) e desenhava suas máquinas fora do Brasil. A Gamesa abriu uma fábrica de produção de rotores em 2011 na Bahia. A nacelle era totalmente importada da China e as pás e as torres eram adquiridas de empresas nacionais. A empresa dinamarquesa Vestas abriu em 2012 uma pequena fábrica de rotores e tinha como estratégia produzir o rotor e as torres no Brasil e importar as pás.

Já a Alstom adotou uma estratégia de nacionalização um pouco maior que a Gamesa e a Vestas, que incluía a nacionalização da nacelle, além da torre e das pás. Assim, em 2011, a Alstom abriu uma fábrica de nacelle na Bahia. Apesar de ser positiva a expansão da produção de nacelle no País, praticamente todos os componentes da nacelle ainda eram importados. A fábrica possuía um perfil de montadora e praticamente nenhum componente era produzido na fábrica.

Por fim, a WEG, que começou a produzir aerogeradores em 2011. Apesar deste aerogerador não ter sido bem sucedido, algumas unidades foram produzidas, utilizando a estratégia de produzir a nacelle e terceirizar a produção das pás e da torre. Em contraposição às demais fábricas, a da WEG não possuía o perfil de montadora, mas uma unidade produtiva onde diversos equipamentos como geradores, transformadores e painéis eletrônicos eram manufaturados. O *design* dos aerogeradores pertencia a MTOI e os painéis mais complexos da nacelle eram importados em forma de *turn-on key*, pois a WEG ainda não tinha domínio de importantes processos tecnológicos na fabricação destes componentes.

É possível perceber que o segmento de pás e torres sempre foi caracterizado por um baixo grau de importação. Até 2012, a produção de pás era realizada pela Tecsis e pela Wobben. A Wobben utilizava o design da sua pá desenvolvido no exterior e produzia pás apenas para seus aerogeradores. A Tecsis produzia pás para os aerogeradores de outros fabricantes, como GE, Gamesa, Siemens e Impsa. Este desenvolvimento era realizado de forma customizada e cooperativa. Os clientes (fabricantes de aerogeradores) detinham a propriedade intelectual dos produtos resultantes destes processos interativos e a Tecsis apenas executava. Conforme já

mencionado, a principal matéria-prima da produção de pás é a fibra de vidro, que era parcialmente adquirida nacionalmente e parcialmente importada. Outro item comumente importado no segmento de pás até 2012 era a resina, sob a alegação de escassez de fornecedores nacionais e elevados preços.

É importante ressaltar que a regra de nacionalização do BNDES exigia que o aerogerador fosse produzido por uma fábrica no País, mais especificamente, exigia que 60% (em valor e em peso) do aerogerador fossem produzidos no Brasil. Na prática, porém, houve uma negociação entre os fabricantes que ainda não tinham fábricas no País, mas que assumiram compromissos perante o BNDES de instalarem uma unidade produtiva de aerogeradores no Brasil⁸⁷. Assim, empresas como a GE, Acciona, e Siemens, que não tinham fábricas no Brasil, conseguiam enquadrar seus aerogeradores dentro da regra de nacionalização.

As empresas que não tinham fábricas importavam a nacelle e nacionalizavam a torre e as pás, conseguindo assim cumprir a regra de nacionalização do BNDES. Portanto, até 2012 a tendência era que os aerogeradores utilizados no País alcançassem o índice de nacionalização através da importação da nacelle e produção local dos demais equipamentos.

Em suma, os aerogeradores enquadrados na regra de índice de nacionalização do BNDES podiam ser tanto de empresas que possuíam fábrica no Brasil ou não. A estratégia das empresas que não possuíam fábrica era nacionalizar apenas a torre e as pás. Mesmo as empresas que abriram fábricas de rotores mantiveram essa estratégia de importar a nacelle e nacionalizar a torre e as pás. A abertura de algumas fábricas de nacelle no Brasil representou um avanço, embora as fábricas instaladas ainda tivessem elevado grau de importação, constituindo-se basicamente em linhas de montagem. A Wobben e Impsa tinham um maior nível de nacionalização dos componentes, pois desenvolveram uma cadeia de fornecedores de componentes da nacelle e conseguiam, portanto, produzir parte da nacelle nacionalmente, embora os componentes de maior intensidade tecnológica, como os relacionados ao sistema elétrico-eletrônico e de *software* ainda fossem importados. O *design* dos aerogeradores e os investimentos em P&D eram restritos às matrizes. A brasileira WEG também tinha um perfil diferenciado, produzido grande parte da nacelle em sua fábrica.

⁸⁷ Atravé de um plano de nacionalização progressiva (PNP), as fabricantes se comprometiam junto ao BNDES a alcançar níveis de nacionalização da fabricação dos aerogeradores.

6.4. IMPACTO DA MUDANÇA NAS REGRAS DE CONTEÚDO LOCAL DO BNDES NAS ESTRATÉGIAS PRODUTIVAS

Em 2012, o BNDES alterou as regras de financiamento a fim de aumentar o conteúdo tecnológico da cadeia produtiva concentrada no Brasil. A nova metodologia, anunciada em dezembro de 2012, estabelece a ampliação progressiva da quantidade de componentes nacionais nos equipamentos, que terão de ser cumpridas de acordo com um cronograma previamente estabelecido.

O impacto da alteração do índice de conteúdo nacional do BNDES na estratégia produtiva das empresas será mais bem mensurado a partir de 2016 quando a regra de transição chegar ao final. Apesar disso, já é possível apontar algumas mudanças significativas que ocorreram para atender às etapas iniciais. Dessa forma, a pesquisa de campo realizada tinha, entre um de seus objetivos, analisar os impactos iniciais da alteração do índice de conteúdo nacional do BNDES nas estratégias produtivas das empresas.

No segmento de pás, o impacto nas estratégias produtivas foi significativo. A empresa LM afirmou que a mudança na metodologia estava dentre as motivações para a abertura da sua unidade fabril em Suape. Adicionalmente, observou-se um esforço das fabricantes de pás Tecsis e Wobben em nacionalizar alguns componentes que eram importados, como a resina da pá para infusão e os tecidos de fibra de vidro.

No segmento de torres, a alteração das regras do BNDES parece ter um impacto um pouco menor, uma vez que, mesmo antes da alteração das regras, o segmento já era bastante nacionalizado. Porém, alguns componentes internos da torre como os forjados, eram frequentemente importados como estratégia de minimização de custos. A nova regra exige a nacionalização de 60% dos forjados e a nacionalização total dos demais componentes internos como plataformas, escadas, suportes, eletrodutos e parafusos de conexão dos flanges.

Entre os fabricantes de aerogeradores, a mudança no índice de nacionalização teve impacto forte, com alteração significativa nas estratégias produtivas.

As empresas que não tinham fábricas instaladas no Brasil, como Siemens e Acciona, decidiram iniciar sua produção no País. A GE também anunciou que abrirá uma fábrica que deverá ser inaugurada em 2014. As três empresas alegaram que a alteração nas regras foi determinante para a decisão de abrir uma fábrica no Brasil. As empresas que já tinham fabricação em território nacional tiveram que alterar a estratégia

produtiva de forma a nacionalizar parte da produção que era composta por componentes importados.

De uma maneira geral, havia dois cenários para a produção da nacele até 2012: totalmente importada ou montada no Brasil a partir de componentes importados com a produção de apenas alguns itens de baixo conteúdo tecnológico. A nova regra, além de exigir que toda a nacele seja montada no País, exige também que 50% dos componentes principais sejam fabricados nacionalmente. Assim, espera-se que haverá um impacto ao longo da cadeia produtiva através da nacionalização de diversos componentes elétricos, hidráulicos, fundidos de grande porte, entre outros.

Até o momento da realização da pesquisa de campo, em outubro de 2013, as empresas que haviam se cadastrado na nova regra do BNDES eram: Impsa, Wobben, Alstom, Acciona, GE e a Gamesa. A Vestas declarou que iria cadastrar seu aerogerador na nova metodologia, assim como a brasileira WEG.

A Vestas classificou o esforço para se adequar às novas regras como “extremamente significativo” e afirmou que a nacionalização da nacele não estava nos planos da empresa antes das mudanças nas regras do BNDES. A nacionalização da pá também foi uma alteração na estratégia da empresa que costumava importar este item.

A Gamesa declarou que está fazendo elevado esforço para desenvolver a cadeia de fornecedores para se adequar a nova regra do BNDES. Da mesma forma que a Vestas, a nacionalização da nacele não estava nem seus planos originais. Uma das conquistas da empresa foi conseguir nacionalizar a produção de conversores de potência, um item de elevada complexidade tecnológica.

“A INGETEAM fabrica nossos conversores de potência. É uma empresa Espanhola, vizinha nossa em Pamplona. Ela se instalou aqui no interior de São Paulo. Se não fosse por nós, a INGETEAM nem estaria aqui, ela veio porque nós oferecemos demanda para eles” (Entrevistado 24).

A Wobben e a Alstom já produziam naceles no País, mas estão fazendo algumas mudanças em suas estratégias produtivas para se ajustar ao índice de nacionalização. Estas empresas estão nacionalizando componentes como fundidos e forjados que antes, devido à otimização de custos, eram importados da China.

A WEG garantiu que o aerogerador será cadastrado no BNDES antes das primeiras vendas, que estão estimadas para meados de 2014. A empresa declarou, inclusive, que pretende nacionalizar o *design* dos aerogeradores e desenvolver nacionalmente os componentes de alta complexidade, como o sistema de controle.

A argentina Impsa foi a única empresa que declarou não ser preciso fazer nenhum ajuste em suas estratégias produtivas, uma vez que seu índice de nacionalização já superava as metas do BNDES. A Impsa também declarou que pretende nacionalizar o *design* dos aerogeradores e desenvolver nacionalmente os componentes de alta complexidade, mas que estas mudanças não estão associadas às alterações de regra do BNDES.

As evidências apontadas pela pesquisa de campo apontam para um elevado impacto da nova metodologia sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de energia eólica.

Até 2012, apenas as empresas Impsa e Wobben faziam maior esforço de desenvolver a cadeia de fornecedores, e esta era considerada ainda pouco desenvolvida. Atualmente, todas as empresas de aerogeradores classificaram os esforços que vêm sendo feitos para o desenvolvimento de novos fornecedores como extremamente elevado. O quadro 2, a seguir, resume em linhas gerais, as estratégias produtivas adotadas pelo setor.

Quadro 2 - Principais estratégias produtivas adotadas pelas empresas

Segmento	Estratégia de nacionalização mais escolhida em 2013, por segmento	Previsão de nacionalização em 2016
Cubo	Cubo fundido	Cubo fundido
		Carenagem
		Painéis elétricos
		Rolamentos
		Acionamentos de Pitch
Pá	Fabricação de pás no Brasil por alguns fabricantes de aerogeradores	Fabricação de pás no Brasil
		Desenvolvimento de resinas para infusão
		Desenvolvimento de tecidos de fibra de vidro
Torre	Fabricação com conteúdo nacional (parcial)	Fabricação total da torre no Brasil com conteúdo nacional
Nacele	Importação total ou montagem da Nacele	Montagem da Nacele no Brasil
		Fabricação nacional de mínimo de 12 componentes
		Desenvolvimento de componentes elétricos, hidráulicos, fundidos de grande porte, etc

Fonte: Elaboração própria com dados do BNDES

Além de estimular o desenvolvimento da cadeia produtiva, é possível perceber que a nova metodologia teve como consequência a reversão de uma tendência de especialização da produção nacional em equipamentos de menor intensidade

tecnológica. Como antes de 2012 era possível alcançar o índice de nacionalização sem produzir nenhum equipamento da nacele no País, diversas empresas adotavam uma estratégia de minimização de custos via importação dos componentes da nacele, que vinham predominantemente da China. As empresas que decidiam produzir parte da nacele no Brasil ou ter maior produção local tinham custos mais elevados. O caso da Wobben é exemplar. A empresa chegou a ter aproximadamente 90% dos componentes produzidos nacionalmente nos primeiros anos de atuação no Brasil. Mas, em meados dos anos 2000, optou por reduzir seu conteúdo local e importar certos itens da China. Segundo a empresa era difícil competir com empresas que traziam o equipamento da China:

“A Wobben apostou no Brasil antes de todo mundo. Montamos a cadeia, treinamos muita gente e depois a Wobben começou a perder competitividade para empresas que não tinham nenhum investimento no País e importavam os componentes da China e só montavam aqui. A gente teve que começar a importar da China. Reduzimos o nosso conteúdo local, senão íamos sair do mercado”. (Wobben)

Neste sentido, a nova regra do BNDES corrigiu o incentivo perverso que beneficiava as empresas com menor inserção local. Espera-se que no ano de 2016, a competitividade do setor não esteja mais atrelada a uma estratégia de substituir produção local por importação de equipamentos e passe a ser calcada na introdução de inovações tecnológicas, no aumento da eficiência da cadeia de suprimentos e em logística.

De forma quase unânime, as empresas classificaram a nova metodologia como tecnicamente bem elaborada. De maneira generalizada, a possibilidade das empresas poderem seguir trajetórias tecnológicas diferenciadas foi elogiada pelos fabricantes de aerogeradores como uma forma de aproveitar as capacitações existentes em cada empresa:

“Eu acho que é interessante essa flexibilização (da regra do BNDES) para poder garantir a competitividade. Cada um tem um problema diferente, então quando você dá alternativas, você acaba fortalecendo todo o processo” (Entrevistado 12).

As críticas se concentraram no curto prazo de adequação para as novas regras. Seis das nove empresas entrevistadas alegaram que o prazo é demasiadamente curto para reestruturar as estratégias produtivas e que haverá fortes gargalos na cadeia de

fornecimento. Tais empresas alegam que o treinamento de fornecedores aos padrões necessários à produção é um processo de longo prazo. Estas empresas classificaram a escassez de fornecedores nacionais como um fator que poderá comprometer a expansão do setor.

Em suma, é possível afirmar que a mudança na regra do BNDES referente ao índice de nacionalização provocou: i) eliminação gradativa das diferenças entre as estruturas industriais dos diversos fabricantes de aerogeradores no País, ii) aumento progressivo do conteúdo local dos aerogeradores financiados pelo BNDES, iii) desenvolvimento da cadeia de fornecedores de componentes, incluindo alguns de alto valor agregado e alto conteúdo tecnológico e iv) geração de empregos qualificados no País⁸⁸.

6.5. ESTRATÉGIAS DE INOVAÇÃO

A realização da pesquisa de campo também teve como objetivo analisar as estratégias tecnológicas e de inovação das firmas que compõem a cadeia de produção dos equipamentos de energia eólica.

Baseadas em informações coletadas nas entrevistas, de uma maneira geral, os esforços tecnológicos globais das OEMs no segmento da nacelle tem se concentrado na diminuição do atrito dos componentes, à busca por maior estabilidade no fornecimento de energia e à aerodinâmica, para maior aproveitamento energético.

Já os esforços tecnológicos globais realizados pelas empresas nos segmentos de pás, o objetivo é aprimorar a aerodinâmica e melhorar o aproveitamento energético. No caso das torres, visa-se, principalmente, reduzir custos. Adicionalmente, há um enorme esforço nestes componentes no sentido de *scaling up* - aumento da altura das torres e do diâmetro dos rotores e das pás - uma vez que aerogeradores maiores são mais eficientes, dentro da mesma classe de vento.

⁸⁸ A geração de empregos ocorre tanto em função da abertura de novas OEMs, como a GE, Acciona, Siemens, como também pela expansão da capacidade produtiva dos fornecedores dos componentes que passaram a ser produzidos nacionalmente. Foge ao escopo deste trabalho mensurar a geração de emprego, uma vez que apenas os fornecedores dos macrocomponentes foram abordados nas entrevistas.

Ao analisar as estratégias de inovação que as empresas adotam no Brasil, percebeu-se que a totalidade das subsidiárias de ETNs concentra todo o esforço de inovação em suas matrizes e não tem interesse em trazer tais investimentos para o País.

Com exceção da WEG e da Impsa, as empresas implementam no Brasil aerogeradores desenvolvidos no exterior. Nenhum aerogerador das demais empresas levou em consideração as características locais no seu desenvolvimento original. Elas apenas realizaram algumas adaptações de caráter incremental para que a operacionalização do aerogerador no Brasil seja viabilizada.

As principais adaptações identificadas na pesquisa de campo são:

- 1) Tinta especial contra a salinização;
- 2) Refrigeração interna;
- 3) Adaptação nas torres para instalação em dunas;
- 4) Iluminação nas extremidades para se adequar à legislação brasileira

Todas estas adaptações adicionam custos e, portanto, significam ineficiências do projeto original tendo em vista as especificidades brasileiras. Como não foram pensadas no projeto inicial, tais alterações representam custos significativos na implementação dos aerogeradores.

Tais inovações adaptativas foram desenvolvidas nos centros de pesquisa localizadas nos países centrais. Com exceção da WEG e da Impsa, nenhuma inovação introduzida pelas empresas foi desenvolvida no Brasil, até mesmo as adaptações tecnológicas voltadas para as especificidades locais. A solução para proteger o aerogerador da Wobben da corrosão decorrente da salinização, por exemplo, foi desenvolvida na Alemanha.

Adicionalmente, a estratégia de desenvolver um equipamento global e de depois fazer adaptações geralmente ignora as potencialidades que um equipamento originalmente desenvolvido para o local possui. Geralmente há possibilidade de maior aproveitamento quando as características regionais/locais são incorporadas no *design* original. Conforme mencionado, os ventos brasileiros possuem características bastante específicas: unidirecionais e com pouca variância em sua velocidade (poucas rajadas). Tais características são distintas dos ventos europeus e norte-americanos e possibilitam um maior aproveitamento do aerogerador.

Adicionalmente, os equipamentos que as subsidiárias das ETNs estão adotando possuem diversos itens que não são necessários no Brasil, como resistência a

temperaturas extremamente baixas (até 40°C negativos) e resistência a chuvas de granizo. O sistema de cabos destes equipamentos, por exemplo, foi desenvolvido para permitir que a nacelle dê três voltas completas ao redor do próprio eixo. Este sistema de cabo é custoso e não seria necessário no Brasil, que apresenta ventos predominantemente unidirecionais⁸⁹.

Todas estas características mostram o descolamento entre o projeto do aerogerador comercializado pelas subsidiárias de ETNs e as características do local locais onde ele foi inserido. A falta de uma estratégia nacional permitiu a estas empresas a venda no Brasil dos aerogeradores ociosos nos mercados centrais – tendo em vista a crise internacional desencadeada em 2007-2008 - com adaptações necessárias à viabilização do seu funcionamento no mercado brasileiro.

Porém, com a crescente importância do mercado eólico nacional, é possível que haja uma revisão nas estratégias de inovação das empresas. Como o modelo de leilão é caracterizado por forte competição, ganhos na produtividade estão se tornando cada vez mais determinantes para se fechar contratos no Brasil. Assim, seria razoável supor que as fabricantes comecem a aprofundar os esforços tecnológicos para desenvolver um aerogerador específico para as localidades, desde a sua concepção.

Todavia, das sete subsidiárias (GE, Alstom, Acciona, Siemens, Vestas, Gamesa e Wobben), apenas a Alstom apresentou interesse em desenvolver um modelo de aerogerador específico para as características locais. A Alstom afirma estar desenvolvendo uma máquina desenhada para os ventos do semi-árido da Bahia. Segundo esta empresa, o investimento em desenvolvimento tecnológico foi estimulado por um contrato com a empresa geradora de energia Renova Energia, dona de diversos parques eólicos no Brasil que está implantando o Complexo Eólico Alto Sertão II, localizado nas cidades de Caetité, Guanambi e Igaporã, no sudoeste da Bahia.

A empresa Renova Energia e a Alstom assinaram um contrato para o fornecimento de aproximadamente 440 aerogeradores eólicos, totalizando uma capacidade de geração de 1,2 GW. O acordo tem valor de 1 bilhão de Euros e as entregas devem acontecer em até quatro anos. Trata-se do maior contrato já realizado no setor eólico. A peculiaridade do acordo é o fato da Renova estar contratando um volume considerável de equipamentos antes de acontecerem os próximos leilões, na contramão

⁸⁹ Na região Sul o vento gira 360° sobre a forte influencias de massas de ar, contudo apresenta também uma direção predominante unidirecional.

da prática atual das empresas do setor, que efetuam a compra de equipamentos depois de terem vencido os certames. A empresa Renova Energia estipulou cláusulas para que o aerogerador fosse mais adaptado aos ventos locais, pois sua estratégia é ganhar competitividade através de máquinas mais adaptadas aos ventos locais e conseguir ofertar preços mais competitivos nos leilões⁹⁰.

Segundo a Alstom, o volume de aerogeradores para os parques eólicos do semi-árido justifica o alto investimento, embora admita que este novo aerogerador não será radicalmente diferente, mas terá um rotor maior e uma pá mais adequada a esses ventos.

Porém, é importante ressaltar que o esforço tecnológico de adaptar o aerogerador aos ventos do sudoeste da Bahia está sendo desenvolvido na matriz. Segundo um funcionário da empresa: “Os modelos de vento são enviados para a matriz, que projeta a máquina. Nenhuma parte de P&D é desenvolvida no Brasil” (Entrevistado 7).

As demais subsidiárias não têm planos de desenvolver um aerogerador específico para o Brasil. A Gamesa afirma que possui um aerogerador que funciona bastante bem para os ventos brasileiros, chineses e indianos. A Vestas afirma que o aerogerador é uma máquina global e que não há necessidade de desenvolver uma máquina específica para o Brasil. A pequena escala e a instabilidade de contratação de energia eólica pelo governo também foi mencionada por tais empresas como obstáculo para realizar investimentos em P&D.

Tais subsidiárias revelaram que a estratégia adotada para maximizar a eficiência dos aerogeradores no Brasil tem sido “usar as mesmas máquinas da Europa, mas trocar as classes de ventos para o Brasil” (Entrevistado 37). Ou seja, a estratégia consiste em adotar no Brasil um aerogerador que é usado numa outra classe de vento na Europa. As classes de vento são basicamente determinadas de acordo com a velocidade média dos ventos. Os ventos podem se enquadrar na classe 1, na classe 2, na classe 3 e na classe S, de acordo com sua velocidade média, e os aerogeradores são fabricados para cada classe de vento. Mas estas categorias foram elaboradas baseadas nos ventos europeus, que possuem elevada variância em sua velocidade. Como no Brasil a variância dos ventos é significativamente menor, as empresas estão usando aerogeradores de classe 2, nos ventos de classe 1 e aerogeradores de classe 3 em ventos de classe 2. Assim, no Brasil,

⁹⁰ Além de entrevistar alguns funcionários da Renova Energia, os dados foram complementados com a entrevista que o presidente da Renova Energia concedeu ao Jornal da Eólica, 06/02/2013. http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=12487&id_tipo=3&id_secao=9&id_pai=2&titulo_info=Renova%20Energia%20anuncia%20acordo%20de%201%20bi%20de%20euros%20com%20a%20Alstom%20

usa-se um aerogerador maior para cada classe de vento e com isto aumenta-se a eficiência dos equipamentos.

“A verdade é a seguinte: a divisão dos ventos em classes 1, 2 e 3 é uma simplificação, baseada no vento europeu. Quanto mais você sobe a velocidade mais você tem turbulência, mais você tem rajadas e etc. Quanto maior a velocidade, maior o índice de turbulência, maior o índice de rajada, maior o esforço sobre o equipamento, então você tem que ter pás menores, alturas menores, para que você não exponha o seu equipamento a um regime de trabalho que vá além do que ele suporta. Então quando você faz a divisão em classes separadas só por velocidade, você está fazendo uma simplificação. Como no Brasil você tem uma característica de vento absolutamente diferente, você tem pouca rajada, baixa turbulência e, mais do que isso, ventos unidirecionais, quase sempre na mesma direção, e ventos horizontais (...) E no Brasil isso é diferente em tudo, então tudo isso contribui para que você possa expor o mesmo aerogerador que lá na Europa agüenta 8m/s aqui no Brasil ele pode aguentar 10m/s por causa disso. Isso todo mundo soube fazer, issomundo soube perceber rapidamente e adaptar. Todo mundo faz isto, mas isto não é uma inovação tecnológica pois o aerogerador já existia, só foi usado em outra categoria de vento” (Entrevistado 37).

Uma das questões abordadas foi questionar se as empresas tinham alguma relação com institutos de pesquisa ou universidades brasileiras. Nenhuma das sete subsidiárias possuía qualquer relação com estas instituições. O motivo alegado foi basicamente o mesmo para todas: as empresas já tinham centros de excelência de P&D em suas matrizes, onde concentram seus esforços inovativos. Algumas empresas citaram ainda a dificuldade de trabalhar com as universidades brasileiras:

“É difícil trabalhar com universidade por causa da burocracia, tempo. O tempo de uma empresa é diferente do tempo de uma instituição. É difícil. (...) Além disso, eu vou revelar o meu segredo industrial? Quem mais está lá? A GE está lá também? A Alstom está lá? Quer dizer, e esse professor vai ser fiel à Wobben, a GE e à Alstom? Para quem ele está fazendo isso? Eu posso confiar completamente no pesquisador? É mais seguro fazer dentro do nosso centro de P&D mesmo” (Entrevistado 1).

A Gamesa, a GE e a Alstom mencionaram a possibilidade de desenvolverem centros de P&D no Brasil, apesar de não haver planos concretos ainda.

Por fim, foi perguntado às empresas se estas eram usuárias dos programas governamentais de apoio à Ciência, Tecnologia e Inovação. Foram perguntados sobre os

seguintes programas: Fundo Setorial, Lei do Bem e Subvenção Econômica. As sete subsidiárias têm um nível de conhecimento extremamente baixo sobre os programas e, também, pouco interesse⁹¹.

“Eu classificaria os programas da FINEP como (algo que) conhecemos, mas não utilizamos, porque não conhecemos o detalhe, não sei a diferença, por exemplo, da subvenção e do fundo setorial. Mas nós sabemos internamente que a FINEP tem alguns programas, alguns programas inclusive de fundo perdido – mas eu não sabia que era a subvenção, por exemplo – que nós poderíamos estar utilizando e hoje não estamos utilizando porque, novamente, os pesquisadores e toda tecnologia está tudo lá na matriz. Esses programas vão exigir que a gente faça pesquisas aqui e que mesmo pegando dinheiro do governo a gente sabe que não vai andar uma pesquisa aqui ” (Entrevistado 1).

Vale apontar que os programas de inovação despertam pouco interesse destas empresas, pois o motivo alegado por estas para o reduzido esforço de inovação realizado no Brasil não é a falta de recursos e sim a estratégia de concentrar os esforços de inovação em suas matrizes.

“Por incrível que pareça não basta ter o dinheiro disponível (para inovar), tem que ter outros recursos disponíveis; o dinheiro é apenas um dos recursos, e é um dos recursos que nós já temos disponível. Nós somos fabricantes de aerogerador, nós vendemos máquina, temos dinheiro” (Entrevistado 26).

Adicionalmente, foi perguntado sobre o programa de apoio a P&D do setor elétrico coordenado pela Aneel. Tal programa era conhecido por duas das sete empresas, mas foi fortemente criticado:

“(...) é um negócio que também hoje já está fazendo por obrigação. P&D da Aneel, todo o projeto que eu vejo, fica sobrando dinheiro lá na distribuidora. Ai os caras pegam e vão fazer qualquer coisa. Geralmente dão para universidade ou algum pesquisador” (Entrevistado 28).

Em relação às principais fontes de inovação destas empresas, todas apontaram os centros de P&D que se situam fora do País.

Em suma, percebe-se que praticamente não há esforço de inovação realizado no Brasil por subsidiárias e que elas também não tinham nenhuma interação com

⁹¹ Em relação à empresa Siemens, houve uma discrepância nos dados. A Siemens usou o Programa de Subvenção Econômica no ano de 2009, mas afirmou ter pouco conhecimento sobre tal programa. Foram entrevistadas duas pessoas na Siemens que não conheciam tal programa. De qualquer forma, a empresa só usou a Subvenção Econômica em um projeto.

universidades ou institutos de pesquisa no País e tinham pouco interesse em desenvolvê-los. Por fim, estas empresas também tinham pouco conhecimento sobre os programas de governo de apoio ao desenvolvimento tecnológico, ficando evidente não apenas a falta de conhecimento, mas principalmente de interesse dessas empresas transnacionais sobre os instrumentos de Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) do governo.

Já a Impsa possui uma estratégia de inovação bastante diferenciada da descrita acima. A empresa argentina concentra grande parte de seus esforços de inovação no Brasil. Apesar de possuir um grande centro de P&D em Mendonza, na Argentina, a empresa foi aos poucos transferindo seus esforços de P&D em energia eólica para o Brasil.

“No início, Mendoza era mais importante porque Mendoza concentrava muito conhecimento. O conhecimento que a empresa tinha em turbinas hídricas foi importante para o desenvolvimento das turbinas eólica. E este conhecimento estava em Mendoza. Mas, principalmente com o apoio do governo brasileiro, a gente começou a desenvolver pesquisa aqui no Brasil. Hoje em dia, desenvolvemos aerogeradores específicos para o Brasil e desenvolvemos aqui no Brasil”.

O mercado brasileiro é o mais importante para a empresa argentina no segmento de eólica. Assim, com apoio dos programas de CTI do governo, a empresa foi implementando linhas de pesquisa e desenvolvimento localmente. Em 2012, a Impsa, desenvolveu um novo aerogerador com base em modelos dos ventos nacionais em um projeto que foi financiado com recursos reembolsáveis da FINEP. A Impsa participou de dois projetos relacionados à Subvenção Econômica da FINEP e quatro projetos reembolsáveis relacionados a demandas espontâneas, todos relacionados ao desenvolvimento do aerogerador IWP100 e suas evoluções⁹². O principal projeto desenvolvido foi um banco de testes para aerogeradores que simulam as condições de operação.

Um funcionário da Impsa descreve o processo de desenvolvimento do IWP-100 como um intenso processo de aprendizagem:

“Olha, eu posso falar das vantagens que nós tivemos por ter um aerogerador desenhado para as condições brasileiras. Principalmente em relação ao aprendizado. Da primeira versão da máquina para a versão quatro, que vai entrar agora, é absurdo o aprendizado que tivemos. O IWP-100 é para o

⁹² Uma dos projetos de Subvenção Econômica foi para a empresa ICSA, que faz parte da IMPSA.

mercado brasileiro, e toda a geração, as próximas famílias dele vão ser para o mercado brasileiro. Nós entendemos na Impsa que esse é o caminho. Quando nós comparamos a máquina desenhada para o Brasil e a outra máquina, quando colocamos uma ao lado da outra, nós vemos muito claramente a diferença do custo que tem, né, dos custos de fabricação, da simplificação que a nossa máquina tem desde que nós pegamos o projeto original. A gente desenha uma máquina somente para aquilo que você vai usar”

Atualmente, além do desenvolvimento da quarta geração do IWP-100, a Impsa está envolvida em um projeto de desenvolvimento de componentes do aerogerador:

“Se a gente tivesse um mercado brasileiro desenvolvido onde não tivesse que depender tanto desses componentes importados, se a gente tivesse condições de ter desenvolvido estes componentes no Brasil a preços competitivos, nós teríamos uma máquina muito mais barata. Hoje a gente vai ter uma máquina mais cara por causa da dependência tecnológica. Então eu não acho que é uma balela desenvolver os componentes no Brasil. Eu sei que tem gente que não defende isso porque adora não fazer engenharia no Brasil, porque custa fazer engenharia no Brasil, né.”

A Impsa está ainda com dois projetos na Chamada Estratégica da Aneel. O primeiro é um projeto de desenvolvimento de torres que tem como objetivo realizar uma avaliação de todas as alternativas de torres (concreto, aço ou treliçada) e analisar a relação da torre com as características do terreno, especialmente o relevo do Nordeste. O projeto prevê a realização de uma análise aprofundada aplicação de torres treliçadas. O outro projeto é o desenvolvido pela CHESF que tem com objetivo desenvolver uma pá otimizada, utilizando novos materiais de alto desempenho. Em suma, a Impsa mostrou um amplo conhecimento sobre todos os programas do governo e afirmou que sem tais programas não teria implementado praticamente nenhuma inovação no Brasil. As principais fontes de inovação apontadas pela empresa foram as interações com as universidades e centros de pesquisa no Brasil e as trocas com o centro de P&D que mantém em Mendonza, assim como as informações advindas dos clientes e donos dos parques eólicos. Conforme foi mostrado, a empresa argentina possui fortes relações com universidades no País.

Por fim, vale analisar a WEG. Conforme já ressaltado, a estratégia inicial da WEG é firmar contratos de transferência de tecnologia com empresas estrangeiras. Depois da *joint venture* estabelecida com a MTOI em 2011, a WEG firmou, em 2013,

um acordo de transferência tecnológica com a companhia Northern Power Systems. Apesar de a WEG ter iniciado a produção de aerogeradores através da aquisição de licenças de modelos desenhados no exterior, a empresa declarou que pretende concentrar todos os seus esforços de P&D no desenvolvimento de um aerogerador que inclua em seu *design* as especificidades brasileiras.

“O interesse da WEG sempre foi ter um projeto próprio. Por causa do momento que a WEG e o mercado estavam passando, ela decidiu primeiro comprar o pronto para em um segundo momento desenvolver o seu. Atender ele atende, não estou dizendo que não atende, mas o que nós acreditamos é que fazendo um *design* específico para o vento brasileiro vamos conseguir ter um melhor custo/benefício para os investidores, uma manutenção melhor dos aerogeradores”.

A WEG, portanto, aposta no desenvolvimento de um aerogerador de tecnologia inteiramente nacional, voltado às especificidades locais. Isto significa a promoção de capacitações científicas e produtivas de diversas tecnologias associadas, como a torre de concreto modular, o *design* de pás e a tecnologia do imã permanente. Para tal, a WEG participou da Chamada 17 do programa de P&D do setor elétrico, através da parceria com a Tractebel para o desenvolvimento e certificação do aerogerador nacional de 3,3 MW de acoplamento direto, com gerador síncrono de ímãs permanentes e conversor de potência plena. Serão destinados R\$ 74 milhões no âmbito do programa de P&D da Aneel, mas o projeto total da WEG é estimado em R\$ 160 milhões.

Além disso, todos os projetos de desenvolvimento tecnológico da WEG contam com a participação de universidades. Por fim, a empresa brasileira demonstrou conhecimento sobre os demais programas de CTI e utilizou a Subvenção Econômica e o Fundo Setorial. A empresa avalia os programas de CTI como cruciais para os processos de inovação.

No segmento de pás, os resultados também se mostraram divergentes. A empresa LM não realizou praticamente nenhum esforço de inovação no Brasil e não conhecia os programas de CTI – os programas de Subvenção Econômica, Fundo Setorial e Lei do Bem. A empresa afirmou ter realizado significativos esforços em treinamento de pessoas, mas que os esforços de inovação ficarão centrados nos centros de P&D da empresa no mundo.

Já a Tectis é uma empresa bastante inovadora. A principal fonte de inovação apontada pela empresa são os clientes. Segundo Bento Koike, fundador da empresa, o

processo de criação de novos produtos ocorre de forma cooperativa, junto com os clientes, embora a empresa também mantenha proximidade com seus fornecedores.

Além de manter vínculo com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), a empresa possui relações com o Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia, o Cimatec. Este centro tecnológico foi inaugurado em 2002, na Bahia e destaca-se como um importante suporte para a formação de profissionais qualificados para atuar em processos industriais automatizados, com alcance em áreas de ponta.

A Tecsis também possui importantes relações com universidades e centros de pesquisa no exterior. A empresa abriu, em 2013, uma unidade de produção na Europa para desenvolver os moldes das pás. O *design* de pás era uma das lacunas tecnológicas da empresa e do Brasil. A localização da fábrica foi escolhida justamente pela proximidade com universidades e centros de pesquisa. Este empreendimento é de extrema importância para a empresa, pois os moldes das pás desenvolvidas nesta unidade fabril serão usados na fabricação de pás no Brasil. A empresa classificou os programas de CTI como interessantes, mas que “aprendeu a inovar em um momento em que o Brasil não apoiava as empresas brasileiras, não tinham estes programas (...) então a gente buscou soluções com os clientes e fornecedores” (entrevista com Bento Koike).

No segmento de torres, a empresa entrevistada informou que realiza investimentos em inovação na matriz. As inovações são geralmente no intuito de deixar a torre mais leve. A empresa não tinha conhecimento sobre nenhum programa de CTI do governo.

Assim, percebe-se que as subsidiárias de grandes ETNs concentram todo o esforço de inovação em suas matrizes e não tem interesse em trazer tais investimentos para o Brasil. As empresas tendem a adotar algumas adaptações de caráter incremental para que a operacionalização do aerogerador no Brasil seja viabilizada. As exceções são as empresas WEG, Impsa e Tecsis, que possuem perspectivas de constituir uma estratégia de inovação com maiores investimentos no País.

6.6. IMPACTO DA NOVA METODOLOGIA DO BNDES NOS PROCESSOS DE INOVAÇÃO

A nova metodologia de credenciamento do BNDES aparentemente não teve impacto direto nas estratégias de inovação das subsidiárias no sentido de transferir o

esforço de inovação que se concentra na matriz para o País. Da mesma forma, as empresas que não estabeleciam interações com as universidades tão pouco se interessam por fazê-lo. O mesmo resultado foi verificado no segmento de pás e torres.

A grande mudança identificada foi no sentido de capacitar a cadeia de fornecedores. Conforme já apontado, estas empresas realizaram um significativo esforço no sentido de desenvolver a cadeia de fornecimento que era escassa no País. Mas além deste esforço, não houve mudanças dentro das suas estratégias.

Porém, seria equivocado afirmar que a nova metodologia do BNDES não induziu processos inovadores na cadeia de equipamentos eólicos. Muito pelo contrário, significativos processos de inovação ocorreram ao longo da cadeia produtiva de subcomponentes dos aerogeradores. O processo de nacionalização de subcomponentes, previsto na metodologia, desencadeou o desenvolvimento de diversos processos produtivos novos para as firmas e novos para o País. Processos produtivos que não existiam, como a produção de painéis de conversores para energia eólica, foram desenvolvidos por causa da mudança de metodologia. Algumas empresas, que atuavam em outros setores, acabaram se capacitando para atender à cadeia eólica. A entrada de alguma firma para a cadeia de suprimentos da cadeia eólica geralmente significa um processo de capacitação tecnológica e inovação uma vez que o setor eólico exige, muitas vezes, peças de grande dimensão e complexidade.

“No setor eólico, as peças são muito grandes e qualquer componente possui uma complexidade. Um parafuso no setor eólico é algo complexo, pesado. Então uma empresa que antes não produzia para o setor eólico e passa a fornecer para o setor eólico provavelmente teve que passar por um processo de capacitação. Esta metodologia do BNDES está provocando uma necessidade muito grande da cadeia de se capacitar” (Entrevistado 4).

O processo de capacitação da cadeia eólica está ocorrendo através de uma forte interação dos produtores de aerogeradores com seus fornecedores.

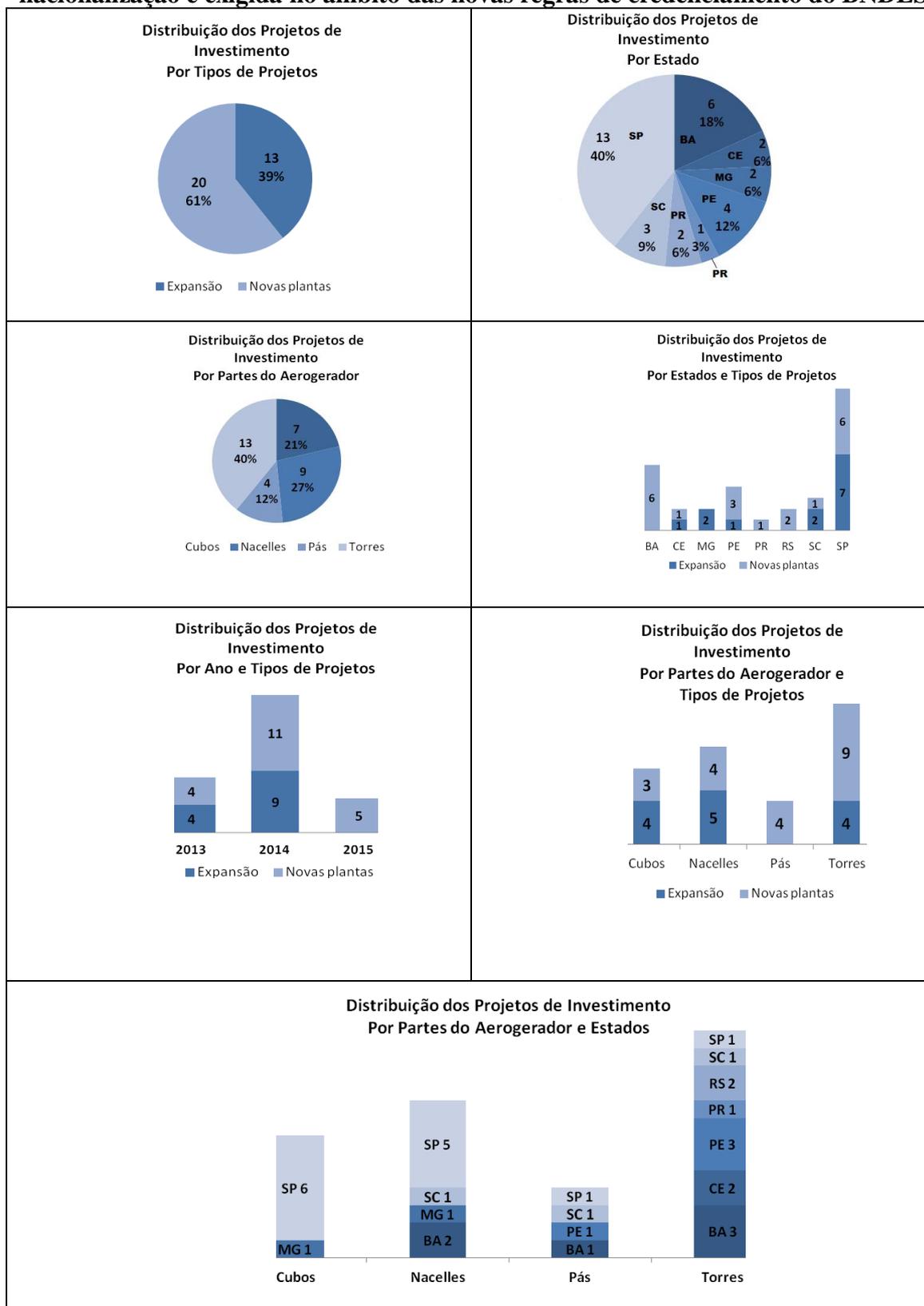
“Não tem jeito, a gente está fazendo de tudo: mandando fornecedores para fora do País para treiná-los, (os fornecedores ficam com) a gente, nosso pessoal fica dentro das fábricas. (...) Não tem jeito, o Brasil não tem esta cadeia que o BNDES exige, tem que desenvolver. (...) Já foi tempo em que o pessoal do *supplier* ficava em escritórios, agora eles ficam dentro das fábricas dos fornecedores” (Entrevistado 24).

Dessa forma, é possível afirmar que a nova metodologia do BNDES teve um forte impacto nas estratégias de produção e de inovação da cadeia produtiva eólica.

Segundo o BNDES, até janeiro de 2014, 33 novos (novas fábricas ou expansões) empreendimentos foram implementados em função da alteração da metodologia de conteúdo local. Estes investimentos referem-se exclusivamente ao desenvolvimento de componentes e subcomponentes de aerogeradores cuja nacionalização passou a ser exigida no âmbito das novas regras de credenciamento do BNDES. Conforme pode ser visto na figura 26, destes, 13 se referem à expansão e 20 se referem a novas instalações. Além disso, os investimentos se destinam a todas as partes do aerogerador: cubo, nacele, torre e pás e se concentraram em São Paulo e na Bahia.

Apesar dos investimentos identificados pelo BNDES mostrarem que a mudança de metodologia no índice de nacionalização trouxe importantes investimentos ao longo da cadeia, é importante ressaltar que nem todos estes investimentos são necessariamente relativos a inovações. Algumas destas inversões se caracterizam como expansão de processos produtivos já conhecidos pelas empresas e outros se referem a novos processos produtivos. Apesar de ser fundamental identificar os processos de inovação desenvolvidos pelos fornecedores de componentes do aerogerador, tal análise foge ao escopo da presente pesquisa, que foca apenas nas OEMs e nos fabricantes de macro componentes (pá e torres). Recomenda-se, portanto, que seja realizado um estudo mais detalhado que tenha como objeto de pesquisa a cadeia de fornecedores dos equipamentos eólicos.

Figura 26 - Distribuição dos Investimentos em novos negócios nos segmentos cuja nacionalização é exigida no âmbito das novas regras de credenciamento do BNDES



Fonte: BNDES

6.7. SÍNTESE DAS ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO E INOVAÇÃO DAS EMPRESAS

Diante dos resultados apresentados, é possível agrupar as OEMs em três categorias de acordo com suas estratégias de produção e inovação:

1) O primeiro bloco é composto pelas subsidiárias de empresas transnacionais: GE, Wobben, Alstom, Gamesa, Acciona, Vestas e Siemens. Estas empresas atuam em diversos países e os mercados mais importantes são a Europa e os EUA. O Brasil possui importância secundária em suas estratégias.

2) O segundo bloco é composto somente pela argentina Impsa que também atua em diversos países, mas o tem o mercado brasileiro, no segmento de eólica, como seu mercado mais relevante.

3) O terceiro grupo é composto apenas pela brasileira WEG que, no segmento de eólica, atua (pelo menos num primeiro momento) somente no Brasil.

O quadro 3 sintetiza as principais características destes grupos.

Quadro 3 - Esquematização das estratégias produtivas e inovativas das empresas fabricantes de aerogeradores

Empresas	Origem de capital	Importancia do mercado brasileiro	Estrategia produtiva antes da mudança do BNDES	Impacto da nova metodologia do BNDES na estratégias produtivas	Estratégia produtiva com nova metodologia do BNDES	Estratégia de inovação	Esforços de inovação	Conhecimento sobre os programas de CTI	Uso dos programas de CTI	Interação com universidade
GE, Siemens, Vestas, Gamesa, Acciona, Alstom e Wobben	Europa e EUA	Secundária	GE Siemens, Vestas, Gamesa Acciona => Importavam toda a nacele. Alstom e Wobben já produziam parte da nacele, mas importavam componentes de alto conteúdo tecnológico	GE Siemens, Vestas, Gamesa Acciona => Alto impacto. Wobben e Alstom impacto médio	Todas passaram a importavam apenas componentes de alto conteúdo tecnológico da nacele. Elevado esforço de treinamento da cadeia para garantir fornecedores.	Adaptação que viabilize a implementação do aerogerador no Brasil. Tais adaptações são desenvolvidas fora do Brasil.	Concentrados na matriz	Baixo	Não	Não
Impsa	Argentina	Prioritaria	Produzia parte da nacele, mas importavam componentes de alto conteúdo tecnológico	Nenhum	Produzia parte da nacele, mas importavam componentes de alto conteúdo tecnológico	Fortemente apoiada nos programas de CTI estratégia de desenvolver um aerogerador especificamente para o Brasil.	Parcialmente realizado no Brasil, com perspectiva de mais desenvolvimento tecnológico no país.	Alto	Sim	Sim
Weg	Brasileira	Prioritaria	Até 2012, a empresa estava definindo sua estratégia produtiva, não sendo possível esta análise	Até 2012, a empresa estava definindo sua estratégia produtiva, não sendo esta comparação	Produzia todos os componentes no Brasil	Contratos de transferências tecnológicas com empresas estrangeiras e perspectivas de internalizar o aprendizado tecnológico. Utilização dos programas de CTI para desenvolver um aerogerador especificamente para o Brasil.	Se concentrando no Brasil	Alto	Sim	Sim

Fonte: Elaboração própria

Em relação às empresas de torres e de pás não foi elaborada um quadro comparativo, em função do pequeno número de firmas. Mas as evidências sugerem que a classificação por origem de capital continua válida: a brasileira Tectis tinha uma interação com centros de pesquisa e realizava investimentos em processo de inovação no País, enquanto a dinamarquesa LM concentrava seus investimentos em inovação na matriz.

A partir das evidências acima, os benefícios da atração de transnacionais para o Brasil em relação ao fortalecimento das capacitações produtivas e científicas locais merece ser questionado.

Estas conclusões são consistentes com diversas outras análises sobre o esforço tecnológico de subsidiárias de ETNs no Brasil e que apontam que as subsidiárias priorizam a produção tecnológica em sua matriz (ERBER 1979; ZUCOLOTO; TONETO JUNIOR 2005; CASSIOLATO *et al.*, 2001; 2013). Zucoloto e Toneto Junior

(2005) mostram que em setores onde as subsidiárias controlam a estrutura produtiva (como o automobilístico e o farmacêutico) o esforço tecnológico interno tende a ser limitado, comparado a países de referência. Por outro lado, em setores onde existem grandes empresas nacionais que tem um papel significativo na estrutura produtiva setorial (como o aeronáutico e petróleo) o esforço tecnológico relativo tende a ser mais expressivo. Assim, a estratégia de desenvolvimento na qual as empresas transnacionais assumem o papel dominante no sistema de produção pode, inclusive, reduzir as possibilidades de emergência de uma dinâmica inovadora virtuosa no País.

6.8. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O Brasil tem apostado numa estratégia de desenvolvimento de sua estrutura industrial baseada na atração de investimento direto externo. As políticas industriais de disponibilização de financiamentos preferenciais para empreendimentos eólicos e o índice de nacionalização atrelado a este financiamento foram essenciais na decisão das empresas transnacionais de abrirem unidades produtivas no Brasil.

Com a implantação de subsidiárias, as empresas transnacionais assumiram o papel dominante no sistema de produção dos equipamentos eólicos. As únicas que possuem um perfil diferenciado são a WEG, única OEM nacional e que está entrando recentemente no mercado, e a argentina Impsa em função da importância do mercado brasileiro para seus negócios eólicos.

Inicialmente as OEMs estrangeiras alcançavam o índice de conteúdo local do BNDES através da nacionalização dos componentes de menor intensidade tecnológica e da importação dos itens de maior conteúdo tecnológico. A mudança na metodologia teve um forte impacto nas estratégias produtivas, levando a um aumento do conteúdo local das turbinas eólicas. No segmento de pás e torres não houve alterações significativas na estratégia de produção uma vez que esses itens já eram comumente nacionalizados.

Porém, é latente que a nova metodologia de credenciamento do BNDES teve um impacto significativo no processo de capacitação da cadeia de fornecedores, pois as OEMs foram obrigadas a realizar um significativo esforço no sentido de desenvolver a cadeia de fornecimento que era escassa no País. Mas além deste esforço, não houve

mudanças estruturais dentro das estratégias das OEMs, o que leva à constatação de que a mudança de regras do BNDES não teve impacto direto nas estratégias de inovação das OEMs no sentido de transferir o esforço de inovação que se concentra na matriz para o País. O mesmo resultado foi verificado no segmento de pás e torres.

Porém, seria equivocado afirmar que a nova metodologia do BNDES não induziu processos inovadores na cadeia de equipamentos eólicos. O processo de nacionalização de subcomponentes, previsto na metodologia, desencadeou o desenvolvimento de diversos processos produtivos novos para as firmas e novos para o País.

A disponibilidade de financiamentos preferenciais do BNDES e o índice de nacionalização atrelado a este financiamento parecem ser as políticas com maiores impactos nas estratégias de produção e inovação das empresas. Apesar de ser uma política implícita, possui forte eficácia nas estratégias das empresas e possui efeitos ao longo da cadeia produtiva.

Outra importante constatação é que a origem do capital é relevante para determinar as estratégias de produção e inovação de uma empresa. As subsidiárias de empresas transnacionais que tem os mercados norte-americano e europeu como seus principais clientes tendem a se enraizar menos no Brasil, a não ter interação com universidades e institutos de pesquisa locais e a não desenvolver esforços inovativos localmente. Tais empresas conhecem pouco ou desconhecem totalmente os programas de CTI do governo brasileiro e não julgam relevante projetar um aerogerador específico para o Brasil. Já a empresa latina Impsa, que tem o Brasil como seu principal mercado, e a brasileira WEG, que no segmento de eólica só atua no Brasil, desenvolvem esforços de inovação no País e tem interesse de desenvolver um aerogerador desenhado para as características nacionais. Estas duas empresas conhecem os programas de CTI do governo e possuem relações com universidades.

Assim, dois aspectos centrais merecem ser mencionados. O primeiro é a baixa eficácia dos programas de CTI. A maioria dos atores do sistema produtivo de energia eólica nem conhecem os programas. Adicionalmente, a estratégia da política de CTI de basicamente disponibilizar recursos para inovação tem sido pouco eficaz. Conforme apontado, a falta de inovação das OEMs não se resume à falta de recursos financeiros. Programas de CTI desarticulados e baseados apenas em disponibilização de recursos financeiros não parecem surtir efeito nas estratégias de inovação das empresas produtoras de equipamentos eólicos.

O segundo é o questionamento dos benefícios da estratégia que o País vem apostando na qual as empresas transnacionais assumem um papel dominante no sistema de produção. Neste cenário, a possibilidade de emergência de uma dinâmica inovadora virtuosa no setor fica mais limitada, dado que estas empresas priorizam a produção tecnológica na matriz.

Sem negligenciar a importância da segurança energética nacional, este trabalho questiona o referencial de sucesso do caso eólico no Brasil, trazendo a reflexão sobre a importância da adoção de uma estratégia de expansão da estrutura produtiva e inovativa, de forma sistêmica, capaz de alinhar as diversas dimensões do desenvolvimento.

CAPÍTULO 7 - ESTRUTURA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA BRASILEIRA EM ENERGIA EÓLICA

“... é preciso lembrar que o Brasil é um país muito especial, com enorme potencial”. (Celso Furtado).

7.1. INTRODUÇÃO

A interação entre a ciência e tecnologia industrial remonta ao século XVII, mas foi somente com a profissionalização das atividades de P&D, no final do século XIX e começo do século XX, que esta relação passou a ocorrer em grande escala (FREEMAN, 1982). Com a introdução dos laboratórios de P&D industrial, a relação entre ciência e indústria foi sistematizada e impulsionou o crescimento econômico baseado no conhecimento científico (ROSENBERG, BIRDZELL, 1986).

No final da década de 1960 e ao longo dos anos 1970, importantes estudos empíricos foram realizados na busca de compreender a contribuição do conhecimento científico ao processo de inovação industrial. Dentre os mais relevantes, destacam-se os projetos HINDSIGH (1969), TRACES (1968), SAPPHO (1972) e o trabalho de Gibbons e Johnston (1974). Tais estudos apontaram diversas características do processo de inovação, tais como a importância da acumulação prévia de conhecimento científico e a relevância das fontes de informação externas à firma.

Durante a década de 1980, a consolidação do conceito de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) apontava para a importância da evolução simultânea da indústria, da tecnologia e de diversas instituições, como as de C&T, para o desenvolvimento tecnológico. Adicionalmente, diversos autores que utilizam este arcabouço têm sublinhado a importância da existência de uma infraestrutura científica desenvolvida tanto para a construção de capacidades de aprendizado quanto para a adoção de novas tecnologias.

Assim, as características da estrutura científica influenciam diretamente a inovação. Dessa forma, para compreender o processo de inovação associado à fonte eólica no país, é fundamental analisar a estrutura científica relacionada a ela.

Conforme já mencionando, o Brasil iniciou esforços para montar uma estrutura científica em geração eólica no final da década de 1970. O governo militar, preocupado com as duas crises do petróleo, fundou no âmbito do CTA um grupo de energia eólica,

que funcionou de 1979 e 1984. Normalizado o abastecimento de petróleo, esse grupo foi dissolvido.

Em relação à fonte eólica, houve um espaço de quase três décadas onde nenhum programa de capacitação específico foi implementado. Neste período, a questão da energia eólica era contemplada em programas de P&D voltados ao setor elétrico e em editais do CNPq, conforme apontado no capítulo 5. Na época do PROINFA, o que havia no Brasil eram institutos de pesquisa focados em estudos de mapeamento do potencial eólico, projetos experimentais de geração eólica em pequena escala, e testes relacionados à operação de turbinas de pequeno porte importadas⁹³. Apenas em 2013 houve um edital voltado exclusivamente à fonte eólica, a chamada estratégica do programa de P&D da Aneel, conforme visto no capítulo 5.

Apesar do restrito apoio ao desenvolvimento científico voltado para a fonte eólica no País, o número de grupos de pesquisa e de universidades que estudam energia eólica tem se expandido ao longo das décadas. Portanto, é fundamental analisar pormenor a expansão destes grupos e mapear as capacidades de geração de conhecimento nesta área no Brasil.

Assim, este capítulo tem como objetivo analisar a estrutura científica que o Brasil desenvolveu ao longo dos anos referente à fonte eólica. Para tal, optou-se por utilizar as informações do Diretório dos Grupos de Pesquisa cadastrados no CNPq. Esta base de dados contém informações sobre os grupos de pesquisa em atividade no País, tais como número de pesquisadores, nível de formação dos mesmos, linhas de pesquisa em andamento, produção científica e vinculação com organizações do setor produtivo.

Nesta tese, os grupos de pesquisa são utilizados como um indicador de capacidades ou potencialidades para a geração de conhecimento. Nesse mesmo sentido, o grupo de pesquisa é compreendido como a unidade básica para a geração de conhecimento atual e a análise das características dos grupos de pesquisa é fundamental para conhecer as capacidades com que o Brasil conta para a geração de conhecimento. Apesar de serem fundamentais, os grupos de pesquisa geralmente são um indicador menos utilizado, se comparado aos indicadores que medem os resultados da inovação, como publicações ou patentes (BIANCHI, 2011).

⁹³Em relação às instituições de pesquisa envolvidas com energia eólica, o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB) do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) eram as principais referências no Brasil na época do PROINFA.

Apesar das limitações inerentes à investigação de dados já agregados, esta base de dados tem sido considerada como uma boa representação da comunidade acadêmica⁹⁴. O apêndice 6 apresenta as principais características do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq e os procedimentos metodológicos realizados para utilizá-la em particular o processo de definição das áreas relacionadas à energia eólica.

Este capítulo é dividido em 7 partes. Após esta breve introdução, a segunda e a terceira seções analisam a evolução temporal e a distribuição regional dos grupos de pesquisa voltados à energia eólica. Em seguida, apresentam-se os grupos de pesquisa de energia eólica, classificados por Grande Área do conhecimento de acordo com os critérios do CNPq. A quinta seção busca identificar e caracterizar a relação desses grupos de pesquisa com o setor produtivo e a sétima apresenta uma classificação temática que foi desenvolvida para as linhas de pesquisa de energia eólica. Ao final, as conclusões são apresentadas.

7.2. EVOLUÇÃO TEMPORAL

A análise da evolução dos grupos de pesquisa no País considera somente aqueles que estavam ativos em 2013. Assim, grupos previamente existentes que foram extintos antes de 2013 não foram contabilizados nesta análise. Entre os grupos ativos em 2013, foi analisado seu ano de fundação. Ainda, o ano de fundação pode não representar o ano em que se iniciou a Linha de Pesquisa em Energia Eólica - essa informação não está disponível na base de dados.

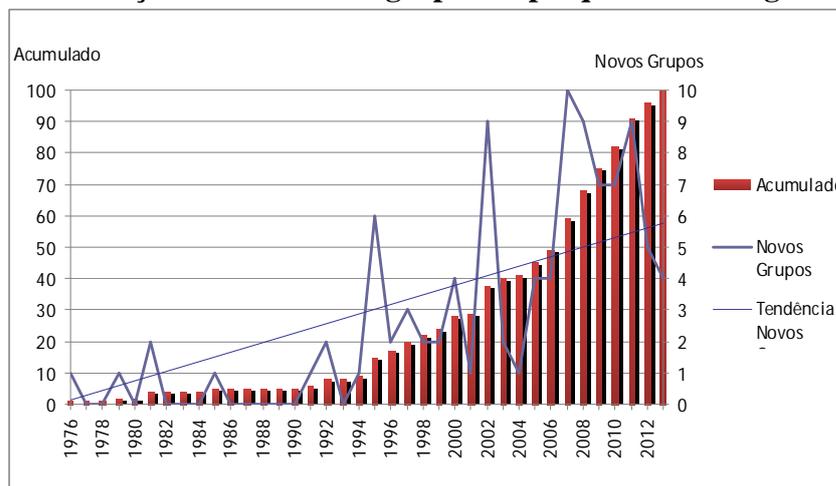
Os primeiros grupos surgiram na década de 1970. O Grupo em operação mais antigo foi fundado em 1976: Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos (GESTE), da Engenharia Mecânica da UFRGS. O segundo é o Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia (FAE), criado em 1979 na UFPE, em Pernambuco.

De 1980 a 1990 foram adicionados apenas 3 Grupos de Pesquisa. De 1991 a 2000 foram adicionados 23 Grupos, uma média de 2,3 Grupos por ano e totalizando 28 Grupos até 2000. O crescimento mais relevante foi a partir de 2000. Desde então, foram adicionados 72 Grupos de pesquisa, uma média de 5,53 grupos por ano, com atenção especial ao período de 2007 a 2011, no qual houve a fundação de 42 Grupos e uma

⁹⁴ Para uma discussão sobre a validade desta base de dados como uma *proxy* para a atividade acadêmica do país, ver Bianchi (2011).

média de 8,2 por ano. Vale lembrar que neste período ocorre uma expansão de contratação da fonte eólica no País. Em 2012, houve uma redução do número de novos grupos de energia eólica, possivelmente indicando uma estabilização deste indicador. O gráfico mostra a tendência crescente do número de novos grupos fundados em cada ano

Figura 27 - Evolução do número de grupos de pesquisa em energia eólica



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CNPq

7.3. CLASSIFICAÇÃO POR REGIÃO

Os grupos de pesquisa em eólica apresentaram maior concentração no Nordeste (40%) seguido pelo Sudeste (30%) e Sul (18%). A concentração no Nordeste é coerente com o grande potencial eólico da região. Os Estados com mais grupos foram Minas Gerais e São Paulo (11%), Bahia (10%), Pernambuco e Rio Grande do Sul (9%) e Rio de Janeiro (8%).

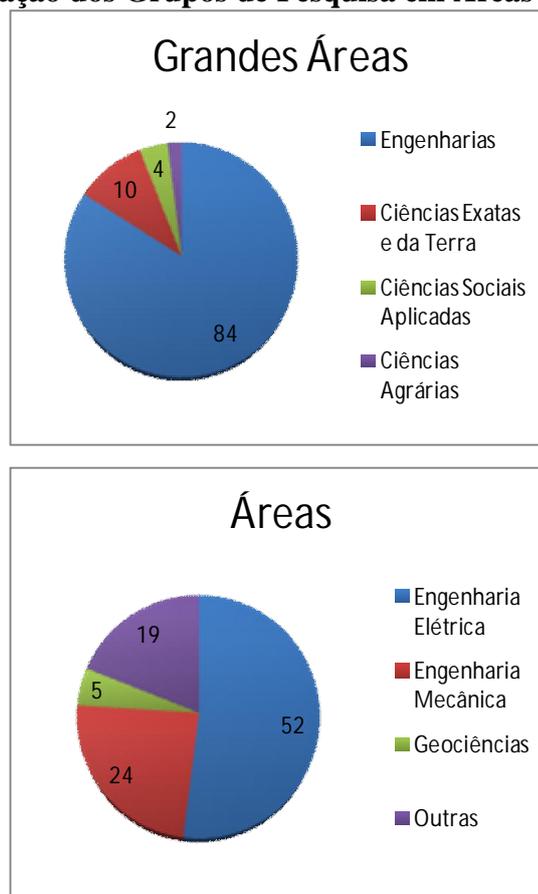
7.4. CLASSIFICAÇÃO EM ÁREAS DO CONHECIMENTO

A classificação em Árvore do Conhecimento (Grande Área / Área) dos Grupos de Pesquisa selecionados está listada na figura abaixo. As Grandes Áreas encontradas foram Engenharias, Ciências Exatas e da Terra, Ciências Sociais Aplicadas e Ciências Agrárias. Engenharia foi a Grande Área de maior incidência de Grupos de Pesquisa,

com 84% dos Grupos, sendo que as de maior incidência foram engenharia elétrica (52%) e engenharia mecânica (24%).

De fato, as áreas de engenharias possuem um papel relevante no desenvolvimento tecnológico da fonte eólica, pois esta fonte possui estruturas e equipamentos de grande porte e cabos de alta tensão. Logo, seu desenvolvimento necessita de conhecimentos relacionados às áreas de engenharia.

Figura 28 - Classificação dos Grupos de Pesquisa em Áreas do Conhecimento



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CNPq

7.5. ANÁLISE DAS RELAÇÕES COM O SETOR PRODUTIVO

Conforme apontado ao longo desta pesquisa, a interação entre os agentes é fundamental para os processos de inovação. Assim, esta seção analisa a relação entre os grupos de pesquisa de energia eólica e o setor produtivo. Dos 100 grupos de pesquisa de energia eólica, um pouco mais de um terço (35) apresentou pelo menos uma relação

com o setor produtivo. Isto significa que dois terços dos grupos de pesquisa que estudam energia eólica não mantêm nenhuma relação com o setor produtivo. Estes resultados convergem com os estudos anteriores (RAPINI, 2010) que apontam para uma baixa interação entre universidade e empresa no País.

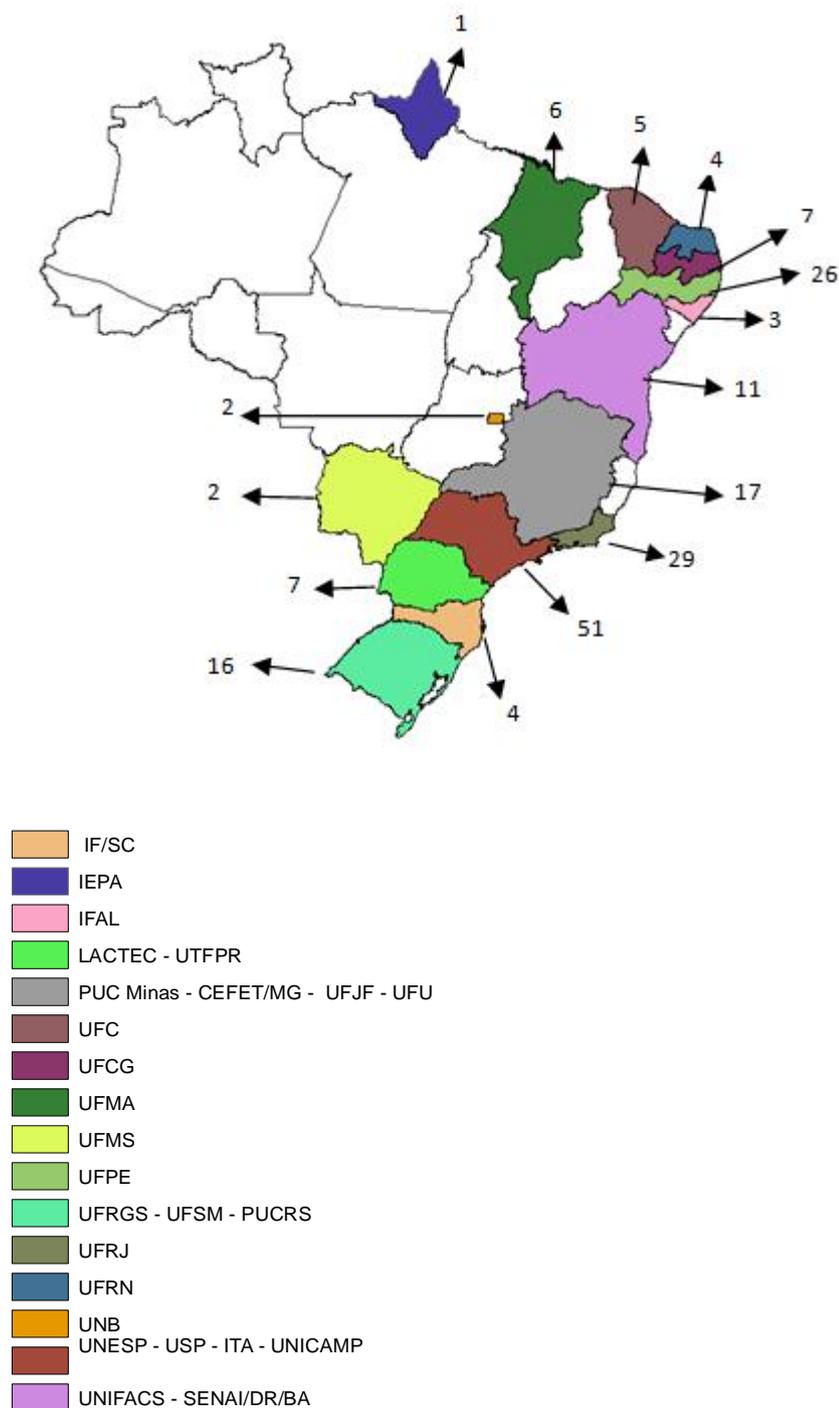
Os grupos de pesquisa que possuem interação tendem a ter mais de uma relação com o setor produtivo e no total, estes 35 grupos mantêm 111 relações diferentes⁹⁵. Em relação aos grupos que possuem relação com o setor produtivo, são quase todos (33 de 35) da área de engenharia. Ademais, estes grupos costumam ser grandes. Medindo o tamanho do grupo pelo número de membros, estes grupos possuem, em média, 24 membros⁹⁶. Ressalta-se que 40% desses grupos localizam-se na Região Sudeste, 30% na Região Nordeste e 23% na Região Sul. Vale mencionar que mesmo tendo mais grupos de pesquisa em energia eólica no Nordeste (41) que na região Sudeste (31), a quantidade de grupos de pesquisa que mantêm relações com o setor produtivo é maior no Sudeste que no Nordeste.

A Figura 29 mostra a distribuição regional dos grupos de pesquisa em energia eólica que mantêm relação com a estrutura produtiva. Os estados que possuem grupos de pesquisa que interagem com as empresas são destacados, com o número total de interações que ocorrem dentro de cada estado. Na legenda foi listado ainda o nome da instituição a qual os grupos de pesquisa que interagem pertencem. Optou-se por não discriminar o nome dos grupos de pesquisa a fim de deixar o gráfico menos poluído.

⁹⁵ O quadro 4 define e analisa as formas de interação que os grupos de pesquisa estabelecem.

⁹⁶ Na categoria de membros estão incluídos: pesquisadores, estudantes e técnicos. Para maiores detalhes, vide apêndice 6.

Figura 29 - Distribuição Regional dos grupos de pesquisa que possuem interação com a estrutura produtiva



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CNPq

Foi analisada ainda a tendência dos grupos de pesquisa em manter relações com o setor produtivo em cada região⁹⁷. Enquanto 45% dos grupos de pesquisa em energia eólica da Região Sudeste mantém relação com o setor produtivo, esta taxa cai para 24% na Região Nordeste.

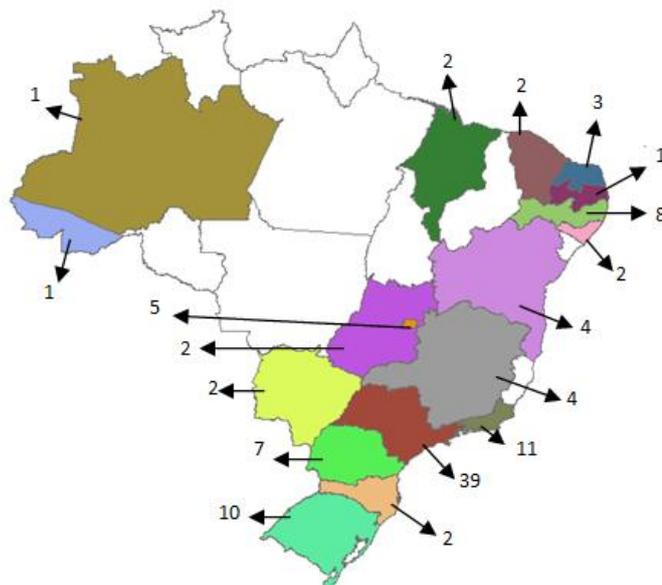
Ao analisar os 35 grupos de pesquisa que possuem relações com o setor produtivo, dois grupos mereceram destaque pela intensa relação que desenvolvem com este setor. O Grupo de Eletrônica de Potência Aplicada a Sistemas de Energia (UFRJ) e o Grupo de Mecânica dos Fluidos Ambiental (UFPE) tinham 15 e 13 relações, respectivamente. Ou seja, de todas as relações que os grupos de pesquisa que estudam energia eólica desenvolvem (111) com o setor produtivo, um quarto (28) ocorre dentro destes dois grupos de pesquisa.

Das 15 relações desenvolvidas pelo Grupo de Eletrônica de Potência Aplicada a Sistemas de Energia (UFRJ), 11 delas são com empresas do estado do RJ, 3 com empresas de SP e 1 da Bahia. Já o Grupo de Mecânica dos Fluidos Ambiental (UFPE) possui 13 relações estabelecidas com o setor produtivo, sendo 7 localizadas no mesmo estado da instituição e o restante com instituições em outros estados.

A maioria das empresas que mantém relações com os grupos de pesquisa em energia eólica se localiza no Sudeste. O mapa abaixo mostra a distribuição regional das empresas que interagem com os grupos de pesquisa.

⁹⁷ Número total de grupos de pesquisa em energia eólica da região que mantém relações com o setor produtivo divididos pelo número total de grupos de pesquisa em energia eólica dentro de cada região.

Figura 30 - Distribuição Regional das empresas que possuem interação com os grupos de pesquisa em energia eólica



IFAL-BRASKEM

ITB- BANDEIRANTE- ADELCO- PIONEIROS-AISPGRU-SAS-SMGPMSP-SABESP-CERIPA-CTC-CPFL-AES/ANEEL
VILA DO CONDE - IBAM - TGB - HIDROMECC - CENPES MPX - ENERSUD - LIGHT - TERMOPERNAMBUCCO

LED - EXPECTEC - CBA - EXPERTISE - CPFL - ELECTROPACK - ABIEIB - ACS - AULITEC - TECPLAS - IEI - CPFL - PROCOBRE - ELETROVENTO
- ÁGUAS E ENERGIA - FDTE - FUSP - COMGAS

MEDABIL-AGROCLARICE-FLORABRA-SULGAS-CEEEED-CPELETRONICA-ELETROCAR-INTRAL-WORK WIND-WALMUR

NHS-UFPR-IAPAR-UTFPR/CT-IPARDES-COPEL/GER-DEMEC

PETROBRAS-COSERN-SENAI/RN

PUC Minas-ABEE-ENERGISA S/A-LUPA

TSNFILIAL - COELBA-XEROX-RENOVE

ATECEL

CEB-EMBRAPA-ELETRONORTE-ELETROBRAS-MME

CELPE-SENAI/DR-COBIPOJUCA-WPEPPROV-IFPE/IPOJUCA-DGN-PMI-PIRESADV&CONS

CEMAR-ALUMAR

CIGAS

COELCE-MICROSOL

ELETRONORTE

ELETROSUL-CELESC-SOLAR

ENERSUL- BIOCUM

Embrapa/CNPAF-CELG

FINEP-TSNMATRIZ-PYTE-ENELTEC-PTEPPROV-CTEPPROV-CPTTE-NOVATRANS-LTSAPPROV-EXPANSION-ETEPPROV

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CNPq

É fundamental também compreender que tipo de relações estes 35 grupos estão desenvolvendo com o setor produtivo. Assim, com base nas informações disponíveis na

base de dados, as relações da academia com as empresas foram classificadas em 14 categorias, como mostra o quadro 4.

Quadro 4 - Tipos de relações do grupo de pesquisa com o setor produtivo

Rel1	Rel1 - Pesquisa científica sem considerações de uso imediato dos resultados
Rel2	Rel2 - Pesquisa científica com considerações de uso imediato dos resultados
Rel3	Rel3 - Atividades de engenharia não-rotineira inclusive o desenvolvimento de protótipo cabeça de série ou planta-piloto para o parceiro
Rel4	Rel4 - Atividades de engenharia não-rotineira inclusive o desenvolvimento/fabricação de equipamentos para o grupo
Rel5	Rel5 – Desenvolvimento de software não-rotineiro para o grupo pelo parceiro
Rel6	Rel6 – Desenvolvimento de software para o parceiro pelo grupo
Rel7	Rel7 - Transferência de tecnologia desenvolvida pelo grupo para o parceiro
Rel8	Rel8 - Transferência de tecnologia desenvolvida pelo parceiro para o grupo
Rel9	Rel9 – Atividades de consultoria técnica não englobadas em qualquer das categorias anteriores
Rel10	Rel10 - Fornecimento, pelo parceiro, de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo sem vinculação a um projeto específico de interesse mútuo
Rel11	Rel11 - Fornecimento, pelo grupo, de insumos materiais para as atividades do parceiro sem vinculação a um projeto específico de interesse mútuo
Rel12	Rel12 - Treinamento de pessoal do parceiro pelo grupo incluindo cursos e treinamento "em serviço"
Rel13	Rel13 - Treinamento de pessoal do grupo pelo parceiro incluindo cursos e treinamento "em serviço"
Rel14	Rel14 - Outros tipos predominantes de relacionamento que não se enquadram em nenhum dos anteriores

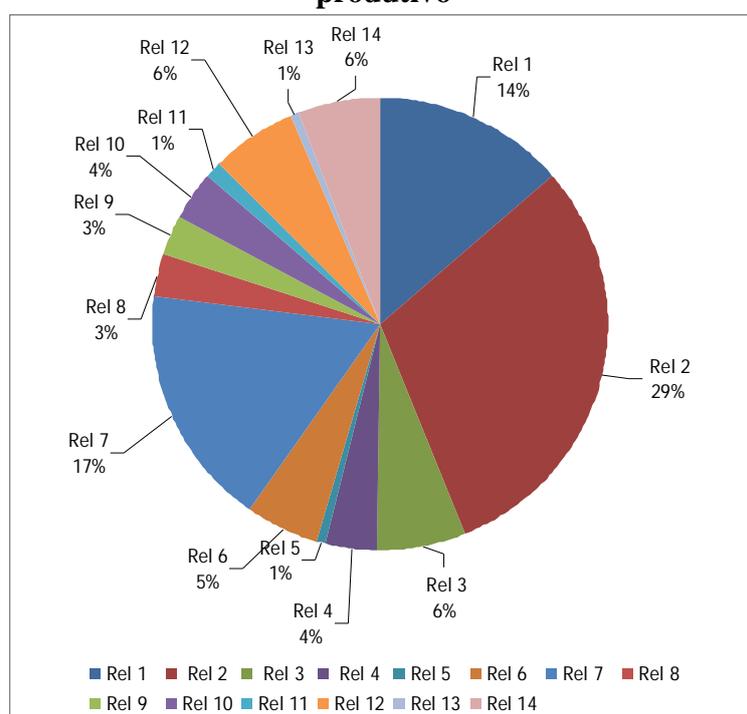
Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do Diretório de Pesquisa do CNPq

Os resultados apontaram que um pouco menos de um terço (29%) das relações entre os grupos de pesquisa eólica e o setor produtivo são caracterizados como pesquisa científica com considerações de uso imediato dos resultados. Os processos de transferência de tecnologia desenvolvida pelo grupo para o parceiro aparecem como o segundo tipo de relação mais comum (17%). As pesquisas científicas sem considerações de uso imediato dos resultados representam 14% das relações. As interações focadas em

atividades de engenharia não-rotineira para o desenvolvimento de protótipo cabeça de série ou planta-piloto para o parceiro (Rel 3), de equipamentos para o grupo (Rel 4) e de software não-rotineiro para o grupo pelo parceiro (Rel 5) são um pouco menos frequentes e somam 11%.

É possível identificar que a maior parte das parcerias entre o setor produtivo e os grupos é caracterizada por pesquisas que parecem ser mais aplicadas (Rel 2, Rel 3, Rel 4, Rel 5 e Rel 7). Praticamente não há trocas entre as empresas e os grupos de pesquisa no intuito de realizar treinamento de pessoal (Rel 12 e Rel 13).

Figura 31 - Distribuição dos tipos de relações do grupo de pesquisa com o setor produtivo



Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do Diretório de Pesquisa do CNPq

Ainda como forma de compreender o tipo de relação que se estabelece entre a estrutura produtiva e a científica em energia eólica, o tipo de remuneração desta parceria foi investigado. As formas de remuneração foram divididas em 10 categorias, conforme mostra o quadro 5.

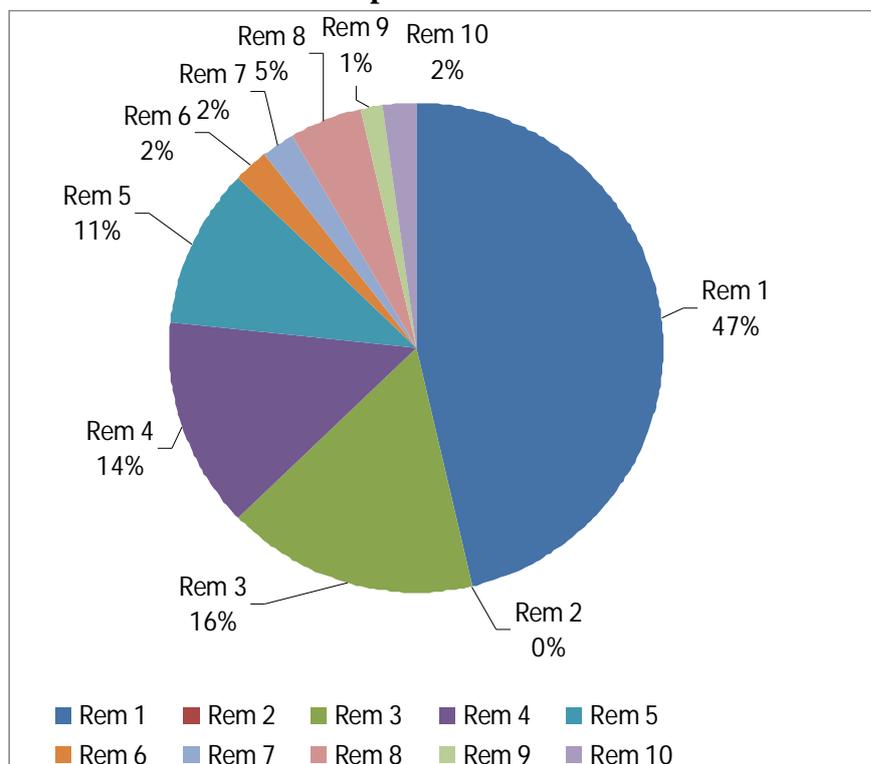
Quadro 5 - Tipos de remuneração do grupo de pesquisa com o setor produtivo

Rem1	Rem1 - Transferência de recursos financeiros do parceiro para o grupo
Rem2	Rem2 - Transferência de recursos financeiros do grupo para o parceiro
Rem3	Rem3 - Fornecimento de bolsas para o grupo pelo parceiro
Rem4	Rem4 - Parceria sem a transferência de recursos de qualquer espécie envolvendo exclusivamente relacionamento de risco
Rem5	Rem5 - Transferência de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo
Rem6	Rem6 - Transferência de insumos materiais para as atividades do parceiro
Rem7	Rem7 - Transferência física temporária de recursos humanos do parceiro para as atividades de pesquisa do grupo
Rem8	Rem8 - Transferência física temporária de recursos humanos do grupo para as atividades do parceiro
Rem9	Rem9 - Parceria com transferência de recursos de qualquer espécie nos dois sentidos
Rem10	Rem10 - Outras formas de remuneração que não se enquadrem em nenhuma das anteriores

Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do Diretório de Pesquisa do CNPq

Praticamente metade das relações é pautada em transferência de recursos financeiros do parceiro para o grupo e 16% pelo fornecimento de bolsas. As parcerias sem transferência de recursos de qualquer espécie, envolvendo exclusivamente relacionamento de risco, representam 14% das parcerias destes grupos, enquanto transferência de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo representam 11%.

Figura 32 - Distribuição dos tipos de remuneração entre grupos de pesquisa e o setor produtivo



Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do Diretório de Pesquisa do CNPq

É importante identificar também as empresas que estão desenvolvendo parcerias com os grupos de pesquisa. A maioria das empresas que estabeleceram tais parcerias é do setor elétrico, ou seja, ligada a transmissão, distribuição ou geração de energia. As concessionárias de energia dos Estados como a CELPE (Companhia Energética do Estado de Pernambuco), a CEMAR (Companhia Energética do Maranhão), a CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) e a TSN (Transmissora Sudeste Nordeste) foram as que mais desenvolveram relações com os grupos de pesquisa analisados. A Petrobras também desenvolveu relações com três grupos de pesquisa e a Embrapa com dois. A única empresa fabricante de aerogeradores que apareceu nesta seleção foi a argentina Impsa. Ela desenvolve pesquisa com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em um projeto que visa o desenvolvimento de geradores de corrente contínua e alternada. Esta parceria é classificada como “pesquisa científica com considerações de uso imediato dos resultados”, ou seja, é uma relação do tipo Rel 2 de acordo com a figura 32.

Diante dos dados apresentados, podemos concluir que a parceria entre a cadeia produtiva de equipamentos eólicos e os grupos de pesquisa em energia eólica é praticamente nula.

7.6. ANÁLISE DAS LINHAS DE PESQUISA

Conforme mencionado, a análise das palavras-chave selecionou 100 grupos que realizavam alguma pesquisa em energia eólica. Porém, estes grupos possuíam um total de 558 linhas de pesquisa, e nem todas em energia eólica. Como as palavras-chave se referem aos grupos, e estes possuem inúmeras linhas de pesquisa, foi necessário realizar uma segunda triagem para analisar aquelas específicas em energia eólica.

As 558 linhas de pesquisa foram analisadas e classificadas em 3 tipos:

- Tipo 1: Linhas de Pesquisa com relação explícita com energia eólica;
- Tipo 2: Base tecnológica em eólica. São estudos que não possuem relação explícita com energia eólica no momento, mas que tem relação com uma área de conhecimento que pode ser utilizado no desenvolvimento tecnológico da fonte eólica⁹⁸;
- Tipo 3: Linhas de pesquisa que não possuem relação com energia eólica.

A classificação do tipo 1 é a mais fácil, são estudos que aplicam o conhecimento direto na fonte eólica. Geralmente a palavra eólica está explícita nos objetivos da linha de pesquisa.

A classificação da base tecnológica em eólica (tipo 2) é mais complexa. Trata-se de grupos que não têm a energia eólica como foco, assim, a palavra eólica raramente aparece entre seus objetivos. Mas o conhecimento gerado por estes pesquisadores pode vir a ser uma base tecnológica de desenvolvimento da fonte eólica. Um exemplo deste tipo de linha de pesquisa seria os estudos sobre materiais compostos, cujos resultados podem ser usados no desenvolvimento de pás de aerogeradores. Da mesma forma, as pesquisas que têm como foco a dinâmica atmosférica do Brasil não podem ser

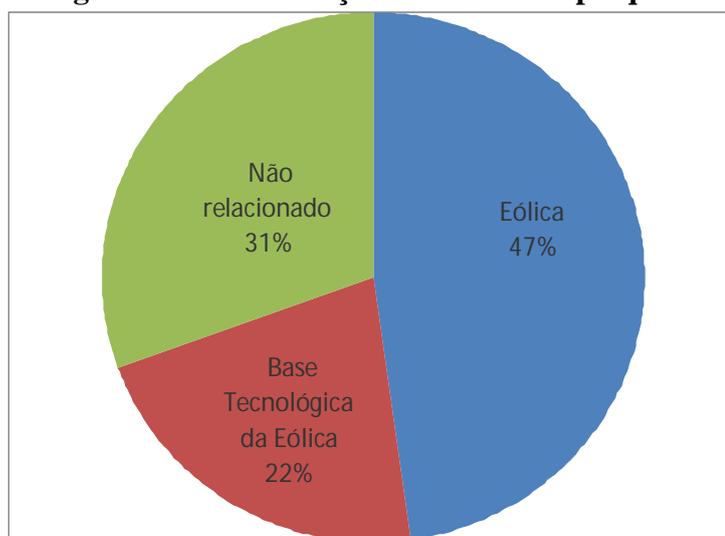
⁹⁸ É necessário lembrar que este grupo não representa todas as linhas de pesquisa com base tecnológica em energia eólica do Diretório de Pesquisa. É possível que haja linhas de pesquisa que não tenham aparecido na primeira triagem, por não terem relação direta com a fonte eólica e que podem vir a desenvolver uma base tecnológica para a fonte eólica.

explicitamente relacionadas à fonte eólica, mas são conhecimentos necessários para desenvolver modelos de aerogeradores mais adaptados ao Brasil.

O tipo 3, na sua maioria, eram linhas de pesquisa relacionadas a outras fontes de energia.

Entre as 558 Linhas de Pesquisa, 267 são diretamente relacionadas à energia eólica (tipo 1), 120 possuem uma base tecnológica aplicável em eólica (tipo 2) e 171 não possuem relação com a fonte eólica (tipo 3).

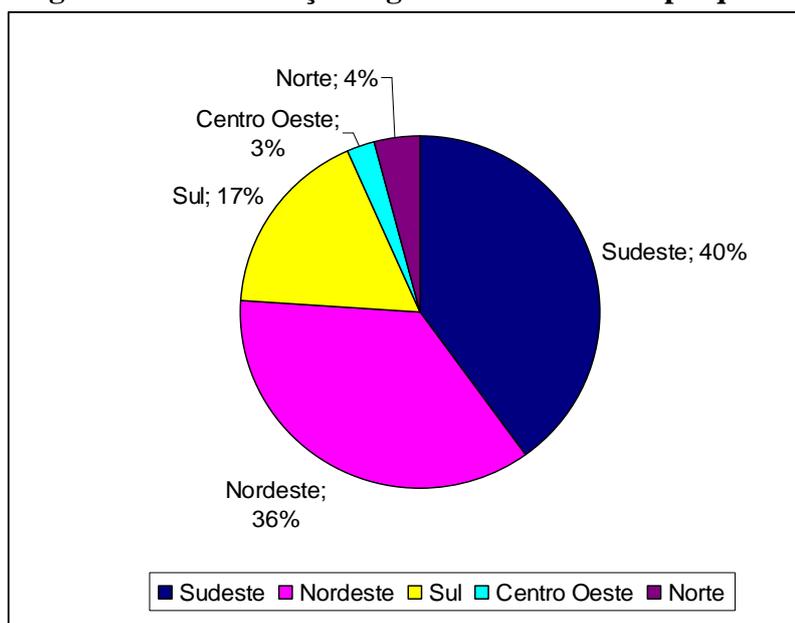
Figura 33 - Classificação das linhas de pesquisa



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CNPq

Se somarmos as linhas de pesquisa que estudam energia eólica com as que possuem potencial de vir a desenvolver uma base tecnológica em energia eólica no Brasil, chegamos a 387 linhas de pesquisa.

Com base nestas 387 linhas de pesquisas, foi realizada uma análise mais aprofundada como forma de compreender as capacitações brasileiras em energia eólica. Primeiramente, estas linhas de pesquisa foram analisadas regionalmente. As regiões Nordeste e Sudeste concentram grande parte das linhas de pesquisa e apresentam níveis de capacitação similares. Há uma significativa lacuna entre estas regiões e a Sul, que também possui um potencial eólico significativo. As demais regiões apresentam poucas linhas de pesquisa em energia eólica.

Figura 34 - Distribuição regional das linhas de pesquisa

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CNPq

Com o intuito de compreender o conteúdo destas 387 linhas de pesquisa, foi elaborada uma classificação temática com nove categorias: estudo dos ventos, medições do vento, avaliação de recursos eólicos, turbinas eólicas, temáticas ambientais, gestão e economia, mercado eólico, política e conexão a rede⁹⁹.

“Estudo dos ventos” engloba as linhas de pesquisa que estudam a dinâmica de vento, escoamento atmosférico do vento e o levantamento do potencial eólico. Já na categoria “Medições do vento” foram incluídas as linhas de pesquisa que atuam com foco na instrumentação e calibrações para o levantamento do potencial e avaliação do recurso eólico. “Avaliação de recursos eólicos” é o grupo focado em modelos de predição, juntamente com a avaliação do terreno, efeitos de esteira de aerogeradores e disposição das máquinas. São linhas de pesquisa que buscam prever o potencial e a possível geração eólica anual.

Na categoria “Turbinas Eólicas” estão concentradas as linhas de pesquisa voltadas ao desenvolvimento de componentes das turbinas eólicas, tais como pás, geradores, componentes elétricos e de eletrônica de potência e sistemas de controle. Linhas de pesquisa que estudam aerodinâmica, materiais especiais, vibrações e fator de capacidade também entram nesta categoria.

⁹⁹Agradeço a Rodrigo Dorado e Bardo Balman pelo auxílio na elaboração desta classificação e na análise das linhas de pesquisa que foi realizada nesta seção, principalmente a análise de intensidade tecnológica das linhas de pesquisa.

“Conexão à Rede” é a denominação da categoria focada na conexão e integração a rede, além da transmissão e de seus problemas, como estabilidade, fluxo de carga, tensão transitória, harmônicos e efeito Flicker.

Na categoria “Temáticas Ambientais” foram inseridas as linhas de pesquisa voltadas aos impactos ambientais gerados pela fonte eólica e ao licenciamento ambientais como parte do desenvolvimento de um projeto eólico.

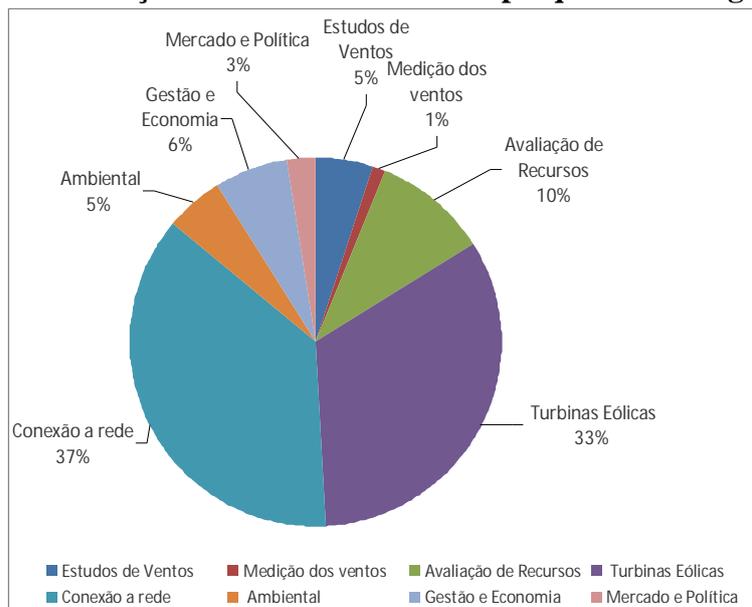
“Gestão e Economia” é o grupo temático que atua com estudos de gestão de projetos eólicos, além de seus custos, impostos e taxas.

“Mercado e Política” é a categoria que inclui as pesquisas focadas nos órgãos reguladores, nos modelos regulatórios e no desenvolvimento e operação do mercado eólico. Como exemplo, podemos citar os estudos que analisam o sistema de leilões e a inserção da fonte eólica no mercado livre.

Assim, as linhas de pesquisa que têm relação direta com a fonte eólica (tipo1) e as que possuem o potencial para serem utilizadas para o desenvolvimento desta fonte (tipo 2) foram analisadas de acordo com esta classificação temática.

Com esta análise, podemos ver que a maioria das linhas de pesquisa estava relacionada à “Conexão à Rede” e às “Turbinas Eólicas” que, ao total, representaram 70% das linhas de pesquisa.

Em relação ao fato de que a maior parte das linhas de pesquisa esteja relacionada ao estudo de conexão à rede de transmissão, alguns comentários merecem ser feitos. O primeiro é que o Brasil acumulou ao longo de décadas uma significativa capacitação científica no setor elétrico. Adicionalmente, a expansão da fonte eólica na matriz energética traz desafios ao sistema nacional de transmissão e distribuição uma vez que insere na rede elétrica uma fonte intermitente. Assim, é razoável supor que os grupos que já estudem o setor elétrico apresentem linhas de pesquisa neste tema.

Figura 35 - Classificação temática das linhas de pesquisa de energia eólica

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CNPq

Adicionalmente, o levantamento identificou 128 linhas de pesquisa em “Turbinas Eólicas”. Destas, 47 focam no desenvolvimento de máquinas elétricas e em sistemas elétricos de potência e sistemas de controle e automação. Algumas destas linhas, por exemplo, focam no desenvolvimento de sistemas de controle de máquinas elétricas visando a otimização de desempenho em relação aos modelos de controle atualmente praticados. Outras pesquisas concebem, projetam e analisam estruturas eletro-eletrônicas e eletro-mecânicas para máquinas elétricas. De uma maneira geral, estas pesquisas utilizam equipamentos de elevada intensidade tecnológica e desenvolvem tecnologias consideradas de ponta¹⁰⁰.

Ainda dentre as linhas de pesquisa em desenvolvimento de tecnologias para turbinas eólicas, 24 atuam em um estágio anterior ao desenvolvimento de máquinas. Por exemplo, o desenvolvimento de modelos matemáticos para aerogeradores, desenvolvimento de ensaios para máquinas elétricas e realização de testes de escoamento para a nacela. Estas linhas de pesquisa são caracterizadas como intensivas em conhecimento científico e de extrema relevância ao desenvolvimento tecnológico. Segundo os especialistas consultados, Rodrigo Dorado e Bardo Balmann, estas linhas de pesquisa são a base para o desenvolvimento de equipamentos eólicos.

¹⁰⁰Os professores Rodrigo Dorado e Bardo Bodmann analisaram estes projetos de acordo com a intensidade tecnológica e a prioridade para o Brasil.

Ainda na categoria linhas de pesquisa em desenvolvimento de tecnologias para turbinas eólicas, destacam-se as que estão desenvolvendo estudos na parte mecânica e em materiais utilizados na indústria eólica, que representam um terço. Nesta categoria estão estudos sobre torres, treliças, manuseio de aço e concreto. Na grande maioria são projetos de média intensidade tecnológica, com exceção de duas linhas de pesquisa, da Universidade Federal do Ceará (UFC) e do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), com trabalhos focados na otimização do desempenho aerodinâmico de pás para aerogeradores, que são altamente tecnológicas e necessitam de equipamentos sofisticados para serem realizadas.

As linhas de pesquisa relacionadas a “Estudo dos Ventos”, “Avaliação de Recursos Eólicos” e “Medições do Vento” (instrumentação) somam 62 linhas de pesquisa e tendem a ser linhas de pesquisa de elevada intensidade tecnológica.

Os grupos classificadas como “Estudo dos Ventos” são essenciais ao desenvolvimento de modelos de previsão e de parques eólicos melhores adaptados à meteorologia e à climatologia do Brasil. Atualmente, os modelos de previsão de ventos usados pela indústria eólica no Brasil são importados do Hemisfério Norte¹⁰¹. Mas o Brasil apresenta uma significativa capacitação acumulada nas áreas relacionadas à meteorologia que poderia ser mais bem aproveitada no desenvolvimento de modelos de previsão de ventos nacionais¹⁰².

As linhas de pesquisa de “Avaliação de Recurso Eólicos” englobam as áreas de meteorologia, geofísica e engenharia mecânica. Estas linhas têm focado basicamente no desenvolvimento de modelos para a avaliação do potencial eólico brasileiro. Da mesma forma que ocorre com os modelos de previsão de ventos, os *softwares* utilizados pela indústria brasileira para avaliação dos recursos eólicos são importados.

A área de “Medições do Vento”, também chamada de instrumentação, é extremamente carente no Brasil e apenas 1% das linhas de pesquisa em energia eólica se dedica a esta área. O Brasil ainda não desenvolveu um padrão nacional de medição de ventos e o desenvolvimento tecnológico da instrumentação nacional ainda é incipiente, sendo importados os anemômetros, *datalogger*, lidars e sodars utilizados no País. Os dois grupos identificados nesta categoria, um da área de física e outro de engenharia elétrica, têm como foco de sua pesquisa o desenvolvimento nacional de instrumentos de

¹⁰¹ Fonte de informação, pesquisa de campo. Entrevistado 47.

¹⁰² Fonte de informação, pesquisa de campo. Entrevistado 47. Segundo Grupos de pesquisa do Diretório do CNPq, há 137 grupos com relação com Meteorologia. Busca usando apenas a palavra Meteorologia.

medição de ventos. Apenas o processo de calibração já é realizado no País através de um túnel de vento, desenvolvido por alguns grupos de engenharia civil e engenharia mecânica, e que está no final do processo de certificação internacional para se tornar o primeiro túnel brasileiro com certificação internacional da MEASNET¹⁰³.

As linhas focadas em "Temáticas Ambientais", "Gestão e Economia" e "Mercado e Política", são compostas basicamente por grupos de biologia, engenharia ambiental, arquitetura, administração e direito, e somam quase 15% do total das linhas de pesquisa brasileiras em energia eólica. Estas linhas de pesquisa são bastante heterogêneas e estão voltadas a estudos de licenciamentos ambientais, gestão de projetos eólicos, órgãos reguladores, modelos regulatórios e desenvolvimento e operação do mercado eólico. Tais estudos são essenciais ao desenvolvimento desta indústria, que tem enfrentado tanto problemas ligados aos licenciamentos ambientais quanto desafios regulatórios com a inserção da fonte eólica no mercado livre.

Assim, é possível perceber que o Brasil possui uma relativa capacitação científica acumulada na fonte eólica, com 387 linhas de pesquisa distribuídas entre os 9 temas selecionados. Algumas áreas possuem um maior número de linhas de pesquisa enquanto outras são mais incipientes.

7.7. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Diante da importância da estrutura científica para o processo de inovação, este capítulo analisou a estrutura científica que o Brasil desenvolveu ao longo dos anos referente à fonte eólica. Para tal, utilizamos os grupos de pesquisa cadastrados no CNPq como um indicador de capacidades ou potencialidades para a geração de conhecimento.

Assim como diversos países do mundo, os primeiros grupos de pesquisa em energia eólica no Brasil surgiram na década de 1970. Ao longo das décadas seguintes, o Brasil desenvolveu uma forte capacitação científica no País, mas em relação à fonte eólica, pouco avanço ocorreu. Apenas a partir da década de 2000 a capacitação científica brasileira em energia eólica passou a evoluir em um ritmo mais intenso.

Segundo a pesquisa realizada, em 2013 havia 100 grupos que tinham alguma linha de pesquisa em energia eólica, sendo a maioria relacionada a áreas de engenharia.

¹⁰³International Network for Harmonised and Recognised Measurements in Wind Energy. <http://www.measnet.com/>

Um dos aspectos centrais abordados no capítulo refere-se à interação entre a estrutura científica e produtiva. A pesquisa apontou que dois terços dos grupos de pesquisa que estudam energia eólica não mantêm nenhuma relação com o setor produtivo. Os dados mostraram uma falta de interação entre a cadeia produtiva de equipamentos eólicos e os grupos de pesquisa. Dentre as empresas fabricantes de equipamentos eólicos, apenas a empresa argentina Impsa possui interação com universidades.

A falta de interação entre as empresas da cadeia produtiva de turbinas eólicas e a produção científica na área não se deve à ausência de linhas de pesquisa. Segundo o levantamento realizado, existem 128 linhas de pesquisa em desenvolvimento de tecnologias para turbinas eólicas. Estas linhas de pesquisas, além de serem predominantemente de alta intensidade tecnológica, desenvolvem projetos que poderiam aumentar a eficiência dos aerogeradores instalados no Brasil, tais como as pesquisas voltadas à otimização do desempenho de turbinas, desenvolvimento de modelos matemáticos para aerogeradores, desenvolvimento de ensaios para máquinas elétricas e otimização do desempenho aerodinâmico de pás.

Outra área que apareceu com significativo número de pesquisa foi sobre conexão à rede, em parceria com empresas ligadas à transmissão, distribuição ou geração de energia. Mas, diferentemente das empresas fabricantes de equipamentos eólicos, essas empresas do setor elétrico apresentaram maior interação com os grupos de pesquisa.

Outro aspecto relevante se refere às linhas de pesquisa classificadas como “estudos de vento”, “avaliação de recursos eólicos” e “medição dos ventos” (instrumentação), que somam 62 linhas de pesquisa. Todas as três tendem a abrigar linhas de pesquisa de elevada intensidade tecnológica. Nestas categorias, o Brasil enfrenta diversos desafios como o desenvolvimento nacional de instrumentos de medição de ventos, desenvolvimento de modelos de previsão de ventos específicos aos ventos brasileiros e desenvolvimento de *softwares* de avaliação dos recursos eólicos. Dessa forma, trata-se de linhas de pesquisa de alta importância para o Brasil.

Por fim, é necessário ressaltar algumas limitações deste capítulo. Os dados do Diretório de Pesquisa do CNPq foram utilizados para apontar algumas tendências da estrutura científica brasileira em energia eólica. Além das limitações inerentes à base de dados do CNPq, é preciso também reconhecer os limites da análise realizada. Os grupos e linhas de pesquisa foram classificados usando as palavras-chave do grupo de pesquisa, a descrição dos objetivos do grupo e das linhas de pesquisa. Em caso de dúvida, o

Currículo Lattes do líder do grupo foi consultado, assim como as publicações dos pesquisadores.

Apesar dos cuidados tomados ao longo da pesquisa, a utilização desta base de dados permite apenas apontar possíveis tendências. Para refutar ou confirmar tais observações, recomenda-se que entrevistas em profundidade sejam realizadas com os representantes das linhas de pesquisa de energia eólica.

CAPÍTULO 8 - SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

“Dito de modo mais simples: é urgente recuperar a faculdade de tornar possível amanhã o que hoje parece impossível”. (BARTHOLO, 2002).

8.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo traçar uma síntese das condições atuais do SNI brasileiro em energia eólica, a partir das análises dos capítulos 5, 6 e 7. Tais capítulos apresentaram separadamente as políticas, a estrutura produtiva e a estrutura científica e tecnológica associada à fonte eólica. Este capítulo analisa as três esferas, dando destaque para as interações ou sua ausência, e utilizando como arcabouço conceitual a perspectiva ampla do conceito de SNI, tal qual apresentado na parte I.

O capítulo se estrutura em 7 partes, incluindo esta breve introdução. A próxima seção analisa as características do subsistema de política e as interações entre as políticas explícitas e implícitas, assim como as interações das políticas com os subsistemas produtivo e científico e tecnológico. A seção 3 tem como foco o sistema produtivo, ou seja, sintetiza a visão das empresas em relação às políticas e ao sistema científico e a seção 4 examina as interações do sistema científico com os subsistemas produtivos e de política, através do olhar do primeiro.

Em seguida, alguns importantes elementos que compõem o SNI de energia eólica são introduzidos, tais como o sistema tributário, as características do sistema elétrico nacional e alguns aspectos da sociedade brasileira que influenciam os processos de inovação em energia eólica. A seção 6 identifica as potencialidades do SNI. Na sequência, as conclusões do capítulo são apresentadas.

8.2. SUBSISTEMA DE POLÍTICA

Apesar das políticas que compõem o SNI serem diversas (políticas macroeconômicas, comerciais, tributárias, educacionais, etc), a análise do subsistema de

política (capítulo 5) se restringiu às políticas de estruturação do mercado eólico, algumas políticas industriais e de CTI para a fonte eólica.

Em relação aos programas de CTI, foi constatado que estes são baseados em uma visão linear do processo, pela qual a pesquisa leva naturalmente a inovações. Dessa forma, os programas de CTI no Brasil tendem a focar no lado da oferta, disponibilizando financiamento para as atividades de P&D e para investimentos em infraestrutura de CTI. Há, porém, lacunas significativas entre as atividades de P&D realizadas e a inovação, com inúmeras barreiras técnicas e econômicas a serem superadas para que os resultados alcançados nos laboratórios sejam produzidos em escala industrial e inseridos no mercado.

Outra medida das limitações das políticas de CTI em eólica se refere à sua forte desconexão com as demais políticas para o setor e com a evolução do sistema produtivo. Isto é, os programas de CTI apoiaram segmentos que não eram os mais relevantes do ponto de vista da evolução da política implícita e da própria estrutura produtiva. Por exemplo, enquanto o setor de aerogerador de grande porte se desenvolvia no país, as políticas de CTI se concentraram basicamente em aerogeradores de pequeno porte. Ou seja, as políticas de CTI estavam descontextualizadas da evolução da fonte eólica no País.

Da mesma forma, houve uma desarticulação entre as políticas explícitas e implícitas voltadas à fonte eólica. Como mostrado, as políticas de mercado e as políticas industriais destinadas a esta fonte enfrentaram dificuldades ao serem implementadas e nenhum programa de políticas de CTI foi mobilizado. Portanto, não é possível afirmar que tenha havido sucesso e conexão entre as políticas explícitas e implícitas que apoiavam o desenvolvimento da fonte eólica no país.

Ademais, as políticas de CTI no Brasil tendem a adotar uma visão excessivamente setorial e raramente são coordenadas com as demais políticas do País. Assim, é comum que os resultados estabelecidos pela política de CTI não sejam alcançados em função de outras políticas como, por exemplo, a tributária, a cambial e a fiscal.

Em contraposição às políticas de CTI lineares, restritas e descontextualizadas adotadas no Brasil, as experiências internacionais virtuosas foram baseadas em uma visão sistêmica da inovação. Os países com experiências virtuosas utilizaram, além da política de CTI, uma grande variedade de outras políticas, tais como educacional,

tributária e fiscal, para apoiar tanto a expansão da fonte eólica quanto a produção nacional de equipamentos eólicos.

Adicionalmente, nestes países as políticas de CTI eram modificadas de acordo com a evolução do contexto. Um exemplo interessante foi a experiência chinesa, analisada no capítulo 3, cujas políticas tributárias sobre a importação de equipamentos eólicos foram se alterando de acordo com a capacidade produtivas das OEMs chinesas. Desenvolver a capacidade produtiva e tecnológica dos equipamentos eólicos era uma preocupação em todos os países analisados e os Estados Nacionais não mediram esforços para ter um produtor nacional de aerogerador.

Além de possuírem uma visão restrita e limitada do processo de inovação, as políticas de CTI no Brasil tendem a fracassar nos objetivos a que se propõem. Dentre os objetivos da política de CTI em eólica estão o incremento às atividades de P&D e a interação entre universidade e empresas. Porém, conforme mostrado, há pouquíssima interação entre os fabricantes de equipamentos e as universidades e os investimentos em P&D ocorrem de forma limitada.

Adicionalmente, os programas de CTI possuem baixo impacto sobre as estratégias de inovação das fabricantes de equipamentos eólicos analisados. Diversas empresas sequer conheciam importantes instrumentos de fomento à inovação.

Em suma, a política de CTI em energia eólica no Brasil é equivocada, desarticulada e ineficiente. Equivocada porque exclui etapas importantes do processo de inovação e supõe que o processo de inovação seja linear e setorial; desarticulada, pois caminha no sentido oposto da necessidade da estrutura produtiva e não se articula com as demais políticas implícitas; e ineficiente porque não alcança os seus objetivos.

Em relação às políticas industriais, estas se limitaram ao estabelecimento de um índice de nacionalização e disponibilidade de linhas preferenciais de financiamentos aos parques eólicos. Assim, a política industrial brasileira para energia eólica pode ser considerada extremamente limitada, principalmente se comparada às experiências internacionais, que utilizaram diversos instrumentos para apoiar o desenvolvimento da estrutura produtiva.

Adicionalmente, estas duas medidas foram pontuais e não se articularam com outras políticas industriais. O estabelecimento do índice de nacionalização, por exemplo, não foi articulado a nenhuma política de apoio ao desenvolvimento da cadeia produtiva que garantisse uma oferta de equipamentos nacionais que viabilizasse o alcance do índice exigido.

Em relação aos resultados obtidos, estes variaram significativamente. Como apontado, o IN foi introduzido em três diferentes momentos no setor de equipamentos eólicos, em 2004 e em 2009, e reformulado em 2012, e os efeitos alcançados foram distintos em cada momento. Em 2004, no PROINFA, o IN foi atrelado ao financiamento do BNDES e não foi suficiente para incentivar as grandes produtoras de aerogeradores a abrir fábricas no Brasil. O IN foi inclusive responsabilizado por causar atrasos no PROINFA e a exigência do IN para participar do programa foi retirada.

De 2009 a 2012, o estabelecimento do conteúdo local surtiu efeito um pouco mais significativo, mas em função de fatores conjunturais. Os mercados tradicionais estavam em desaceleração e o governo brasileiro começava a sinalizar um interesse em contratar de forma sistemática a fonte eólica. O mercado brasileiro estava começando a se destacar como importante mercado para as transnacionais produtoras de aerogeradores. A existência da regra de conteúdo local associado à perspectiva de expansão do mercado brasileiro e à crise internacional aumentou o interesse das empresas produtoras de aerogeradores pelo Brasil. Entretanto, conforme evidenciado no capítulo 6, o cálculo base do IN gerava um cenário de especialização regressiva.

Em 2012 o BNDES desenvolveu um IN específico para energia eólica. Segundo informações coletadas em entrevistas com funcionários do BNDES, a nova metodologia levou em consideração as características da cadeia produtiva deste setor.

“A metodologia foi realizada depois de muita conversa com o setor. Todos os fabricantes de aerogerador foram consultados. A capacidade de produção de cada fabricante foi levada em consideração (...) também conversamos com especialistas inúmeras vezes” (Entrevistado 42).

É possível identificar um importante processo de aprendizagem institucional no BNDES junto com o setor, que permitiu que uma política específica para energia eólica fosse desenvolvida.

Adicionalmente, o contexto da geração eólica no mundo foi levado em consideração na elaboração da nova metodologia. O aumento de importância do Brasil no cenário global do setor foi identificado como uma janela de oportunidade para expandir a política industrial.

“Tínhamos noção de que o Brasil estava mais importante no mercado de energia eólica, foi uma oportunidade histórica. Se fosse num outro momento, não teria condições de fazer o que a gente fez. Foi uma conjuntura de

inúmeros fatores que permitiram a gente implementar esta mudança, uma conjuntura que alinhou inúmeros fatores”(Entrevistado 43)

Assim, levando em consideração as condições nacionais de produção de aerogeradores no Brasil e o contexto internacional, o BNDES desenvolveu uma regra específica de conteúdo local para o setor de bens de capital de aerogeradores. Como resultados da nova metodologia, há perspectiva de reversão do processo de especialização regressiva e possibilidade de adensamento da capacidade produtiva do País.

Em suma: em 2004, o IN foi adotado sem levar em consideração o contexto da fonte eólica no país, não foi bem sucedido e teve que ser abandonado; entre 2009 e 2012, o IN alcançou alguns resultados positivos, mas principalmente em decorrência da conjuntura mundial; e em 2012, a política foi elaborada especificamente para a geração eólica, fruto de um processo de aprendizagem junto ao setor e levando em consideração as características do sistema produtivo do País. As evidências coletadas ao longo desta pesquisa apontam que, diante desta reestruturação da política de IN do BNDES, há perspectivas de um forte impacto no desenvolvimento da cadeia de produção nacional.

Esta experiência revela a importância do desenvolvimento de políticas industriais contextualizadas e elaboradas especificamente para cada sistema produtivo. Trata-se de um raro exemplo de política vertical adotada no BNDES.

Em relação às políticas de mercado, estas também foram instituídas de forma desarticuladas. Nem o PROINFA nem a decisão de contratar energia eólica via leilão levaram em consideração o contexto nacional e ambas tiveram dificuldades de serem implementadas. O PROINFA atrasou e foi abandonado após a primeira fase e o modelo de leilão só conseguiu realizar um leilão de eólica depois da crise global de 2008.

A figura 36 tem como objetivo sintetizar o que foi descrito nesta seção. A figura é composta pelo subsistema científico e tecnológico, o produtivo e o de políticas. Trata-se de uma simplificação do SNI em energia eólica. O subsistema de demanda foi retirado da análise uma vez que a demanda por energia no País é regulada pelo governo que contrata a fonte de energia que é posteriormente transmitida pelo Sistema Interligado de Nacional (SIN) e onde os consumidores, ao utilizarem a energia elétrica, não sabem de qual fonte tal energia é proveniente. Assim, a ideia de que os consumidores de energia elétrica sejam capazes de influenciar os processos de inovação em energia eólica não se aplica. Ademais, nesta figura as políticas implícitas se

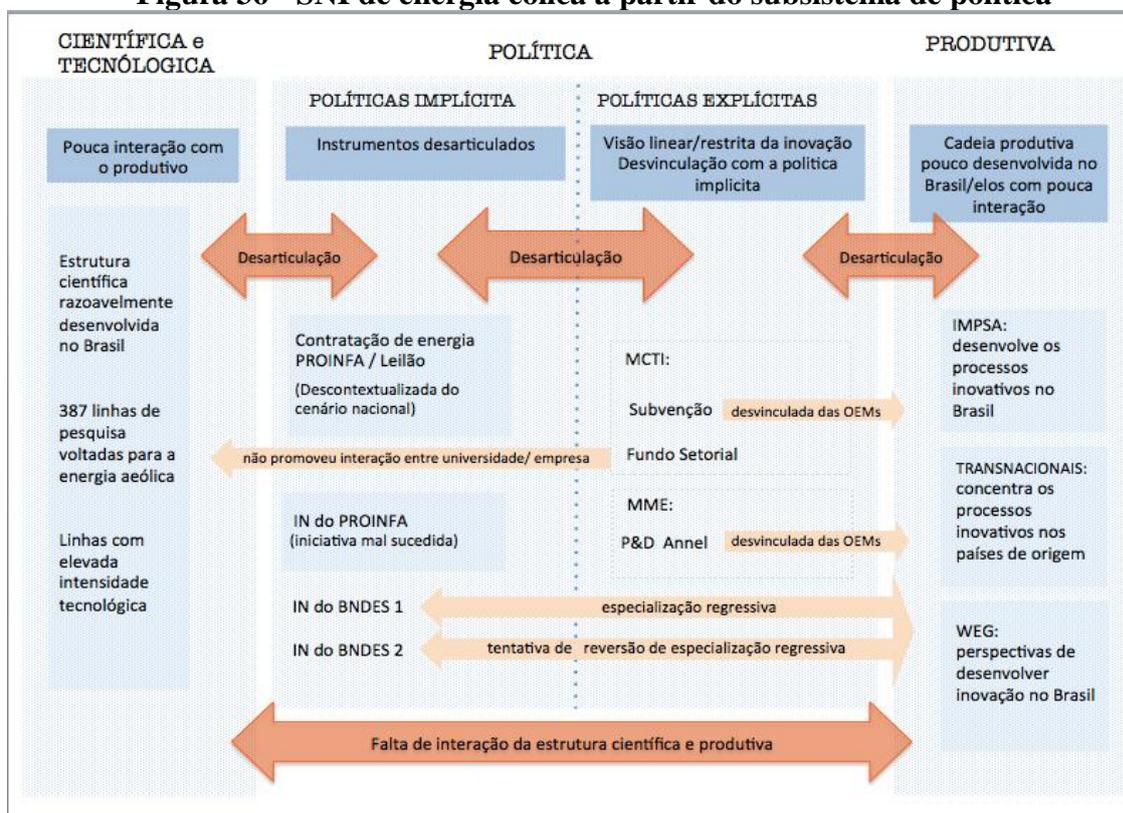
resumem apenas às políticas de mercado e industriais. As demais políticas implícitas que influenciam os processos de inovação em energia eólica, tais como as políticas tributária, macroeconômica e educacional, serão inseridas na figura 40, ainda neste capítulo. A ênfase foi colocada na articulação entre as políticas explícitas e implícitas, nas interações do subsistema de política com os demais subsistemas e no impacto do subsistema de política sobre os demais subsistemas.

As setas vermelhas apontam para a desarticulação do subsistema de política com os demais subsistemas e para a desarticulação que ocorre dentro do subsistema de política entre as políticas explícitas e implícitas.

As setas de cor rosa revelam o impacto das principais políticas sobre o subsistema produtivo e científico e tecnológico.

As caixas em azul sintetizam os principais aspectos dos subsistemas. Os subsistemas de políticas e produtivos serão detalhados nas próximas seções, mas já foram incluídas neste gráfico com o objetivo de dar uma uniformidade aos três gráficos do SNI em eólica contidos neste capítulo.

Figura 36 - SNI de energia eólica a partir do subsistema de política



Fonte: Elaboração própria

Assim, recomenda-se que as políticas de CTI no Brasil tenham uma visão sistêmica do processo de inovação e que sejam alinhadas às demais políticas, tanto as que influenciam especificamente o processo produtivo e inovativo dos equipamentos eólicos, quanto as que influenciam a evolução mais geral da economia brasileira, como as políticas educacionais, macroeconômicas etc.

8.3. SUBSISTEMA PRODUTIVO

Em relação à infraestrutura produtiva em energia eólica, o início do seu desenvolvimento no País ocorreu em 1984, com a abertura da empresa de pás eólicas Tectis. Em meados da década de 1990, a Wobben abre a primeira unidade produtiva de aerogerador no Brasil.

Ao longo da década de 1990 e início dos anos 2000, houve pouco desenvolvimento da estrutura produtiva, que passou a evoluir fundamentalmente depois da crise de 2008. Desde então, as principais empresas OEMs instalaram subsidiárias no país e em 2012 a WEG iniciou a fabricação de aerogeradores. Conforme mostrado no capítulo 6, além das OEMs, a cadeia de produção também é composta pelos produtores de torres e de pás¹⁰⁴. O primeiro é composto por diversas empresas nacionais e algumas estrangeiras e o segmento de pás é composto pela LM e pela brasileira Aeris, além da Tectis.

Um dos aspectos mais relevantes em relação à estrutura produtiva é compreender os elos dentro da cadeia produtiva. Conforme apontado por diversos autores como Freeman (1987) as relações interativas ao longo da cadeia dão uma virtuosidade ao desenvolvimento tecnológico e favorecem o desenvolvimento de inovações mais radicais. Na ausência de interações ao longo da cadeia, as empresas tendem a implementar pequenas melhorias tecnológicas, principalmente de redução de custo.

¹⁰⁴ A cadeia de produção também é composta pelos fornecedores destes fabricantes. Mas a análise se restringe aos macrocomponentes, conforme explicado no capítulo 6.

Dessa forma, um dos itens abordados na pesquisa de campo foi a relação com clientes e fornecedores¹⁰⁵. Com exceção da Tectis, as demais empresas possuíam poucas relações com seus fornecedores e clientes.

A empresa brasileira possuía fortes relações com seus fornecedores e clientes, sendo estes a principal fonte de informação para as inovações desenvolvidas pela empresa. Por exemplo, o *design* das pás normalmente é desenvolvido conjuntamente com os clientes. É possível afirmar, portanto, que a Tectis adota uma estratégia de inovação baseada em uma visão sistêmica.

A Impsa e a Wobben responderam que as interações com os fornecedores foram importantes apenas na fase inicial, para viabilizar a produção. Por terem sido as primeiras OEMs no País, tiveram que empreender um esforço para formar uma rede de fornecedores. Mas a relação com os fornecedores não se constitui em fonte de inovação para nenhuma das duas empresas. Para a primeira, as principais fontes de inovação são o departamento de engenharia no Brasil e o departamento de P&D na Argentina e para a segunda, a principal fonte de inovação é a centro de P&D da matriz, na Alemanha. A WEG respondeu que pretende desenvolver relações com a cadeia de fornecimento, mas no momento o processo de aprendizagem está vinculado à transferência tecnológica com a empresa Northern. As demais responderam que as informações das suas inovações eram exclusivas do centro de P&D da matriz.

Outro fator que limitava as interações ao longo da cadeia produtiva era o elevado coeficiente de importação. Conforme foi mostrado, até 2012 os componentes de elevada intensidade tecnológica eram importados principalmente de países desenvolvidos, alguns componentes de elevado peso, como os forjados, eram importados da China como estratégia de minimização de custo e apenas alguns componentes, fundamentalmente de baixo conteúdo tecnológico, eram produzidos localmente. A exceção eram as pás, que possuem elevado conteúdo tecnológico e eram produzidas no País. De fato, havia um esforço de grande parte das OEMs de produzir o mínimo necessário no País, em função dos elevados custos.

“Tudo que puder vir de fora, a gente vai trazer. Os forjados, por exemplo, saem metade do preço se importados da China.” (Entrevistado 46)

¹⁰⁵ A pergunta se referia ao período até o final de 2012. A partir de 2013, as empresas começaram a desenvolver relações com fornecedores para se adequar à nova política do BDNEs, como será visto adiante.

Assim, os elos da cadeia produtiva eram fracos. Mas, conforme mencionado, há perspectivas de mudanças, principalmente a partir da mudança de metodologia do IN do BNDES. Conforme apontado, o principal efeito desta mudança é o significativo esforço das OEMs no sentido de “desenvolver a cadeia produtiva”.

“A mudança do BNDES fez com que a gente tivesse que produzir no Brasil o que a gente importava antes (...) a gente está realmente montando a cadeia no Brasil, mesmo” (Entrevistado 23).

Esta política implícita tem estimulado a interação das OEMs com os fornecedores.

“Antes a gente importava muita coisa (...) agora estamos correndo atrás de fornecedores no Brasil. A gente não tinha muito contato com fornecedores, mas agora tá tendo mais. Eu não trabalho mais dentro do escritório. Minha equipe tá toda fora hoje, correndo atrás de fornecedores” (Entrevistado 24).

Assim, como consequência da política implícita adotada pelo BNDES, abre-se a possibilidade de maior interação entre os elos do sistema produtivo. Adicionalmente, a consolidação da cadeia produtiva no Brasil traz perspectivas interessantes em relação à possibilidade de desenvolvimento de novas políticas de inovação. Ao ser questionado sobre a escassez de inovações adotadas no Brasil, um especialista do setor fez a seguinte afirmação:

“Calma, antes não tinha como inovar, não tínhamos nem produção no Brasil, não tínhamos nada. O momento é agora. Agora sim, podemos começar. Agora sim, vamos discutir inovação em energia eólica”. (Entrevistado 26)

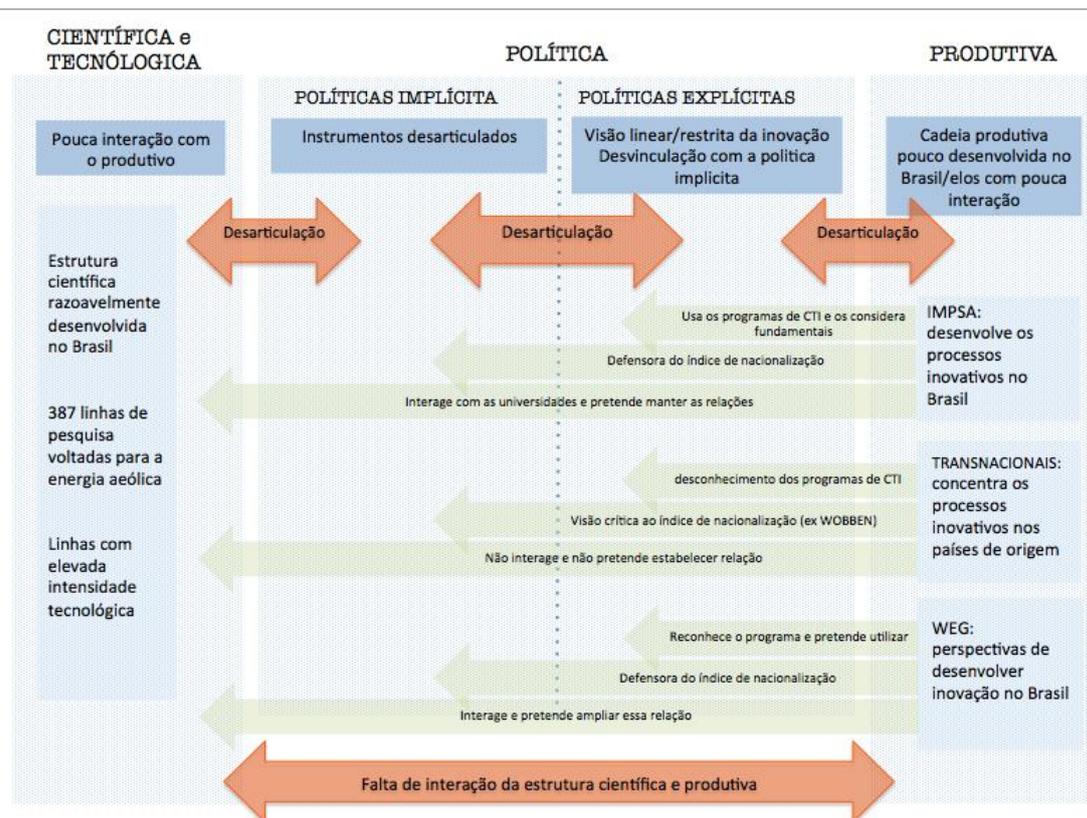
A figura 37 a seguir também mostra o SNI simplificado, mas com ênfase no subsistema de produção. As setas (vermelhas) que indicam a (falta de) interação entre os subsistemas foram mantidas, assim como as caixas em azul que sintetizam as características gerais dos subsistemas. Mas setas verdes, que mostram a forma como o subsistema de produção interage com os demais subsistemas, foram acrescentadas.

Conforme mostrado anteriormente, a nacionalidade do capital importa na conformação das estratégias de produção e inovação. Assim, na figura 37, o subsistema produtivo foi separado em três grupos: as empresas transnacionais que tem como seus principais mercados o norte-americano e europeu, a empresa latina Impsa, que tem o Brasil como seu principal mercado, e a brasileira WEG, que no segmento de eólica só atua no Brasil.

Conforme já apontado, o primeiro grupo de empresas tende a ser menos enraizado, a não ter interação com universidades e institutos de pesquisa locais e a não desenvolver esforços inovativos no País. Tais empresas conhecem pouco ou desconhecem totalmente os programas de CTI do governo brasileiro. Adicionalmente não julgam relevante projetar um aerogerador específico para o Brasil e preferem fazer adaptações no aerogerador que foi desenvolvido em suas matrizes. Conforme foi mostrado, as adaptações tendem a aumentar os custos, a agravar ineficiências e, portanto, tem um impacto negativo sobre a produtividade.

Já as empresas Impsa e WEG desenvolvem esforços de inovação no País e têm interesse de desenvolver um aerogerador desenhado para as características nacionais. Estas duas empresas conhecem os programas de CTI do governo e possuem relações com universidades.

Figura 37 - SNI de energia eólica a partir do subsistema produtivo



Fonte: Elaboração própria

A figura acima revela as estratégias de inovação e produção adotadas pelas OEMs em 2013. É importante ressaltar que há possibilidade de mudanças, em função dos recentes investimentos realizados pela WEG e pela Impsa no desenvolvimento de

aerogeradores desenhados especificamente para os ventos brasileiros. Vale citar os resultados alcançados por Zucoloto (2009) acerca das estratégias adotadas pelas transnacionais no Brasil. A autora mostra que há maior probabilidade destas realizarem investimentos de inovação no Brasil quando há empresas nacionais no setor. Isto é, a presença de empresas nacionais que realizam investimentos em P&D no Brasil estabelece um padrão de inovação que tende a ser copiado pelas estrangeiras.

Usando os argumentos de Zucoloto (2009) e o fato de que a WEG e a Impsa estão realizando significativos investimentos no desenvolvimento de aerogeradores específicos para o Brasil, é possível esperar que haja uma mudança nas estratégias das transnacionais no futuro.

Por exemplo, caso o projeto da WEG com a Tractebel, realizado no âmbito do Programa de P&D da Aneel, de desenvolvimento de um aerogerador nacional seja bem sucedido e alcance um rendimento superior que os demais aerogeradores, é razoável supor que as demais OEMs sejam estimuladas a rever suas estratégias de inovação, principalmente em relação ao desenvolvimento de um aerogerador específico para os ventos brasileiros.

O mesmo pode vir a ocorrer com a Impsa, caso o aerogerador IWP100 consiga ter um desempenho superior às demais máquinas.

Assim, em função da existência da WEG e até mesmo da Impsa, que apesar de ser uma empresa argentina concentra grande parte dos investimentos em inovação no Brasil, é possível que as transnacionais venham a desenvolver investimentos de inovação no Brasil.

Estas constatações reforçam a importância de existir empresas nacionais fortes dentre as fabricantes de aerogeradores. Ao examinar as experiências internacionais (capítulos 3 e 4) percebe-se que houve um esforço significativo de países como EUA, Alemanha, Dinamarca, China, Espanha e Índia de possuir um fabricante nacional de aerogerador. Como foi mostrado, o desenvolvimento das empresas nacionais de OEMs foi fortemente atrelado às políticas implementadas pelos Estados. As empresas alemãs Enercon e Nordex, por exemplo, foram beneficiadas pelo sistema de tarifas *feed in* implementado na Alemanha, a GE também se beneficiou de incentivos em seu mercado doméstico e as recentes OEMs chinesas passaram a dominar o mercado chinês de energia eólica em função de políticas tecnológicas e industriais que protegiam as empresas locais.

A força da relação entre as OEMs com seu país de origem também foi verificada na importância que os mercados domésticos de energia eólica tinham para as OEMs. Em todos os casos, os mercados eram dominados pelas empresas nacionais¹⁰⁶: nos EUA, a General Electric; na Índia, a Suzlon; na Alemanha, as empresas Enercon, Siemens, Nordex e Repower; e na China Goldwind, Sinovel, United Power e Dongfang.

Desta forma, percebe-se como fundamental o estabelecimento de um forte apoio do Estado às OEMs nacionais, para que elas possam ser fortalecidas em suas estratégias produtivas e tecnológicas locais, gerando um ciclo virtuoso que incentive também as transnacionais a realizarem investimentos no País.

8.4. SUBSISTEMA CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

O desenvolvimento da estrutura científica e tecnológica em energia eólica evoluiu de forma significativa nos últimos 30 anos. Os primeiros grupos de pesquisa em energia eólica no Brasil surgiram na década de 1970 e atualmente o país já possui uma massa significativa de pesquisadores nesta área.

Porém, esta evolução não ocorreu de forma integrada com a estrutura produtiva. Conforme mostrado no capítulo 7, em 2013 havia 100 grupos que tinham alguma linha de pesquisa em geração eólica, porém dois terços não tinham nenhuma relação com o setor produtivo. Dentre as empresas fabricantes de equipamentos eólicos, apenas a argentina Impsa possui interação com as universidades.

O subsistema de capacitação está, portanto, desvinculado do processo produtivo.

Porém, é importante ressaltar que esta falta de interação não se deve à ausência de linhas de pesquisa em turbinas eólicas, mas sim às dificuldades de conciliar a estratégia produtiva com as perspectivas acadêmicas, conforme visto no capítulo 8.

Segundo o levantamento realizado, existiam em 2013, 128 linhas de pesquisa voltadas especificamente ao desenvolvimento de tecnologias para turbinas eólicas. Estas linhas de pesquisas, além de serem predominantemente de alta intensidade tecnológica, desenvolviam projetos que poderiam aumentar a eficiência dos aerogeradores instalados no Brasil.

¹⁰⁶ Para maiores informações, vide capítulo 4.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica)¹⁰⁷, há uma falta de conhecimento a respeito e entre os grupos de pesquisa de energia eólica no Brasil. Segundo um membro da ABEEólica entrevistado na pesquisa:

“Há uma falta de conhecimento entre os grupos de pesquisa que estudam energia eólica (...) às vezes os grupos são de áreas diferentes, um da engenharia, outro é da física (...) há também uma falta de conhecimento das empresas sobre os grupos de pesquisa de energia eólica (...) tem que ter maior interação entre todos eles”.

Tendo como diagnóstico a falta de conhecimento e interação entre os grupos de pesquisa e entre os grupos de pesquisa e as empresas da cadeia produtiva, a ABEEólica desenvolveu, em 2012, um projeto para formar a Rede de Pesquisa em Energia Eólica no Brasil. Segundo a ABEEólica a ideia do projeto era lançar uma plataforma online para cadastrar as empresas e grupos de pesquisa que trabalham com o tema. O objetivo era reunir as principais instituições com projetos em energia eólica no ambiente da Rede de Pesquisa e compartilhar informações sobre as atividades de P&D e inovação. Porém, até o momento a plataforma não foi lançada por falta de recursos.

Além de analisar a interação no subsistema científico e tecnológico, um dos objetivos da pesquisa era captar a visão deste subsistema em relação aos demais. Assim, as entrevistas com os professores tinham dentre os objetivos captar a percepção deles sobre as empresas OEMs e as políticas de energia eólica no Brasil.

Os pesquisadores conheciam o programa de P&D da Aneel e os editais do CNPq, mas praticamente desconheciam os programas de Subvenção Econômica e Fundo setorial. Assim, foi perguntada a opinião deles sobre os dois primeiros.

A realização de uma chamada específica para a fonte eólica no edital do CNPq foi considerada como positiva, mas ainda insuficiente. A falta de liberdade para uso dos recursos foi citada por dois professores como um problema.

“Foi bom (...) demorou pra sair, já era para ter saído há tempos, mas foi bom. Vamos comprar equipamentos para o laboratório (...) podia ter mais.”
(Entrevistado 47).

Em relação ao programa de P&D da Aneel, os professores concordaram que o programa raramente permite a realização de pesquisas de maior porte.

¹⁰⁷ Dois funcionários da ABEEólica foram entrevistados ao longo desta pesquisa.

“Agora tá todo mundo atrás de projeto de P&D, tentando vender projeto de P&D para as empresas (...) tem que conseguir provar para a empresa que o custo dela vai cair. Se conseguir isto, a empresa fecha com você. Mas na verdade, tem pouca liberdade para fazer pesquisa nesses projetos, é bem engessado (...) bem focado em um resultado específico que a empresa quer”.

(Entrevistado 50)

“Nem considero pesquisa, é quase uma consultoria, com prazos e resultados estipulados pela concessionária” (Entrevistado 49).

De uma maneira geral, a chamada estratégica que a Aneel realizou para energia eólica em 2013 foi considerada como positiva, pois os projetos aprovados eram de maior porte¹⁰⁸.

“Os projetos da chamada estratégica foram mais estruturais. Acho que este é o caminho (...). Não é possível ficar fazendo projetinho para as empresas para sempre, né?”(Entrevistado 39).

Os professores apresentaram um posicionamento crítico em relação às empresas. O baixo interesse das empresas em realizar pesquisa foi criticado por todos os entrevistados, assim como os prazos excessivamente curtos dentro dos quais as empresas querem realizar as pesquisas.

“A empresa raramente procura a universidade. Quando eles querem uma pesquisa, é geralmente bem focada e com um prazo bem apertado”.

(Entrevistado 49).

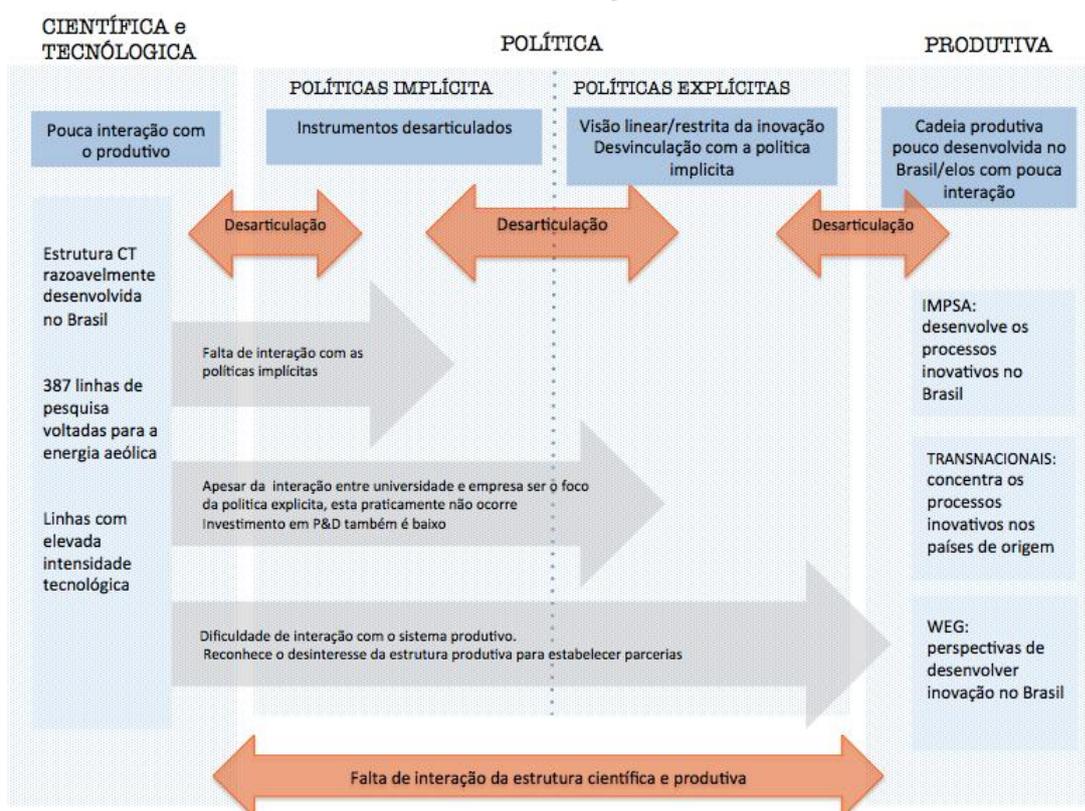
Por fim, os professores também classificaram as políticas que apoiam as pesquisas em eólica como insuficientes.

Assim, o Brasil permanece com desafios em relação ao subsistema científico e tecnológico de energia eólica. O aproveitamento das capacitações já existentes em áreas estratégicas à geração eólica e a maior interação entre os grupos de pesquisa e o sistema produtivo são alguns dos desafios no caminho de desenvolver uma trajetória inovativa no País.

¹⁰⁸ Diante deste resultado, indagou-se o motivo pelo qual, na chamada estratégica, os projetos foram mais estruturais. Uma hipótese sobre o motivo pelo qual os projetos da chamada estratégica terem o perfil mais estrutural é o menor risco associado a eles, visto que os projetos da chamada estratégica são aprovados ex-ante pela Aneel, reduzindo o risco da empresa que o contrata. Porém, esta investigação junto às concessionárias de energia foge ao escopo desta tese. Assim, recomenda-se que entrevistas junto às concessionárias de energia sejam realizadas, como forma de refutar ou confirmar esta hipótese e para compreender melhor o programa de P&D da Aneel e a chamada estratégica deste programa.

A figura 38 sintetiza o que foi apresentado nesta seção. O SNI simplificado é mostrado mais uma vez, mas a ênfase recai na percepção sobre os subsistemas produtivo e de política a partir da perspectiva do subsistema de capacitação científica e tecnológica. Como nos gráficos anteriores, as setas vermelhas e as caixas em azul forma mantidas. Setas de cor cinza que mostram como o subsistema de capacitação científica e tecnológica interage com os demais subsistemas foram acrescentados.

Figura 38 - SNI de energia eólica a partir do subsistema de capacitação científica e tecnológica



Fonte: Elaboração própria

8.5. OUTROS ASPECTOS DO SNI EM ENERGIA EÓLICA

Conforme apontado na parte I desta tese, o SNI em sua versão ampla é composto por diversos outros elementos além dos subsistemas já analisados, tais como o contexto sociocultural; as políticas macroeconômicas e outras políticas implícitas, como a comercial, a de regulação, a de capital estrangeiro; o nível educacional da população, entre outros. Mesmo sem conseguir analisar todos os elementos que compõe o SNI de

energia eólica no Brasil, esta seção descreve os principais aspectos citados nas entrevistas que não tenham sido abordados ainda.

Planejamento Energético

Um dos itens mais citados nas entrevistas foi a política energética¹⁰⁹. A falta de garantia de compra da energia eólica foi criticada por praticamente todos os entrevistados.

Diferentemente da maioria dos Estados europeus, o governo brasileiro não oferece nenhuma garantia de compra em relação a nenhuma fonte de energia. Apesar de existirem projeções de longo prazo oficiais da composição esperada da matriz energética do País nos próximos anos, não há um planejamento sobre a contratação das fontes de energia. Ademais, tais projeções tendem a mudar significativamente a cada ano. Assim, conhece-se a necessidade de contratação apenas no curto prazo, quando novos leilões são divulgados e marcados, geralmente menos de um ano antes de ocorrerem. Porém, como não há garantias de contratação ou confiabilidade nas projeções de longo prazo, os fabricantes de aerogeradores não sabem como serão conduzidas as contratações futuras e, portanto, não conseguem fazer uma estimativa adequada sobre suas vendas futuras de equipamentos (NOGUEIRA, 2011).

Além da falta de garantia de compra, a instabilidade nas quantidades contratadas foi amplamente criticada pelos fabricantes de aerogeradores e especialistas do setor. Como mostrado na introdução da parte III da tese, foram contratados 2.047,8MW em 2010, 2.000MW em 2011, 277MW em 2012 e 4.500MW em 2013.

É possível perceber uma queda brusca na quantidade contratada em 2012. Segundo especialistas do setor, houve um erro na estimativa da demanda por energia no País para aquele ano e, em 2013, a quantidade de energia contratada teve que suprir a pequena quantidade de energia contratada em 2012. Essa oscilação na contratação tem efeitos perversos sobre a produção industrial de equipamentos eólicos, pois em períodos de concentração excessiva há uma sobrecarga do sistema produtivo e em períodos de baixa contratação há capacidade ociosa.

“Todos os prazos de entrega da indústria têm o mesmo prazo, todos os leilões ficaram com o mesmo prazo de entrega: 2016. Os fornecedores precisando

¹⁰⁹ No capítulo 6, as políticas de estruturação de mercado foram analisadas. Nesta seção, o foco é um pouco distinto, pois trata especificamente do planejamento energético e a decisão do MME de contratar quais fontes energéticas. Apesar de serem relacionados, a forma pela qual o planejamento energético afeta o processo de inovação dos equipamentos eólicos não foi analisada até então.

comprar máquinas novas para atingir esta produção, isto significa custos maiores (...) e depois? Depois toda a indústria fica ociosa. O governo precisa planejar melhor, é desnecessário este *stress* todo” (Entrevistado 26)

A baixa contratação em 2012 foi agravada pela mudança no índice de nacionalização. No mesmo ano em que as empresas tinham que decidir se realizariam os investimentos exigidos pelo BNDES e ficariam no Brasil, a demanda do governo foi extremamente reduzida. A exigência de um maior investimento na cadeia produtiva feita através do IN do BNDES poderia ter sido coordenada com uma sinalização de maior compra de energia eólica pelo governo.

“Eu não sou contra a mudança do BNDES, mas não deveria ter sido adotada no mesmo ano em que o governo não contratou nada, foi péssimo.” (Entrevistado 23)

As empresas transnacionais (GE, Acciona, Vestas, Wobben, Siemens, Alstom, Gamesa) citaram a falta de estabilidade da política energética como um dos obstáculos ao desenvolvimento de P&D no país¹¹⁰.

“Além de já ter um centro de P&D na matriz e concentrar as atividades de pesquisa lá (...) não tem sentido trazer este investimento para o Brasil, porque um ano o governo contrata energia eólica, no outro não... é muito instável... não tem como. Pra que eu vou iniciar um projeto aqui? Depois o governo fica 2 anos sem contratar, e aí, o que eu faço?” (Entrevistado 1).

“Você quer que eu invista em P&D aqui no Brasil, ok, me dê garantia de compra que eu invisto” (Entrevistado 28).

“Eu substituiria todos os programas de apoio à inovação por uma política energética bem feita. Mas não adianta oferecer incentivo à inovação se não sabemos se vai ter mercado ou não” (Entrevistado 47).

As exceções são a WEG e a Impsa, que concordam que a falta de estabilidade da política energética dificulta o processo de inovação e que 2012 foi um ano ruim, mas acham que as perspectivas de contratação são boas e que o modelo de leilão não é incompatível com as atividades de P&D.

¹¹⁰ Conforme visto, a existência de centros de P&D em suas matrizes, que concentram os investimentos em P&D, foi o outro fator citado pelas empresas.

“As perspectivas de contratação em relação ao Brasil são boas, estamos trabalhando com uma estimativa de contratação de 2 GWs ao ano, isto permite investimentos em inovação (...) sem dúvida que garantir a demanda é o mais importante, isto eu concordo.” (Entrevistado 48)

Os especialistas consultados também afirmaram que não acreditam que o leilão seja incompatível com as inovações e que há boas perspectivas de contratação de energia eólica nos próximos anos.

“Eu não vejo problema nenhum no modelo de leilão. De fato, o Brasil não tem plano firme de compra de nenhuma fonte específica. O único plano do Brasil é o seguinte: fique competitivo que o governo contrata (...) seja competitivo. O Brasil precisa de energia, tem mercado de energia (...) 2012 foi um ano extremamente atípico que dificilmente vai se repetir no Brasil”. (Entrevistado 26).

Em suma, é possível afirmar que o planejamento energético possui forte influência sobre os processos de inovação. Embora a falta de garantia de compra e o modelo de leilão tragam incertezas, não parecem inviabilizar os processos de inovação. Porém, a falta de previsibilidade e confiabilidade no planejamento energético influencia negativamente a decisão das empresas de investir em P&D no País, e, portanto, o planejamento deficiente do setor elétrico e a falta de coordenação com a política industrial podem ser citados como fragilidades do SNI de energia eólica no Brasil. Desta forma, a definição de um programa de contratação de longo prazo de forma clara e bem regulamentada e a coordenação com as demais políticas existentes representariam importantes avanços para o Sistema.

Sistema Tributário

O sistema tributário também foi constantemente citado nas entrevistas como uma barreira ao desenvolvimento industrial nacional de equipamentos. Segundo Fiúza Jr. (2009), a carga tributária sobre os equipamentos eólicos representa de 7% a 30,2% do preço final dos equipamentos. Ainda segundo este autor, a incidência tributária é uma das maiores fontes de perda de competitividade para a indústria de equipamentos eólicos no País.

Um dos impactos da elevada tributação é a dificuldade de exportar os aerogeradores produzidos no Brasil, que poderia ser uma alternativa para atenuar a instabilidade de contratação da fonte eólica no País.

“Se eu conseguisse exportar, eu não me preocuparia tanto se o governo do Brasil não contratasse eólica em um determinado ano” (Entrevistado 8).

O Brasil possui potencial de se transformar em um pólo de exportação de aerogeradores para a América Latina. Todas as OEMs entrevistadas afirmaram que têm planos de que o Brasil seja a base de produção de aerogeradores para o continente.

“Se os impostos permitissem, o Brasil poderia ser um pólo de exportação de aerogeradores para toda a América Latina. O Brasil tem disposição de financiamento, tem mão-de-obra, capacitação, tem tudo. Mas os impostos não permitem. Eu uso fábricas mais longe para exportar, mesmo com os elevados custos de transporte” (Entrevistado 23).

Assim, a desoneração da cadeia produtiva foi bastante citada nas entrevistas como uma medida fundamental para consolidar a estratégia de produção e de inovação das OEMs no Brasil, na medida em que possibilitaria o aumento da produção nacional de aerogeradores.

“Se eu tenho uma fábrica grande no Brasil, que vende para toda a América Latina, que vende no Brasil, eu faço os investimentos que o governo quer. Mas sem conseguir exportar, sem o governo brasileiro comprar (...) aí, fica difícil, né?” (Entrevistado 46).

Mais uma vez, a importância de alinhar a política de CTI à política tributária é reforçada. A experiência internacional, mostrada no capítulo 6, revela que os países que consolidaram uma produção de aerogeradores utilizaram as políticas tributárias com forma de estimular a competitividade das OEMs no país.

Preço do aço

Outra questão importante relacionada à produção de aerogeradores no País é o elevado preço do aço no mercado nacional. A diferença no preço deste insumo faz com que o custo da produção nacional chegue a ser 20% maior do que o custo de trazer os equipamentos da Índia e da China (ABEEólica, 2012).

De forma bastante similar ao impacto dos tributos sobre a produção de aerogeradores, o elevado preço do aço no mercado nacional também prejudica a competitividade brasileira no mercado de turbinas eólicas.

Infraestrutura e logística

As entrevistas também apontaram que a falta de infraestrutura e problemas logísticos são grandes gargalos para a expansão da produção de aerogeradores no Brasil. A principal barreira de infraestrutura e logística está relacionada ao transporte de aerogeradores, via terrestre ou marítima.

No Brasil, o principal meio de transporte de aerogeradores e componentes são as rodovias e os empreendimentos eólicos se concentram predominantemente na região Nordeste, onde a infraestrutura rodoviária é bastante precária. Outro problema refere-se às limitações impostas ao tráfego de caminhões de grande porte? nas rodovias brasileiras. Além de um limite diário do número de caminhões por rodovia, e da redução deste limite em épocas de grande fluxo de automóveis, como é o caso do verão nas estradas do litoral do Nordeste, a Polícia Rodoviária Federal só permite que esses caminhões circulem durante o dia e com escolta desta polícia, fazendo com que o transporte dos componentes dos aerogeradores dependa da disponibilidade de viaturas de escolta para cada trecho.

Os entrevistados citaram ainda a escassez de caminhões para o transporte, principalmente de pás, que são componentes extremamente grandes e frágeis. Em função do aumento do tamanho dos aerogeradores, há perspectiva de que este problema se torna ainda maior.

Uma possível solução seria o transporte destes componentes via cabotagem, que poderia reduzir custos e evitar problemas de desgaste dos componentes devido ao atrito causado pelas más condições das vias. Porém, a falta de estrutura de armazenamento nos portos ainda impede o uso deste modal. Desta forma, a escassez de portos que tenham um perfil mais industrial também foi apontada como um gargalo para a expansão da produção de aerogeradores no Brasil.

A falta de portos industriais está atrelada a uma visão restrita do governo federal. Como explicaram os diretores do complexo portuário de Suape, entrevistados no âmbito desta pesquisa, os portos lucram mais ao fazer transporte de *commodities* a se especializarem em produtos industriais. O porto de Suape é um dos poucos do País que tem infraestrutura para realizar transporte dos componentes eólicos, pois, segundo os

diretores, o objetivo do porto não é obter lucro, mas atrair indústrias para o Estado do Pernambuco.

“O governo federal não apóia portos industriais. Governo federal quer exportar *commodities*. Suape só existe porque é estadual e faz parte do complexo industrial do Estado, mas o porto não dá lucro, mas consegue atrair grandes indústrias para a região (...) Suape só existe porque o Estado (de Pernambuco) quer atrair indústria”(Entrevistado 50).

Mais uma vez, a falta de alinhamento com o governo federal prejudica a evolução do setor. Assim, percebe-se a necessidade de que o desenvolvimento do SNI de inovação em energia eólica seja apoiado em todas as esferas, das políticas federais às estaduais.

Renúncias fiscais sem coordenação de um poder central:

Conforme mostrado na figura 25 (capítulo 6), as OEMs têm se instalado majoritariamente no Nordeste, uma região historicamente marginalizada. A vinda de grandes fabricantes pode, se associada a políticas adequadas, representar uma importante possibilidade de desenvolvimento para a região. Através de uma matriz insumo-produto, Simas (2012) estimou a geração de empregos diretos e indiretos associados à fonte eólica em 195 mil empregos até 2020, sendo 50% dos empregos gerados na cadeia de produção de equipamentos. Foge ao escopo desta pesquisa estimar o impacto potencial da indústria eólica no desenvolvimento regional do Nordeste.

Diante dessa oportunidade, os estados do Nordeste têm oferecido diversos incentivos fiscais para que as empresas de equipamentos eólicos se instalem em seu território. A partir de uma intensa briga fiscal, cada governo estadual tem aumentado as ofertas às empresas, com benefícios como isenção de ICMS, cessão de terrenos para a construção de unidade produtiva, oferta de cursos de capacitação, garantia de obtenção de licença ambiental em um prazo curto, como 90 dias, entre outros.

Apesar da meta de desenvolver a estrutura produtiva do estado ser legítima, tal disputa pode reduzir os benefícios que o desenvolvimento do setor eólico poderia trazer à região.

“As empresas são as maiores beneficiadas com a disputa entre os estados (...) no final a empresa consegue tudo que ela quer.” (Entrevistado 21)

Ademais, geralmente os Estados que “vencem” esta disputa são os mais desenvolvidos. De fato, a maioria das empresas recentemente instaladas tem ido para os Estados da Bahia e de Pernambuco. O governador da Bahia recebeu em 2013 o título de “homem do vento” pela ABEEólica, em função do seu empenho em atrair a cadeia produtiva de energia eólica para o estado.

O resultado é que esta disputa reproduz a lógica de exclusão dos estados mais fracos.

“É simplesmente impossível competir com as condições que os maiores estados oferecem às empresas (...) os estados mais pobres não têm como competir. O nosso vento é bom, as empresas poderiam estar se instalando aqui, precisamos disso para nos desenvolver” (Entrevistado 21).

Figura 39 - Mostra como os elementos do SNI de energia eólica ressaltados nesta seção



Fonte: Elaboração própria

A escassez de infraestrutura e dificuldades logísticas, a desarticulação da política tributária, o elevado preço do aço, falta de planejamento de energético e as brigas fiscais estão atreladas à falta de visão sistêmica e ocasionam um desalinhamento entre importantes esferas do processo de inovação. As linhas pontilhadas mostram as

interações entre os elementos destacados. É possível perceber que estes elementos interagem entre si de forma a reforçar um padrão de baixa perspectiva de inovação e de baixo desenvolvimento regional. Perante a figura 39 fica nítido que a atuação restrita a alguns elementos dificilmente reverterá a este padrão estabelecido.

8.6. AS POTENCIALIDADES DO SNI EM EÓLICA

Esta seção visa ressaltar as potencialidades referentes ao SNI de energia eólica no Brasil. Apesar das fragilidades identificadas anteriormente, o SNI de energia eólica no Brasil possui inúmeras potencialidades.

Elevado potencial eólico

Primeiramente, é importante ressaltar que o país possui um potencial eólico extremamente elevado. O atual mapa eólico brasileiro utilizou torres de medição a 50 metros e aponta um potencial total do País de 143GW. Estimativas apontam que a 100 metros de altura, esse número subiria para 300GW e a 150 metros de altura, o potencial eólico ultrapassa 400 GW. Ou seja, o nosso potencial eólico é superior a necessidade energética do país, que é de 120 GW (ABEEOLICA, 2012). A atualização do Atlas Eólico nacional, como forma de mapear os ventos do país, é crucial para que este potencial seja explorado. O governo da Bahia atualizou o mapa eólico do Estado em 2013 e mostrou que o Estado possui um potencial de energia eólica a ser explorada na região de 195GW.

Elevado fator de capacidade

Além do potencial eólico elevado, os ventos brasileiros possuem características que o tornam um dos melhores do mundo para o aproveitamento energético. O fato dos ventos brasileiros serem predominantemente unilaterais e com velocidades altas e constantes permite um aproveitamento energético extremamente elevado. Conseqüentemente, o fator de capacidade considerado nos parques eólicos brasileiros é substancialmente mais elevado do que a experiência internacional. Segundo Bocard (2009), o fator de capacidade médio observado nos dez países de maior capacidade de geração eólica é apenas 21%, ou seja, metade do fator médio considerado em projetos

no Brasil. Há parques eólicos como Mangue Seco 3 que apresentam fator de capacidade de 50% (BOCCARD, 2009).

Contribuição da energia eólica para o aumento da segurança energética

A já mencionada complementaridade hídrica-eólica também é uma especificidade do vento brasileiro que representa uma possibilidade de aumentar significativamente segurança energética. Como apontado por um especialista do setor entrevistado:

“o que as pessoas não entenderam ainda é que no Brasil, e apenas no Brasil, a energia eólica pode ser uma fonte base do sistema elétrico, pois ela permite que não se use os reservatórios. Venta justamente nos meses em que precisamos usar os reservatórios. Se a fonte eólica permite que não use os reservatórios, ela é base (...) só no Brasil, em nenhum outro lugar do mundo a fonte eólica pode aumentar a segurança energética do país desta maneira” (Entrevistado 26).

A expansão da fonte eólica, além de permitir de aumentar a oferta de energia e a segurança energética do país, pode representar uma redução de custo ao sistema elétrico brasileiro. Conforme mencionado, o sistema elétrico tem como base a fonte hídrica. Quando os reservatórios estão baixos, a fonte térmica é geralmente acionada. Porém, em função de contratos firmados com as usinas térmicas, os preços de despacho desta fonte estão extremamente elevados. A expansão da fonte eólica representa uma possibilidade de que as térmicas não sejam acionadas. Segundo especialista consultado no âmbito desta pesquisa:

“O governo achou que nunca usariam as térmicas, então, eles pagaram um custo fixo baixo e um custo variável quase infinito (...) quando acionadas, as térmicas estão com preços de 500 reais por megabyte-hora só de combustível. Precisamos evitar que as térmicas sejam acionadas. A fonte eólica ta saindo mais barata que as térmicas neste momento, então, colocarem eólica significa reduzir o custo so sistema elétrico... a eólica pode trazer a modicidade tarifaria de volta ao sistema elétrico” (Entrevistado 17).

Segundo relatório elaborado pelo *Greenpeace* Brasil, o país pode economizar R\$ 1,1 tri até 2050 caso aumente as fontes da fonte eólica, solar e PCH e reduza o uso das usinas térmicas. O relatório faz uma projeção de dois cenários possíveis para as matrizes energéticas do país em 2050. Em um deles, o foco continua sendo na produção

hidrelétrica, com geração termelétrica complementar. No outro, a energia eólica ganha projeções maiores¹¹¹. Segundo relatório, até 2030, as energias renováveis seriam mais caras, devido ao custo inicial. Depois, estas fontes passariam a ser menos custosas. Em 2050, a opção por uma matriz mais limpa representaria uma economia de 1,1 trilhões de Reais (*GREENPEACE BRASIL*, 2012)

Assim, é possível afirmar que a fonte eólica possui o potencial de aumentar a oferta de energia, expandir a segurança energética e reduzir os custos do sistema elétrico.

Elevado potencial de desenvolvimento regional

Em relação ao desenvolvimento social, também é possível identificar um significativo potencial da fonte eólica em promover avanços. Uma das características da fonte eólica é a sua geração pode coexistir com diversas atividades econômicas como agricultura e pecuária uma vez que os aerogeradores ocupam em média menos de 10% da área total da propriedade (NOGUEIRA, 2011). Diferente da fonte hídrica, a geração eólica não pressupõe expulsão da população do local de geração.

Os empreendedores e os proprietários de terra têm estabelecido contratos de arrendamento da terra por uma quantia paga mensal de forma inovadora, permitindo que as atividades originalmente desempenhadas naquela terra sejam mantidas. Os parques eólicos têm representado, portanto, aumento de renda para a localidade onde são implementados, que muitas vezes são áreas rurais com baixas oportunidades de crescimento econômico. O complexo eólico Alto Sertão I, maior da América Latina, por exemplo, se localiza no sudoeste da Bahia e abrange municípios considerados pouco desenvolvidos como Caetitê, Igarorã e Guanambi¹¹².

Além do fluxo de renda constante gerado com o arrendamento da terra, a empresa Renova, dona deste complexo eólico afirmou¹¹³ que realizou diversos investimentos na região, como construção de estradas, perfuração de poços de água, além de projetos socioambientais. Segundo a empresa, a implantação do complexo

¹¹¹ Em dados de 2010, utilizados para construir as projeções, o país tinha 78,2% da energia produzida em hidrelétricas; 7,9% em gás natural e 6,1% em biomassa. Já no cenário de 2050, proposto pelo *Greenpeace*, o uso de gás natural se reduz a 6,5%, a eólica, que corresponde a uma parcela mínima no quadro de 2010 (0,4%) cresce a 21,1% em 2050. Já a solar passaria a 23,2%. No cenário de referência, isto é, nas projeções sem uma mudança de política energética, o gás natural elevaria sua participação para 23%, a eólica ficaria com 7,6% e a solar permaneceria com menos de 2%.

¹¹² Segundo dados do IBGE, os 3 municípios citados: Caetitê, Guanambi e Igarorã são considerados pobres. Como exemplo dessa condição, o PIB de cada um é respectivamente: R\$242.842(2008), R\$663.018(2012), R\$43.331(2008).

¹¹³ Estas informações foram concedidas pela empresa durante as entrevistas concedidas no âmbito desta pesquisa.

eólico Alto Sertão I beneficiou aproximadamente 300 famílias com arrendamento de terras, com média de 800 Reais por mês por aerogerador instalado e gerou 1.300 empregos diretos e indiretos.

Entrevistas realizadas com moradores de Caetité comprovaram os ganhos identificaram pela empresa Renova.

“Antes, muitos jovens saiam daqui em busca de emprego em Salvador. Agora, os jovens ficam na região. Fazemos questão de permanecer no município, porque tem oportunidade aqui. Com energia eólica a gente pode ficar na nossa própria cidade” (Entrevistado 51).

“Antes não tinha nada (...) agora tem estrada, água, restaurantes estão se abrindo, as pessoas têm dinheiro” (Entrevistado 52).

O exemplo do complexo eólico Alto Sertão I revela o potencial da fonte eólica de promover desenvolvimento regional. O Governo da Bahia declarou em entrevista que a energia eólica é considerada como a possibilidade de desenvolver as regiões mais para regiões historicamente marginalizadas.

“Hoje enxergamos a energia eólica como forma de combater a pobreza, acabar com a seca, com a fome (...). Caetité, Igaporã e Guanambi, têm um potencial eólico único mundo (...) temos chance de desenvolver a região” (Entrevistado 18).

Dessa forma, além da geração de empregos ao longo da cadeia produtiva mencionada na seção anterior, a implementação de parques eólicos pode ser uma importante fonte de geração de renda e oportunidade de trazer infraestrutura para regiões menos desenvolvidas.

Contribuição para as capacitações produtivas e científicas do país:

Em relação ao desenvolvimento das capacitações produtivas e científicas, a fonte eólica possui elevado potencial. O desenvolvimento tecnológico do aerogerador está associado a distintas áreas de conhecimentos tais como engenharias, física, química. O avanço nas áreas de conhecimento é fundamental para que o desenvolvimento tecnológico seja alcançado.

Segundo especialista do setor, consultado no âmbito desta pesquisa:

“O desenvolvimento de um aerogerador é muito complexo, se o Brasil investir nisso, seria ótimo (...) ia fortalecer a pesquisa do país. Um projeto de desenvolvimento de um aerogerador voltado aos ventos brasileiros, por exemplo, pode envolver diversos grupos de pesquisa, das mais diferentes aéreas, de engenharia, nanotecnologia, física (...), pode ajudar muito a pesquisa no país, sem dúvida” (Entrevistado 37).

Porém, conforme, o Brasil ainda não explora de forma significativa tal potencialidade. Foram identificados apenas dois projetos que possuem o objetivo de desenvolvimento de um aerogerador voltado aos ventos brasileiros e há pouca articulação entre as capacitações científicas existentes pelo sistema produtivo. Há, porém, perspectivas interessantes frentes às estratégias da empresa Impsa e WEG que visam o desenvolvimento de aerogeradores nacionais voltados aos ventos brasileiros.

Melhor utilização da forte estrutura científica brasileira

Por fim, ressalta se como potencialidade o fato do Brasil possuir uma potencialidade relacionada aos grupos de pesquisa em energia eólica. Há alguns grupos de pesquisa que estão com projetos de se transformarem em pólos de pesquisa. Os grupos entrevistados que tinham este objetivo eram atrelados ao CEMATEC, na Bahia; CT GAS, no Rio Grande do Norte e UFRJ, no Rio de Janeiro. Estes grupos visam como objetivo deter o domínio tecnológico de todas as etapas referentes ao desenvolvimento do aerogerador.

“Nós já temos pesquisadores qualificados, visitamos os maiores centros de P&D do mundo, queremos montar um grande centro de energia eólica aqui dentro.” (Entrevistado 37)

“Ao final do processo queremos nos tornar um centro de certificação, mas ainda falta. Agora precisamos ser a referencia nacional em desenvolvimento eólico” (Entrevistado 36).

Conforme mostrado no capítulo 4, as experiências virtuosas internacionais revelam a importância de desenvolver centros de pesquisa, centros de testes e centros de certificação. Dessa forma, possuir instituições com grupos de pesquisas que estejam se mobilizando a fim de desenvolver centros de pesquisa, de testes e de certificações é um aspecto extremamente positivo que deve se ressaltado.

Ao ser perguntado sobre o nível de importância da criação de um centro de pesquisas para a energia eólica, as respostas variavam entre: ‘importante’ (Vestas, Siemens, Acciona, GE, LM), ‘extremamente importante’ (WEG, Impsa, Tectis, Aeris, Alstom, Wobben). Todos os especialistas e professores entrevistados classificaram como ‘extremamente importante’.

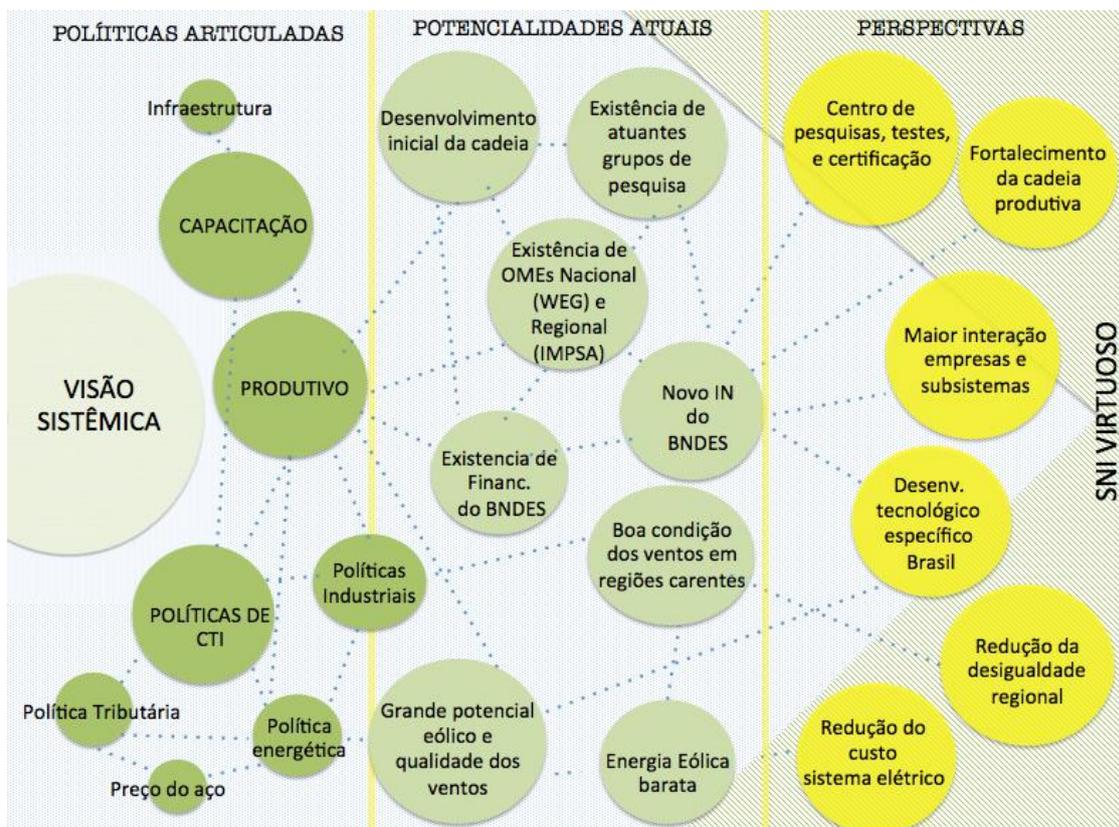
“O Brasil precisa aproveitar o conhecimento que tem, o Brasil tem muita gente boa na área. A criação de um centro de pesquisa para a fonte eólica é a mediada mais importante que o país precisa tomar neste momento. Precisa ter um centro de teste, e no futuro um centro de certificação” (Entrevistado 5).

A figura 40 sintetiza esta seção mostrando as potencialidades do SNI de energia eólica no Brasil. A figura é dividida em três partes. A primeira parte mostra alguns elementos de uma política sistêmica no Brasil. Nesta parte, o alinhamento entre as políticas é ressaltado. Na segunda parte da figura, as principais potencialidades do SNI de energia eólicas do Brasil são listadas. A terceira parte do gráfico mostra o resultado das políticas sistêmicas, ou seja, o SNI de energia eólica é articulado e aproveita as suas potencialidades para gerar inovações virtuosas e desenvolvimento regional.

Nesta figura a política do BNDES se alinha com a política energética e reforça o desenvolvimento da cadeia produtiva; a política energética desenvolve parâmetros de longo prazo e utiliza a fonte eólica para expandir a segurança energética do sistema e reduzir seu custo; a política de CTI apóia o desenvolvimento de centros de pesquisa de energia eólica e centros de testes de aerogeradores a partir de grupos de pesquisa já existentes; a existência de empresas nacionais estimula a busca por inovações específicas ao contexto nacional; e a política regional se percebe a expansão da fonte eólica como promotora de desenvolvimento regional e a utiliza como forma de desenvolver regiões mais carentes.

A figura enfatiza, portanto, as potencialidades do SNI de energia eólica caso as políticas desenvolvam uma visão sistêmica.

Figura 40 - Potencialidades do SNI de Energia Eólica no Brasil – Potencialidades do SNI de Energia Eólica no Brasil



Fonte: Elaboração própria

8.7. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Assim, o capítulo buscou apresentar o SNI em energia eólica, ressaltando as interações entre os subsistemas que o compõe, as suas principais fragilidades e potencialidades.

É possível afirmar que o Brasil possui um SNI de energia eólica possui poucas interações tanto dentro dos subsistemas quanto entre os subsistemas. Isto é, os elos ao longo da cadeia produtiva são fracos, as políticas não se articulam entre si, assim como os grupos de pesquisa.

As políticas indústrias, de mercado e tributária não possuem articulação com as de CTI. Da mesma forma, estas últimas também não se articulam com estratégias de produção e tecnológica, e o que temos são políticas desarticuladas e pontuais que

raramente produzem o esperado. O sistema de capacitação em energia eólica por sua vez não consegue se articular com as fortes capacitações existentes no país, inibindo processos inovativos.

As suas instituições que compõem o SNI de energia eólica no Brasil são desarticuladas e fragmentadas. A falta de infraestrutura e as brigas fiscais entre os Estados demonstram a falta de visão sistêmica do Brasil.

Ao analisar as instituições que compõem o SNI em energia eólica, conclui-se, portanto, que o SNI em eólica é extremamente frágil.

Mas o SNI de energia eólica brasileiro possui potencialidades. Em função de características específicas do país, o sistema eólico tem o potencial de expandir a segurança energética e reduzir os custos do sistema elétrico; promover a geração de empregos ao longo da cadeia produtiva, promover geração de renda e oportunidade de infraestrutura em regiões menos desenvolvidas; e possui potencial de incentivar o desenvolvimento de capacitações produtivas e científicas.

CONCLUSÃO DA TESE

“Tudo já foi dito. Tudo sempre tem que ser dito de novo. Esse fato maciço, por si só, poderia levar ao desespero. A humanidade pareceria surda; e realmente não ouve o essencial.” (Cornelius Castoriadis, em *Via Sem Saída?*)

Esta tese se propôs analisar o desenvolvimento produtivo e tecnológico e os processos inovativos relacionados à energia eólica no Brasil, a partir do referencial teórico neo-schumpeteriano de Sistema Nacional de Inovação. A análise buscou considerar a consistência e articulação entre os elementos que compõe o sistema nacional de inovação de energia eólica brasileiro.

Deve-se inicialmente reconhecer algumas importantes limitações inerentes aos procedimentos metodológicos utilizados na tese. Ao longo da pesquisa de campo (Parte III) foram adotados tanto análise de documentos e de dados secundários, quanto levantamentos de dados primários.

No capítulo 5, os projetos apoiados pela Subvenção Econômica, Fundo Setorial e Programa de P&D da Aneel foram analisados. As análises foram baseadas nas seguintes informações: título, descrição e objetivos do projeto. As análises foram elaboradas em conjunto com dois especialistas da área e depois os resultados foram validados por mais dois professores. Apesar de a análise ter sido acompanhada por especialistas, há sempre possibilidade de que algum projeto possa ter sido classificado de forma incorreta uma vez que não houve acesso aos projetos na íntegra. Ainda em relação ao capítulo 5, o recente programa Inova Energia não foi incluído na análise, pois os resultados da seleção de projetos não tinham sido divulgados quando o capítulo estava sendo escrito.

O capítulo 7 também possui importantes limites metodológicos. Os dados do Diretório de Pesquisa do CNPq foram utilizados para apontar algumas tendências da estrutura científica brasileira em energia eólica. Além das limitações inerentes a base de dados do CNPq, é preciso também reconhecer os limites da análise realizada. Os grupos e linhas de pesquisa foram classificados usando as palavras chave do grupo de pesquisa, a descrição dos objetivos do grupo de pesquisa e das linhas de pesquisa. Foi realizado um esforço de analisar a estrutura científica de forma qualitativa (análise temática, análise das interações e análise regional) uma vez que as informações quantitativas são

demasiadamente limitadas. O número de grupos de pesquisa ou linhas de pesquisa não fornece informação suficiente sobre as capacitações científicas do Brasil. Porém, recomenda-se que entrevistas sejam realizadas com o conjunto de pesquisadores das linhas de pesquisas de energia eólica identificados no âmbito da pesquisa.

A pesquisa se insere no contexto da crise global de 2008 e a emergência de novas trajetórias tecnológicas relacionadas à sustentabilidade. Junto com o debate sobre a crise econômica, a necessidade de intervenção governamental direcionada a viabilizar o desenvolvimento de formas menos danosas ao meio ambiente foram reintroduzidas na agenda de política nos diferentes países. Tais países têm buscado no desenvolvimento tecnológico as soluções à ameaça de mudança climática global. Dentre as tecnologias apoiadas, destacam-se às relacionadas à produção de energia mais limpa, particularmente a fonte eólica.

Deste modo, a primeira motivação da tese é contribuir para o debate acerca da mudança tecnológica e sustentabilidade, a partir da análise dos processos de inovação em energia eólica no Brasil. A segunda motivação desta pesquisa é compreender se o desenvolvimento da energia eólica no Brasil está concatenado com o fortalecimento de capacitações produtivas, tecnológicas e científicas do país. Como apontado, as noções de desenvolvimento econômico e social resultam de mudanças qualitativas e a endogeneização da capacidade de promover inovações tem um papel central nessas transformações.

Nesse contexto, o capítulo 1 procurou apresentar a emergência e evolução das trajetórias tecnológicas ambientais, a partir da concepção de paradigmas e trajetórias tecnológicas. Argumentou-se que estas vêm se consolidando como tecnologias importantes e com possibilidade de modificar as estruturas econômicas e sociais por ocasião da consolidação de um novo paradigma tecno-econômico. O desenvolvimento de capacitações científicas, tecnológicas e produtivas relacionados à sustentabilidade representa uma oportunidade para o País se posicionar de forma virtuosa em um cenário na qual as tecnológicas ambientais sejam centrais. Como apontam Cassiolato e Lastres (2014).

“As nações que, historicamente, se colocaram à frente do processo inovativo tenderam a ser mais dinâmicas e competitivas, obtendo melhor desempenho econômico e maior poder geopolítico (CASSIOLATO, LASTRES, p. 388)”.

Mas o aproveitamento de tais oportunidades está condicionado à atuação do Estado na elaboração e coordenação de políticas de cunho sistêmico que estimulem e

criem as condições necessárias para o desenvolvimento de processos inovativos associado a estas trajetórias tecnológicas que estão emergindo.

Assim, ainda neste capítulo, o conceito de Sistema Nacional de Inovação, em sua abordagem ampla, foi apresentado. A ideia básica desta abordagem é a de que o desempenho inovativo de um país não se restringe somente ao desempenho de empresas e de organizações de ensino e pesquisa, mas também considera a forma como elas interagem e cooperam entre si e com vários outros atores.

Ainda em relação aos elementos conceituais da tese, discutiu-se o papel das ETNs - principais produtoras e equipamentos eólicos no Brasil - dentro do arcabouço dos SNI. A relevância da compreensão das estratégias das ETNs se deve à centralidade destas na economia global e particularmente na fabricação de equipamentos eólicos. A análise foi realizada a partir do entendimento das novas características assumidas ETNs tendo como perspectiva o fortalecimento do processo de globalização dominada pelas finanças.

A segunda parte da tese, compostas pelos capítulos 2, 3 e 4, teve como objetivo apresentar principais características da energia eólica. No capítulo 2 foram definidas as fronteiras da indústria eólica e os atores que a compõem. Definiu-se que, dentro da indústria eólica, a pesquisa teria como foco os fabricantes de aerogeradores, também conhecidos como *Original Equipment Manufacturers* – OEMs.

Os significativos avanços tecnológicos relacionados aos aerogeradores foram examinados, assim como a tendência das OEMs de investir pesadamente em inovações, como forma de diferenciar seus produtos dos demais concorrentes.

Em relação à estrutura produtiva, as OEMs constituem um oligopólio formado por grandes ETNs que, apesar de atuarem de maneira global, têm sua evolução ancorada nos mercados domésticos e em uma vasta gama de políticas governamentais que apoiaram seu desenvolvimento.

Na sequência, o capítulo 3 apresentou, de forma sucinta, os principais instrumentos que os governos utilizaram para apoiar o desenvolvimento da indústria eólica no mundo. As experiências de seis países foram examinadas: Dinamarca, Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Índia e China. As questões relativas às políticas de energia eólica no mundo foram colocadas em perspectiva e ilustraram a importância das políticas públicas como direcionadoras do desenvolvimento da indústria eólica e no estabelecimento de grandes empresas globais.

Ressaltou-se que as experiências virtuosas estão associadas aos Estados que utilizaram uma grande variedade de políticas como, por exemplo, a educacional, a tributária, de CTI e a fiscal, para apoiar o desenvolvimento da indústria eólica. Tais Estados não restringiram suas atuações a uma visão setorial e nem aos instrumentos de criação de mercado. Estas experiências internacionais se contrapõem, portanto, aos receituários dos organismos internacionais, que insistem que os governos devem atuar apenas em política que foquem na criação de mercado eólico, tais como implementação de cotas ou tarifas prêmio para energia eólica.

Adicionalmente, ressaltou-se a importância da coordenação entre as políticas adotadas, que devem atuar alinhadas entre si e conectadas com o contexto sócio institucional do país.

O capítulo 4 buscou compreender o panorama da indústria eólica no mundo. A evolução global da capacidade instalada foi apresentada, enfatizando a rápida expansão desta fonte. Na sequência, discutiu-se o desenvolvimento da energia eólica por países. Optou-se por analisar o mesmo conjunto de países que o capítulo 4. Mais uma vez o impacto da crise internacional foi mencionado como divisor, permitindo a ascensão de novos mercados eólicos.

Foi evidenciado o recente processo de aumento da pressão competitiva da indústria eólica, em função da ascensão das empresas chinesas e redução da rentabilidade nos mercados tradicionais – EUA e Europa. Tais tendências estão impulsionando as OEMs a instalarem unidades produtivas próximas ao mercado consumidor. A vinda das OEMs para o Brasil está inserida neste contexto e associada, portanto, a uma estratégia de produção de redução de custo e busca por novos mercados das OEMs.

A terceira parte da tese analisou a evolução da energia eólica no Brasil, enfatizando a transformação da estrutura produtiva e de C&T, dos processos de inovação e o papel que as políticas têm desempenhado nesta dinâmica. Conforme visto, o desenvolvimento do mercado eólico no Brasil ocorria de forma lenta até 2009, quando o volume de contratação da fonte eólica no País se expandiu significativamente e as principais OEMs passaram a manifestar interesse em instalar subsidiárias no Brasil. Assim, a análise é desenvolvida à luz das oportunidades tecnológicas relacionadas à fonte eólica que surgiram no País em função da crise internacional.

A análise empírica foi dividida em quatro capítulos (5,6, 7 e 8). No capítulo 5, as principais políticas brasileiras de estruturação do mercado, de CTI e industriais voltadas

à fonte eólica foram examinadas. As análises deste conjunto de políticas buscaram, principalmente, verificar a coerência destas com o contexto nacional, assim como o alinhamento entre elas.

O sexto capítulo examinou a estrutura produtiva de equipamentos eólicos no Brasil, buscando compreender a estratégia produtiva e inovativa das principais empresas que compõem a indústria nacional de aerogeradores, analisando também os papéis que as empresas nacionais e transnacionais desempenham nesta estrutura.

Na sequência (capítulo 7), a base científica do país em áreas relacionadas à fonte eólica foi estudada. O objetivo principal era compreender o nível de capacitações científicas brasileiras em áreas dos conhecimentos associadas ao desenvolvimento do aerogerador. Adicionalmente, as interações dos grupos de pesquisa identificados com as unidades produtivas foram examinadas.

O capítulo 8 buscou integrar as análises desenvolvidas nos três capítulos anteriores. A ideia central era examinar as interações entre os atores que compõem o SNI de energia eólica, como forma de avançar na compreensão sistêmica dos processos de inovação associados à fonte eólica. Importantes elementos que compõem o SNI de energia eólica foram inseridos na análise e ao final, potencialidades do SNI de energia eólica brasileiro foram identificadas.

Os resultados da análise empírica evidenciaram inúmeros aspectos acerca da evolução da energia eólica no Brasil. A seguir, os principais são apresentados.

Em relação às políticas de CTI, estas se mostraram descontínuas, pontuais e desarticuladas, tanto com as demais políticas, quanto com o contexto nacional. A estratégia de CTI do país em energia eólica não acompanhou a estratégia produtiva das OEMs e nem os objetivos da política de estruturação de mercado. Conforme mostrado, os projetos financiados pela política de CTI raramente coincidem com os desafios das indústrias eólicas, tampouco há um direcionamento da política de CTI para dar suporte aos objetivos estabelecidos pelas políticas de estruturação de mercado. Mais ainda, apesar de que em nível de discurso as políticas visem à inovação, estas se restringem basicamente a financiamento de P&D. As políticas de estruturação de mercado, industrial e científica parecem competir entre si, com os objetivos de uma se sobrepondo às metas das demais.

Em relação à estrutura produtiva, o Brasil tem atrelado o desenvolvimento de sua estrutura industrial eólica à atração de IDE, tendo as ETNs como atores principais deste processo. As evidências mostraram, contudo, que as OEMs transnacionais que

têm os mercados norte-americano e europeu como seus principais clientes tendem a ser pouco enraizadas, a não estabelecer interação com universidades e institutos de pesquisa locais e a desenvolver esforços poucos inovativos no País. Tais empresas conhecem pouco ou desconhecem totalmente os programas de CTI do governo brasileiro e não julgam relevante projetar um aerogerador específico para o Brasil.

Em contraposição, a empresa argentina Impsa, que tem o Brasil como seu principal mercado, e a brasileira WEG, que no segmento de eólica só atua no Brasil, desenvolvem esforços de inovação no País e tem interesse de desenvolver um aerogerador desenhado para as características nacionais. Estas duas empresas conhecem os programas de CTI do governo e possuem relações com universidades.

O mesmo padrão foi encontrado no segmento de pás, onde há duas empresas brasileiras e uma estrangeira¹¹⁴. A brasileira Tecsis possui uma estratégia convergente com a visão sistêmica de inovação: interage com clientes, fornecedores e universidades, desenha pás específicas para cada tipo de aerogerador e é extremamente inovadora. A Aeris, empresa brasileira nascente, tem interesse em desenvolver uma pá específica para ventos brasileiros e tem interesse em desenvolver interações com grupos de pesquisa. Em contraposição às empresas brasileiras, a empresa dinamarquesa LM oferece alguns modelos globais para determinadas regiões do mundo.

Ademais, as evidências apontaram que a geração de conhecimento associada ao desenvolvimento inovativo das OEMs transnacionais está severamente concentrada nos grandes centros de P&D das firmas localizados nos países desenvolvidos e não há perspectivas de desconcentrar tais atividades. Já a Impsa e a WEG desenvolvem seus esforços inovativos no País e pretendem ampliá-los.

Assim, as evidências acerca das estratégias de produção e inovação das principais empresas do sistema produtivo eólico reiteram que a origem do capital é relevante para definir as estratégias de produção.

Enquanto as ETNs deste setor tendem a tratar a tecnologia como um bem global, a nacional e a empresa argentina enxergam o desenvolvimento tecnológico como específico a cada contexto. Tendo como base a ideia da inovação como uma trajetória cumulativa, orientada para resolver problemas específicos (LUNDVALL, 1998), a ideia

¹¹⁴ Vale lembrar que a Wobben também produz pás eólicas, mas a estratégia de produção da Wobben foi analisada de forma integrada (pá, nacelle e torre). Então, ao analisar as empresas que produzem apenas PA, temos 3 fabricantes (LM, Tecsis e Aeris).

da tecnologia como um bem global pressupõe, erroneamente, que os problemas enfrentados pelos usuários em diferentes localidades sejam também globais.

Os desafios tecnológicos que os aerogeradores no Brasil enfrentam são específicos em função das características particulares dos ventos e do relevo brasileiro. Neste contexto, a estratégia de usar aerogeradores desenhados para ventos europeus e introduzir inovações incrementais apenas no sentido de viabilizar a operacionalização dos equipamentos não é a solução do ponto de vista tecnológico. Estes desenvolvimentos tecnológicos podem ser classificados como inovações insatisfatórias (LUNDVALL, 1988), isto é, processos de inovação dominados por produtores que não levam em conta a percepção dos usuários. Conforme visto, estes aerogeradores possuem diversos componentes que não são necessários aos ventos brasileiros, como por exemplo, dispositivos para controlar o aerogerador perante mudanças de direção do vento. Adicionalmente, as OEMs são obrigadas a realizarem altos investimentos para proteger o equipamento do processo de salinização. Assim, os aerogeradores não foram desenvolvidos levando em consideração as necessidades dos usuários. Lundvall (1988) afirma que há maior probabilidade de ocorrer estas ineficiências quando a cadeia de produção global é dominada por grandes empresas fornecedoras, como é o caso da cadeia produtiva dos aerogeradores. Segundo o autor, o papel dos usuários é indispensável para alcançar inovações satisfatórias.

Baseado em Cassiolato e Lastres (2008), é possível também desenvolver uma análise crítica do uso de aerogeradores desenvolvidos em outra localidade. Segundo os autores, o uso de tecnologia desenvolvida externamente não é suficiente para conduzir um país ao desenvolvimento, pois para que a inovação tenha efeito amplo sobre a economia é necessário haver conhecimento interno suficiente para que essa tecnologia seja interpretada, utilizada, copiada e internalizada.

A importação de modelos tecnológicos pode, então, auxiliar o País a industrializar e crescer, mas sem romper com a estrutura de dependência e dominação que perpetuariam o subdesenvolvimento (FURTADO, 1961; 1974). Para romper com este ciclo, é necessário enfatizar a endogeneização do progresso técnico como fator fundamental do processo de desenvolvimento tornar brasileiro (ERBER, 1979).

De forma similar ao desafio da endogeneização do desenvolvimento tecnológico, Sábato e Mackenzie (1982) enfatizavam a necessidade de construir um "fluxo adequado de tecnologia", como um dos pilares para a estratégia de desenvolvimento nacional. Os autores ressaltavam a diferença entre a adoção da

tecnologia passiva transnacional e a construção ativa de soluções tecnológicas autônomas. Segundo os autores, um “padrão de tecnologia autônoma” é uma das dimensões mais relevantes do desenvolvimento nacional. Mas este padrão não significa excluir as tecnologias estrangeiras.

Na verdade, a noção de um fluxo adequado de tecnologia, refere-se a uma mistura adequada de tecnologias nacionais e estrangeiras, que torne possível a construção das melhores soluções possíveis para os problemas locais. A construção desta “combinação tecnológica adequada” é uma decisão tecnológica, que deve levar em consideração a capacidade produtiva e o conhecimento acumulado de cada país em cada área específica, mas também uma estratégia política.

Neste sentido, é possível compreender as políticas conduzidas pelo BNDES como uma tentativa de estabelecer um “padrão de tecnologia autônoma” para o País. Levando em consideração a capacidade produtiva do País em equipamentos eólicos, o BNDES estabeleceu metas de combinação de tecnologia nacional e estrangeira adequada para a estrutura produtiva brasileira. Assim, é possível classificar o esforço da instituição como um esforço de construir um fluxo adequado de tecnologias eólicas.

Baseado nas ideias de Sábato e Mackenzie (1982), o processo de construção de capacidade tecnológica não significa descartar a tecnologia internacional, mas criar condições, através de instrumentos políticos, para incentivar o agente transnacional para gerar e utilizar as suas capacidades neste processo. Em relação aos equipamentos eólicos, talvez a existência de atores nacionais (Weg, Tecsis e Aeris) auxilie neste processo. Como mostram Zucolotto (2005), para o Brasil, e Cassiolato *et al.* (2013) no caso da China, há maiores possibilidades de que as ETNs realizem esforços de inovação quando estas concorrem nos respectivos mercados empresas nacionais.

De fato, trata-se de um processo complexo. Como foi mostrado, do ponto de estratégia de inovação, as ETNs entrevistadas afirmaram que concentram praticamente todas as atividades na matriz. Até mesmo as adaptações dos aerogeradores às condições nacionais tendem a ser desenvolvidos em centros de P&D da matriz.

Estes resultados reiteram os argumentos de Amsden (2006), que afirma que as atividades de alto valor agregado são mantidas na matriz e quando internacionalizadas, concentram-se em processos de menor sofisticação. Segundo a autora, não é possível realizar P&D de fronteira através de empresas estrangeiras.

A falta de interesse das filiais das ETNs em desenvolver uma estratégia de inovação no País converge com o argumento de Chesnais (1992; 2013) e Cassiolato

(2013). Os autores apontam que o objetivo destas é se apropriar dos diferentes tipos de insumos do processo inovativo de forma a minimizar seus custos. Os autores argumentam que há uma subordinação das atividades de inovação das filiais das ETNs à estratégia central de maximização de valor de curto prazo e uma subordinação das estratégias de inovação aos ditames das finanças.

Segundo Chesnais (2013), os objetivos de política perseguidos pelos governos de países em desenvolvimento, inclusive e particularmente os do Brasil, de atrair IDE e fazer com que o capital estrangeiro seja um dos principais pilares da renovação industrial são bastante ilusórios e, em grande parte, equivocados.

Neste contexto, vale mencionar um aspecto virtuoso da estrutura produtiva em equipamentos eólicos, o sucesso no segmento de pás. Este caso está relacionado à capacitação brasileira acumulada na aeronáutica, setor onde o Brasil tem competitividade mundial com a Embraer, que foi alcançada em função de um conjunto de políticas implementado da década de 1950, que estavam alinhadas a um projeto sistêmico de desenvolvimento nacional.

Outro aspecto positivo se refere à sólida estrutura científica do País. Conforme apontado, desde a década de 1970, o Brasil tem investido fortemente na sua estrutura científica, e a partir de 1979, passou a ter grupos de pesquisa voltados à energia eólica. Atualmente, o País possui estrutura científica relativamente desenvolvida, com alguns grupos desenvolvendo pesquisas de elevada intensidade tecnológica. O desafio, porém, é conectar estrutura científica à produtiva. A falta de interação entre as duas esferas foi identificada no âmbito desta pesquisa, mas esta tendência não se restringe ao SNI de energia eólica. Como apontada por diversos autores (CASSIOLATO *et al.*, 1996; RAPINI 2006), há um baixo aproveitamento pelo setor produtivo do conjunto de oportunidades tecnológicas oferecidas pela infra-estrutura de CTI nacional.

Outro aspecto positivo se refere às perspectivas de consolidação da cadeia produtiva de equipamentos eólicos no País. Apesar da estrutura produtiva em equipamentos eólicos ainda ser fracamente desenvolvida, com poucos elos, já é possível identificar um significativo esforço das OEMs de desenvolver elos que existiam no País e uma maior interação ao longo desta cadeia produtiva, em função da política do BNDES, que alterou a metodologia associada ao financiamento dos empreendimentos eólicos. Esta política, apesar de implícita, foi a que teve a maior influência sobre as estratégias de produção e inovação das OEMs.

Neste contexto, o SNI de energia eólica no Brasil foi caracterizado como frágil em função da desarticulação e fragmentação das instituições que compõem, mas também foram reconhecidas diversas potencialidades associadas a este sistema.

Em função de características específicas do país, o sistema eólico brasileiro tem o potencial de expandir a segurança energética e reduzir os custos do sistema elétrico. Além da geração de empregos ao longo da cadeia produtiva e do potencial de incentivar o desenvolvimento de capacitações produtivas e científicas, o desenvolvimento da fonte eólica é capaz fortalecer o processo de geração de renda e desenvolvimento de infraestrutura em regiões menos desenvolvidas e contribuir para a redução da desigualdade regional do País.

Mas para que estas potencialidades sejam exploradas, é necessário que haja um alinhamento das políticas em torno de um projeto de desenvolvimento sistêmico e contextualizado com as especificidades locais. É, portanto, 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.

Assim, à luz do desenvolvimento de uma visão sistêmica e do alinhamento entre os elementos que compõe o SNI de energia eólica, será possível atrelar a expansão da fonte eólica no País ao fortalecimento das capacitações científicas, tecnológicas e produtivas locais.

Em relação à contribuição da tese para o debate sobre energia eólica, sustentabilidade e mudança tecnológica, alguns pontos podem ser destacados.

Primeiro, é possível identificar a relação entre o desenvolvimento do setor eólico no Brasil e o fortalecimento de um modelo capitalista dominado pelas finanças. A vinda das transnacionais produtoras de aerogeradores estava associada à queda na rentabilidade das OEMs em função da crise mundial. Tais empresas ingressaram no Brasil com o objetivo de reduzir seus estoques de máquinas e equipamentos que se acumulavam.

Neste contexto, a rápida recuperação brasileira frente à crise de 2009 e um conjunto de políticas implementadas no Brasil, tornaram o país atraente para receber os investimentos internacionais. O rápido desenvolvimento do setor eólico no Brasil está,

portanto, relacionado à tentativa das ETNs de manter (e expandir) a alta rentabilidade que tinha ficado comprometida com o colapso financeiro mundial.

O segundo aspecto que vale mencionar é a incompatibilidade entre a atuação das ETNs com um modelo de desenvolvimento sustentável. Conforme visto, as transnacionais tendem a concentrar seus esforços de inovação em suas matrizes, é possível afirmar que o desenvolvimento da energia eólica via transnacional pode ampliar ainda mais a lacuna entre os países, em oposição ao que seria desejado dentro da sustentabilidade econômica. Segundo Cassiolato (2013) as grandes empresas transnacionais industriais tornaram-se, na verdade, centros financeiros com atividades industriais. Mais ainda, as ETNs passam a se caracterizar por um relativo declínio da importância atribuída às atividades de produção, com um aumento associado na importância das atividades financeiras e apropriação de valor dos ativos intangíveis (SERFATI, 2008).

Assim, apesar da energia eólica ser uma fonte associada à sustentabilidade pela não emissão de gases de efeito estufa, o processo pela qual a indústria está se desenvolvendo possui características não sustentáveis. O aprofundamento do capitalismo dominado pelas finanças e o reforço do poder das transnacionais associado ao desenvolvimento da energia eólica, coloca a energia eólica como um elemento que oferece uma sobrevida à manutenção de um modelo insustentável.

Dessa forma, mesmo com a expansão da fonte eólica no Brasil e no mundo, estamos cada vez mais distantes da conformação de um novo paradigma tecnológico calcado na sustentabilidade. De tal modo, o caso eólico denuncia como “soluções verdes” podem não ser sinônimo de um “novo paradigma”, mas sim a manutenção (e fortalecimento) do sistema de acumulação de capital, que é a força motriz da crise ambiental atual, conforme discutido na primeira parte da tese. Deve-se salientar, porém, que não se trata de uma crítica à energia eólica como fonte renovável, mas sim ao processo institucional criado em seu entorno.

Estas conclusões da tese devem ser percebidas tendo em vista alguns importantes limites da avaliação aqui realizadas. Nesta pesquisa, optou-se por analisar os processos de inovação referentes à produção de aerogeradores *onshore* de grande porte. Dessa forma, as trajetórias tecnológicas associadas ao aerogeradores de pequeno porte, relevantes como forma de energia às regiões isoladas e ao aerogerador *offshore*, central com fronteira tecnológica a ser desenvolvida no Brasil, ficaram fora do escopo da pesquisa.

A pesquisa também não analisa em profundidade o impacto da fonte eólica no sistema elétrico brasileiro. Os impactos da inserção dessa fonte de energia na segurança energética ou no preço final dos consumidores, por exemplo, não entraram na análise uma vez que estes impactos não estão dentro do escopo das políticas de inovação em energia eólica, mas das políticas e planejamento concernentes ao setor elétrico. Da mesma forma, importantes processos de inovação referentes ao sistema elétrico também não foram analisados. A expansão da fonte eólica para níveis acima de 10% da matriz brasileira requer, por exemplo, importantes desenvolvimentos tecnológicos no sistema elétrico. Apesar de essenciais, estas análises fugiam ao escopo da pesquisa.

Ademais, as entrevistas com as OEMs apontaram como uma das barreiras à expansão da fonte eólica a falta de planejamento do setor elétrico. Perguntas sobre o impacto da instabilidade da demanda por energia elétrica foram incluídas nas entrevistas com especialistas e os resultados apresentados. Porém, as agências responsáveis pelo planejamento energético (EPE, MME) e a agência reguladora de energia (Aneel) não estavam inicialmente no escopo da pesquisa de campo. Uma possibilidade interessante (e essencial) de trabalho futuro é confrontar os resultados encontrados nesta pesquisa que refletem a visão da indústria com as do planejamento energético.

Da mesma forma, a visão das concessionárias de energia não foi inserida na análise. A opção pelo foco inicial ser as fabricantes de equipamentos, restringiu a análise. Mas sem dúvida, trata-se de uma importante extensão do trabalho.

Em relação às análises das políticas, optou-se por analisar o conjunto de políticas mais relevantes com mais profundidade e outras de forma mais sucinta. No primeiro conjunto incluiu-se as políticas de estruturação de mercado (PROINFA e modelo de leilões), as industriais (política de financiamento e exigência de conteúdo local) e as de CTI (Subvenção Econômica, Fundo Setorial e Programa de P&D da Aneel). No segundo grupo estão importantes políticas como as tributárias, a de desenvolvimento regional, as educacionais e as macroeconômicas. Apesar da pesquisa de campo ter levantado uma quantidade significativa de informações sobre estas políticas, fugia ao escopo inicial da pesquisa analisá-las em profundidade. Dessa forma, há perspectivas de estender a pesquisa e analisar tais elementos com mais detalhes.

Os aspectos relacionados ao desenvolvimento regional merecem uma análise à parte. Uma extensa coleta de dados acerca dos efeitos de distribuição de renda e de desenvolvimento de infraestrutura em localidades pouco desenvolvidas em função da implementação dos parques foram coletadas, e serão a base para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ABDI. “Relatório competitividade do setor de bens e serviços ambientais”. *Relatório de Acompanhamento Setorial*. 220 p., 2012.
- ABEEÓLICA. Comunicação Oral, 2011
- ACORE “Renewable energy in America: markets, economic development and policy in the 50 States”. *American Council on Renewable Energy*, 2011.
- ACORE Washing, DC, Acessado 12 em dezembro de 2013. Disponível em: www.acore.org/files/pdfs/states/reamerica_mar11.pdf.
- ADAMEK, A. “A Brief history of wind power development in Canada 1960s-1990s”. *Collection Assessment on Wind Energy*. Natural Resources and Industrial Design, Unpublished: Canada Science and Technology Museum, 2009.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. “Technology Roadmap: Wind energy 2013. Disponível em: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Wind_2013_Roadmap.pdf.
- AGNOLUCCI, P. “Wind electricity in Denmark: a survey of policies, their effectiveness and factors motivating their introduction”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (5), p. 951-963, 2007.
- ALVIM FILHO, A. C. *Aspectos tecnológicos das fontes de energia renováveis (Biomassa)*. Apresentação. Cartagena de Indias, Colombia, 2009.
- ANANDÓN, L. “Missions-oriented RD&D institutions in energy between 2000 and 2010: A comparative analysis of China, the United Kingdom, and the United States.” *Research Policy*, 2012.
- ANEEL “Energia Eólica”. *Atlas de Energia Elétrica no Brasil*. Acessado em 02 de janeiro de 2014. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf), 2006.
- ANEEL *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed.–II. Brasília: Aneel, 236 p., 2008.
- ANEEL *Guia do avaliador de projetos de P&D: Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica*. Brasília: ANEEL, 2010.
- ANEEL *Resumo Geral dos Novos Empreendimentos de Geração, Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração – SFG*, Versão abril de 2012. Acessado em abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=37.>, 2012.

- ANEEL “Banco de Informações de Geração”. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em 16 abr de 2012., 2012a.
- ANEEL “Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica”. Acessado em 06 janeiro de 2012. Disponível em http://www.ANEEL.gov.br/arquivos/PDF/Manual-PeD_REN-504-2012.pdf, 2012b.
- ANEEL “Revista de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL”. Acessado em 06 jan 2013a., Disponível em <http://www.ANEEL.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Revista%20P&D_05.pdf>, 2013a.
- ANEEL “Chamada nº 017/2013”. Acesso em 06 janeiro. Disponível em <<http://www.ANEEL.gov.br/arquivos/PDF/PD%20Estrat%C3%A9gico%20017-2013.pdf>>. 2013b, 2013.
- ANEEL “Informações Gerenciais”. Acessado em 06 janeiro de 2013. Disponível em http://www.ANEEL.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Set_2013_v5.pdf. 2013c.
- ANEEL “P&D Estratégico em energia eólica recebe cinco propostas com investimento de R\$ 250 milhões”. Acessado em 06 janeiro. Disponível em http://www.ANEEL.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=7391&id_area=90, 2013d.
- ARCHIBUGI, D., MICHIE, J. (Eds) *Technology, Globalisation and Economic Performance*. Cambridge University Press, 1997.
- ASHEIN, B., ISAKSEN, A. “Regional Innovation Systems: the integration of local ‘sticky’ and global ‘ubiquitous’ knowledge”. *Journal of Technology Transfer* 27, p. 77-86, 2002.
- AWEA American Wind Energy Association “The Reality of U.S. Energy Incentives”. Disponível em: www.awea.org/learnabout/publications/upload/Subsidies-Factsheet-May-2011.pdf, 2011.
- AWEA Database, AWEA 08/2013. Disponível em <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-6356e.pdf>, 2013.
- BERGEK, A., HEKKERT, M., JACOBSSON, S. “A framework for analyzing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers”, *RIDE/IMIT Working Paper*, 84426-008, 2007. Acessado em 10 junho de 2012, 6/2012. Disponível em: http://imit.se/pdf/reports/2007_153.pdf, 2007.
- BIANCHI, C. “Grupos de pesquisa em biotecnologia moderna no Brasil: uma revisão sobre os fundamentos da política de CTI”. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Disponível em: <http://www.revistacts.net>, 2011.

- BIRDA L., BOLINGERB M., GAGLIANOC T., WISERB T., BROWN M., PARSONSA B. “Policies and market factors driving wind power development in the United States”. *Energy Policy* (33), 2005.
- BLANCO, M. I. “The economics of wind energy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, p.1372–1382, 2009.
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz Und Reaktorsicherheit “Cornerstones of the EEG amendment and other innovations for renewable energy”. Disponível em: www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/doc/47469.php#3. 2011a.
- BMU “The Energy Concept and its accelerated implementation”. Disponível em: www.bmu.de/english/transformation_of_the_energy_system/resolutions_and_measures/doc/48054.php, 2011b.
- BNDES *Relatório de Política*. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/credenciamento_aerogeradores_metodologia.pdf, 2010e.
- BNEF Bloomberg New Energy Finance “Bloomberg New Energy Finance names top deal-makers of 2011”, *BNEF*, <http://bnef.com/PressReleases/view/182>, 2012.
- BOCCARD, N. “Capacity factor of wind power realized values vs. estimates”. *Energy Policy*, 3, p. 2679–2688, 2009.
- BOLINGER, M. “Community wind power ownership schemes in Europe and their Relevance to the United States”, Environmental Energy Technologies Division. *Lawrence Berkeley National Laboratory, California*, 2001.
- BOLON, M., DES ROSIER, F., COBOS, P. G. C., KUKRIKA, N. “The Spanish Wind Power Cluster”. *Final Report*. Harvard Business Scholl, Boston, Massachusetts, May 4, 2007. Acessado em: 20 de Outubro de 2012. Disponível em: <http://www.isc.hbs.edu/pdf/Student_Projects/Spain_WindPowerCluster_2007.pdf>, 2007.
- BOTTA, E. “Green Growth: A case study on the Danish and chinese sectoral innovation systems”. *Working Paper* (53). IEFE. February 2013. Acessado em 02 de maio de 2013. Disponível em <ftp://itunesu.unibocconi.it/pub/RePEc/bcu/papers/iefewp53.pdf>, 2013.
- BRACZYK, H. J.; COOKE, P.; HEIDENREICH, M. *Regional innovation systems: the role of governances in a globalized world*. London: Bristol, PA.: UCL Press, 1998.
- BRESCHI, S.; MALERBA, F. “Sectoral innovations systems: technological regimes, schumpeterian dynamics, and spatial boundaries”. In: Edquist, C. (org.) *Technologies, Institutos and Organizations*. Londres: 1997.

- BTM CONSULT *International Wind Energy Development, World Market Update 2003*, BTM Consult Aps, 2004.
- BTM Consult. “The international wind energy development world market update 2006: Forecast for 2007-2011”. The World's #1 Renewable Energy Network for News, *Information & Companies*. BTM Consult Aps, 2007.
- BUTLER, L., NEUHOFF, K. “Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development”. *Energy Policy*, 33, p. 1854–1867, 2008.
- BUEN, J. “Danish and Norwegian wind industry: The relationship between policy instruments, innovation and diffusion”. *Energy Policy* 34, p. 3887-3897, 2006.
- BUTLER L., NEUHOFF K. “Comparison of feed in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development”. *CMI Working Paper*, 70. Cambridge –MIT, 2004.
- CASSIOLATO, J. E. “Notas Preliminares sobre Sistemas de Inovação e Cooperação”. *Versão para Discussão, IE/UFRJ*. Rio de Janeiro, 2003.
- CASSIOLATO, J. E. “Empresas transnacionais e o desenvolvimento tecnológico brasileiro: Uma introdução ao artigo”. Present International Patterns of Foreign Direct Investment: Underlying causes and some policy implications for Brasil. *Revista Economia Contemporânea*, 17, (3), p. 365-422, set-dez/2013. Rio de Janeiro, 2013.
- CASSIOLATO, J. E., ERBER, F. S. “Política industrial: teoria e pratica no Brasil e OCDE”. *Revista de Economia Política*, 17, (2), p. 33-60. São Paulo, 1997.
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. “Globalização e os sistemas de inovação no Mercosul nos anos 90: implicações para políticas”. In: Guimarães, N. A., Martin, S. (Org.) *Competitividade e desenvolvimento: atores e instituições locais*. São Paulo: SENAC, 2001.
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. “Sistemas de Inovação e Desenvolvimento - as implicações de política”. *São Paulo em Perspectiva*, 19, (1), p. 34–45, 2005.
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. “Innovation Systems and Local Productive Arrangements: new strategies to promote the generation, acquisition and diffusion of knowledge”. *Innovation: Management, Policy and Practice*, 7, p. 172-187, 2005.
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. “Discussing innovation and development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective?”. *Globelics Working Papers Series*, 2008, Working Paper 08-02, 2008.
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. “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 Fabio Erber*. 1ed. Rio de Janeiro: BNDES, v. 1, p. 379-418, 2014.

CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M., MACIEL, M. L. *Systems of innovation and development: Evidence from Brazil*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, p. 643, 2003.

CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M., SOARES, M. C. C. Sistema Nacional de Inovação de Brasil: Desafios para a sustentabilidade y el desarrollo incluyente. In: Dutrénit, G., Sutz, J. (Org.) *Sistemas de Inovação para un Desarrollo Inclusivo. La experiencia latinoamericana*. 1ed., 1. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. 2013, p. 7-381, 2013.

CASSIOLATO, J. E., SOARES, M. C. C. (Orgs.). *BRICS National Systems of Innovation*. 1. ed. Abingdon, Reino Unido: Routledge, 2013. v. 5. 332p.

CASSIOLATO, J. E., VITORINO, V. (Eds.) *BRICS and development alternatives: innovation systems and policies*. London: Anthem Press, 2009.

CASSIOLATO, J. E. et al. "Local Systems of Innovation in Brazil, Development and Transnational Corporations: a Preliminary Assessment Based on Empirical Results of a Research Project Druid's Nelson and Winter". *Conference in Aalborg*, v.1. Dinamarca, Aalborg. Disponível em: <http://www.business.auc.dk/druid/conferences>, 2001.

CASSIOLATO, J. E. et al. Arranjos Cooperativos e Inovação na Indústria Brasileira. In: De Negri, J. A.; Salerno, M. S. (Org.). *Inovações, Padrões Tecnológicos e Desempenho das Firmas Industriais Brasileiras*. Brasília: IPEA, 2005.

CASSIOLATO, J. E. et al "Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos Locais em atividades culturais e políticas para sua promoção". In: Cassiolato, J. E., Matos, M. P., Lastres, H. M. M.. (Org.). *Arranjos Produtivos Locais. Uma alternativa para o desenvolvimento. Criatividade e Cultura*. 01ed. Rio de Janeiro - RJ: E-papers Serviços Editoriais Ltda., 2008, v. 01, p. 19-51.

CASSIOLATO, J. E. et al. "Sistema Nacional de Inovação de Brasil: Desafios para la sustentabilidad y el desarrollo incluyente". In: Dutrénit, G., Sutz, J. (Org.). *Sistemas de Inovação para un Desarrollo Inclusivo. La experiencia latinoamericana*. 1ed, 1. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC., p. 7-381, 2013.

CASSIOLATO, J. E. et al. *Centro de Altos Estudos Brasil Século XXI*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. Brasília – DF. 2014

CAMILLO 2013 apud IEA 1998, pg. XXX).

CAMILLO, E. V. *As políticas de inovação da indústria de energia eólica: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais*. (Tese de

Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas- Unicamp, Brasil. 194 p., 2013.

CAMPBELL, R. J. “Electricity Markets-Recent Issues in Market Structure and Energy Trading”. *CRS Report* R43093, 2013.

CARDINAL M., MILLER N. “Grid friendly wind plant controls: WindCONTROL™ – Field Test Results”. GE Energy. *WindPower*, June 6, 2. Pittsburgh, 2006.

CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. CEPEL, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

CHERNI, J. A., KENTISH, J. “Renewable energy policy and electricity market reforms in China”. *Energy Policy* 35, p. 3616-3629, 2007.

CHESNAIS, F. “Uma interpretação sobre a situação econômica mundial seguida por considerações sobre a crise do meio ambiente vista do ponto de vista da “sociedade mundial”. In: *Políticas estratégicas de inovação e mudança estrutural* (No prelo).

CHESNAIS, F. *An Interpretation of the world economic situation followed by remarks on the environmental crisis viewed from the standpoint of ‘world society’*. Disponível em: http://www.redesist.ie.ufrj.br/p8/semi/sld_pdf/d13/SP%201/Chesnais.pdf, 2013.

CLIMATE CHANGE BUSINESS JOURNAL. “Wind Energy Markets in 2008”. 1n 8/9. Acessado em 15 de março de 2013 http://www.trcsolutions.com/NewsRoom/Articles/Documents/Climate%20Change%20Business%20Journal_Aug_Sept08.pdf, 2008.

CNI Confederação Nacional da Indústria. *Energia Eólica: Panorama Mundial e Perspectivas no Panorama Mundial e Perspectivas no Brasil*. Brasília: p. 1-34, 2009.

CONNOR, P. “National innovation, industrial policy and renewable energy technology”. *Proceedings of the 2003 Conference on Government Intervention in Energy Markets*, St. Johns College, Oxford University, Oxford, UK, September, p. 25–26, 2003.

COOKE, P. “Regional Innovations Systems, Clusters, and the Knowledge Economy”. *Industrial and Corporate Change* 10 (4), p. 945-974, 2001.

COOKE, P. et al. “Regional Systems of Innovation: institutional and organizational dimensions”. *Research Policy*, 26 (1), p.475-491, 1997.

COSTA, C. V. *Políticas de promoção de fontes novas e renováveis para geração de energia elétrica: lições da experiência europeia para o caso brasileiro*. (Tese Doutorado) COPPE/UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. p. 249, 2006.

- COSTA, R.A et al. “Um Panorama da Indústria de Bens de Capital Relacionados à Energia Eólica”. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, (29), p. 229-278, 2009.
- COUTURE, T., GAGNON, Y. J. “An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment”. *Energy Polic. C Irving Chair in Sustainable Development*, Université de Moncton, Moncton, NB, Canada 131 A 3139, 2010.
- COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. “Council Directive of 27 June 1985 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (85/337/EEC)”. *Official Journal of the European Communities, L 175/40*. Acessado em 02 maio. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1985:175:0040:0048:EN:PDF, 1985>.
- COUTINHO, L. “Macroeconomic regimes and business strategies: an alternative industrial policy for Brazil in the wake of the 21st century”. In: Cassiolato, J. E., Lastres, H. M. M., Maciel, M. L (Orgs.). *Systems of Innovation and Development-Evidence from Brazil*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2003.
- COUTINHO, L. “Marcos e desafios de uma política industrial contemporânea. In: BNDES” (Org.) *Política industrial: desenvolvimento em debate*. Rio de Janeiro: BNDES, p. 191-209, 2002.
- CZERESNIA, A. C. *Política de inovação brasileira: análise dos novos instrumentos operados pela FINEP*. (Tese de Doutorado) Instituto de Economia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. p. 246, 2013.
- CHUDNOVSKY, D., López, A. “Inversión extranjera directa y desarrollo: la experiencia del MERCOSUR”. *Revista de la CEPAL*, (92), 2007.
- DAVID, A. S. “Impact of Wind Energy Installations on Domestic Manufacturing and Trade”. *Office of Industries U.S. International Trade Commission*. Acessado em 10 de dezembro de 2013. Disponível em: http://www.usitc.gov/publications/332/working_papers/ID-25.pdf, 2010.
- D’OLIVEIRA, L. A. S. “O BNDES e a Energia Eólica. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico”. Rio de Janeiro, Setembro de 2011.
- DOSI, G. “Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technological change”. *Research. Policy*, II, (3), June, 1982.
- DOSI, G. “Sources, procedures and microeconomic effects of innovation”. *Journal of Economic Literature*, 26, (3), September 1988.
- DINICA, V. “Initiating a sustained diffusion of wind power: The role of public – private partnerships in Spain”. *Energy Policy* 36, p. 3562-3571, 2008.

- DUTRA, R. M. *Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA* - Rio de Janeiro. (Tese de Doutorado) COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. 415 p. 2007.
- DUTRA, R. (Org.). *Energia Eólica: Princípios e Tecnologias, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CEPTEL*, Rio de Janeiro, 2008. Acesso em: 29 de mar de 2010. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>, 2008.
- DUTRA, R. M., SZKLO, A. S. “Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation”, *Renewable Energy* 33, p. 65-76, 2008.
- EARTH POLICY INSTITUTE. *Cumulative Installed Wind Power Capacity in Top Ten Countries and the World, 1980-2013*. Disponível em: http://www.earthpolicy.org/datacenter/xls/indicator10_2014_2.xlsx, 2014.
- EDQUIST, C. *Systems of innovation: technologies, institutions, and organizations*. Londres: Pinter, 1997.
- EDQUIST, C. “Innovation policy - a systemic approach”. In: ARCHIBUGI, D.; LUNDEVALL, B. A. (Eds.) *The Globalizing Learning Economy*. Oxford University Press, 2001.
- EDQUIST, C. “Final remarks: Reflections on the systems of innovation approach”. *Science and Public Policy*, 36 (6), p. 485-489, 2004.
- EDQUIST, C. *Systems of Innovation: Perspectives and Challenges*. In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. e NELSON, R. R. (Eds.) *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press, 2006.
- EIA “Policies to Promote Non-hydro Renewable Energy in the United States and Selected Countries”, Report prepared by *Energy Information Administration*, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels United States Department of Energy, Washington, DC, February 2005. Acessado em 12 de dezembro de 2013. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>, 2005.
- EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - *Ministério de Minas e Energia – MME / Balanço Energético Nacional*, 2008.
- EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. Empresa de Pesquisa Energética*. Disponível em: <http://epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>, 2011.
- EPACT. “Energy Policy Act of 2002”, *Public Law*,. December 12, 2002. Acessado em 12 de dezembro de 2013. Disponível em: <http://www.nrdc.org/air/energy/taskforce/pdf/310.pdf>, p. 107-355, 2002.

- ERBER, F. “Escolha de tecnologias, preços dos fatores de produção e dependência – uma contribuição ao debate”. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, 2, (1), 1972.
- ERBER, F. *Intervenção do Estado e o desenvolvimento tecnológico-padrão dos países capitalistas centrais*. (Texto para discussão). Rio de Janeiro: Instituto de Economia Industrial da UFRJ, p. 20, 1983.
- ERBER, F. 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, PP. 9-42, 1992.
- ERBER, F. “Infra-estrutura e desenvolvimento”. In: Alquieres, J. L. (Org.). *Infra-estrutura de energia e transportes: um desafio para o Brasil*. São Paulo: Alstom Brasil, p. 175-178, 2005.
- EWEA “Wind Direction Magazine: Focus on Supply Chain, European Wind Energy Association”. Disponível em: <http://www.ewea.org>. Acessado em 29 de Setembro de 2008. Jan-Fev, 2007.
- EWEA, “The Economics of Wind Energy”, In: Krohn, S., Morthorst, P-E., Awerbuch, S. *European Wind Energy Association*. Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.ewea.org>. Acesso em 19 de Outubro de 2010, 2009a.
- FINANCIAL TIME “China lidera investimentos em energia renovável e se torna mais atrativa do que EUA e países europeus; eólica é destaque”. Acessado em 02 de maio de 2013. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/recortes/china-lidera-investimentos-em-energia-renovavel-e-se-torna-mais-atrativa-do-que-eua-e-paises-europeus-eolica-e-destaque,2010>.
- FINEP. “Seleção Pública MCT/FINEP, Subvenção Econômica à Inovação – 01/2007”. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2007.
- FINEP. “Seleção Pública MCT/FINEP/FNDCT”. Subvenção Econômica à Inovação – 01/2009.
- FINEP. “Relatório de Avaliação do Programa de Subvenção Econômica” - 2º Seminário - Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), 2010.
- FINON, D. et al. “Price-based versus quantity-based approaches for stimulating the development of renewable electricity: new insights in an old debate”. *IAEE International Conference*, Aberdeen, Scotland, 26-29 June. Available <http://www.iaee.org/documents/a02lamy.pdf>, 2002.
- FOXON, T. J., PEARSON, P. J. G. “Towards improved policy process for promoting innovation in renewable electricity technologies in the UK”. *Energy Policy* 35, 1539-1550, 2007.

- FOXON, T. J., GROSS, R., CHASE, A., HOWES, J., AMALL, A., ANDERSON, D. “UK Innovation Systems for New and Renewable Energy Technologies: Drivers, Barriers and Systems Failures”. *Energy Policy* 33, p. 2123-2137, 2005.
- FREEMAN, C. “Technological infrastructure and international competitiveness”. *Draft paper submitted to the OECD ad hoc group on science, technology and competitiveness*. Paris: OCDE, 1982.
- FREEMAN, C. *The Economics of industrial innovation*. London: Frances Pinter, 1982.
- FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance: lessons from Japan*. London: Frances Pinter, 1987.
- FREEMAN, C. “Japan: a new National System of Innovation?”. In: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. and Soete, L. (Eds.), *Technical change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, p. 349–69, 1988.
- FREEMAN, C., LOUÇÃ, F. *As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- FRONDEL, M. et al. Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience. *Energy Policy*, 38, (8), p. 4048-4056, August 2010.
- GAN, L., ESKELAND, G. S., KOLSHUS, H. H. “Green electricity market development: Lessons from Europe and the US”, *Energy Policy* 35, p. 144-155, 2007.
- GIANNINI M., DUTRA R. M., GUEDES V. G., *Estudo Prospectivo do Mercado de Energia Eólica de Pequeno Porte no Brasil*. CEPEL. Brazil Windpower 2013 Conference and Exhibition. 2013.
- GIBBONS, M., JOHNSTON, R. “The roles of science in technological innovation”, *Research Policy*, 3 (3), 220-42, 1974.
- GIELECKI, M., MAYES, F., PRETE, L. “Incentives, Mandates, and Government Programs for Promoting Renewable Energy in Renewable Energy Issues and Trends 2000”. *Energy Information Administration*, DOE/EIA-0628 (2000), February, 2001.
- GIGA German Institute of Global and Area Studies, “Institute of Asian Studies in cooperation with the National Institute of Chinese Studies”, White Rose East Asia Centre at the Universities of Leeds and Sheffield and Hamburg University Press. *The Journal of Current Chinese Affairs*, Open Access publication, 2010.
- GONZALÉS, R. P. “Ten years of renewable electricity policies in Spain: An analysis of successive feed-in tariff reforms”. *Energy Policy* 36, p. 2917– 2929, 2008.

- GOULART, J., MANDL, C. “Elétricas têm de investir R\$ 2 bi em P&D e eficiência até dezembro”. *Valor Econômico*. Acessado em 21 de julho de 2010. Rio de Janeiro, 2010.
- GREEN GROWTH. “A Case Study on the Danish and Chinese Sectoral Innovation Systems”. *Working Paper* (53). IEFÉ. February 2013. Acessado em: 02 de maio de 2013. Disponível em: <ftp://itunesu.unibocconi.it/pub/RePEc/bcu/papers/iefewp53.pdf>, 2013.
- Greenpeace, Denmark 2012, pg XXX).
- GUTTMANN, R. “Uma introdução ao capitalismo dirigido pelas finanças”. *Novos Estudos*, 82, 2008.
- GWEC Global Wind Energy Council. “Annual Market Update 2010”, *Global Wind Report*. GWEC, Brussels, 2010.
- GWEC Global Wind Energy Council. “Analysis of the regulatory framework in Brazil”, *Summary Report*, p. 1- 46, 2011.
- GWEC Global Wind Energy Council. *Global Wind Report Annual Market Update 2010*. Abril, 2011.
- GWEC Global Wind Energy Council. “Analysis of the regulatory framework in Brazil”, *Summary Repor*, p. 1- 46, 2011.
- GWEC/ABEEÓLICA. “Analysis of the regulatory framework for wind power generation in Brazil”, *Summary Report, Global Energy Wind Council/Associação Brasileira de Energia Eólica*, Brussels, Belgium, São Paulo, Brazil. Acesso em: 20 de dezembro de 2011. Disponível em: http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Brazil_report_2011.pdf. Acesso em: 20 de dezembro de 2011, 2011.
- GWEC Global Wind Energy Council. “China Wind Energy Outlook 2012”. Disponível em: www.gwec.net/publications/country-reports/china-wind-energy-outlook-2012/, 2012.
- GWEC Global Wind Energy Council. *Scenario Gwec, Greenpeace International, DLR, Ecofys and The University of Utrecht*, 2012.
- GWEC Global Wind Energy Council. “Global Wind Report: Annual Market Update 2011”, Disponível em: http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2011_lowres.pdf. March 2011.
- GWEC Global Wind Energy Council. “Global Wind Report: Annual Market Update 2013”. April 2014.
- GWEC/WISE/IWTMA. “Indian Wind Energy Outlook 2011”, *Global Wind Energy Council/World Institute of Sustainable Energy/Indian Wind Turbine*

Manufacturing Association, Brussels- Belgium, Pune e Chennai, India, Acessado em 02 de Novembro de 2012. Disponível em: www.gwec.net, 2011.

- HARBONE, P., HENDRY, C. “Pathways to commercial wind power in the US, Europe and Japan: The role of demonstration projects and field trials in the innovation process”. *Energy Policy* 37, p. 3580–3595, 2009.
- HARVEY, D. “The enigma of the capital and the crisis this time”, Paper Prepared for the American Sociological Association Meeting in Atlanta. August, 2010.
- HAUGEN. K. M. B. “International Review of Policies and Recommendations for Wind Turbine Setbacks from Residences: Setbacks, Noise, Shadow Flicker, and Other Concerns Minnesota Department of Commerce: Energy Facility Permitting”. *International Wind Energy Policies*. Acessado em 01 de maio de 2014. Disponível em : http://mn.gov/commerce/energyfacilities/documents/International_Review_of_Wind_Policies_and_Recommendations.pdf, 2011.
- HE, Y., CHEN, X. “Wind turbine generator systems – The supply chain in China: Status and problems”. *Renewable Energy* 34, p. 2892–2897, 2009.
- HERRERA, A. O. *América Latina ciencia y tecnología en el desarrollo de la sociedad*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1970.
- HERRERA, A. “Los determinantes sociales de la política científica en América Latina. Política científica explícita y política científica implícita”. *Redes* 2, (5), p. 117-131, 1971.
- HEYMANN, M. “Signs of hubris – The shaping of wind technology styles in Germany, Denmark and the United States 1940-1990”. *Technology and Culture*, 39 (4), p. 641-670, 1998.
- HILLEBRAND et al. The expansion of renewable energies and employment effects in Germany. *Energy Policy*, 34, p. 3484-3494, 2006.
- HINDSIGH PROJECT. “Office of the director of defense research and Engineering”. *Online, Information for the defense community*. Washington Dc, 1969.
- HOPKINS, M., LAZZONICK, W. “The Makings of a Champion or, Wind Innovation for Sale: The Wind Industry in the United States 1980-2011”. *Institute for New Economic Thinking Annual 2011 Conference*, April 2012.
- HOPKINS, M., LAZZONICK, W. “Soaking Up the Sun and Blowing in the Wind: Clean Tech Needs Patient Capital University of Massachusetts Lowell”. *The Academic Industry Research Network*, Disponível em: <http://fiid.org/wp-content/uploads/2012/11/Hopkins-Lazonick-Clean-Tech-20121129.pdf>, 2012.
- HVELPLUND, F. *Renewable Energy Governance Systems, Institute for Development and Planning*, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2001. Acessado em 20 de março de 2013. Disponível em:

<http://www.i4.auc.dk/environmentalmanagement/Institutions%20and%20Organisations/Renewable%20Energy.pdf>.

IDEA. “Plan de Energías Renovables 2005-2010”. *Renewable Energy Action Plan 2005-2010*, IDAE, Madrid, 2005.

IDEA. “Spain’s National Renewable Energy”, *Action Plan 2011-2020*. IDAE, Madrid, 2010.

IDAE “Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía”, *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*, IDAE, Madrid, 1999.

IEA International Energy Agency. “Enhancing the market deployment of energy technology: a survey of eight technologies”, *OCDE/ International Energy Agency*, Paris, France, 1998.

IEA International Energy Agency. “Understanding Energy Challenges in India: Policies, Players and Issues”. Acessado em 12 de dezembro de 2013. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/India_study_FINAL_WEB.pdf, 2012.

IEA International Energy Agency. “Policies and Measures Databases: Addressing Climate Change”. Disponível em: www.iea.org/policiesandmeasures/climatechange/, 2012.

IEA International Energy Agency. *Technology Roadmap: China Wind Energy Development Roadmap 2050*, OCDE/ International Energy Agency. Paris, France, 2010.

IEA, International Energy Agency, *Policies and Measures Databases: Addressing Climate Change*. Disponível em: www.iea.org/policiesandmeasures/climatechange/, 2012.

IEA International Energy Agency. “Energy Policies of IEA Countries – Unites State” *Review*, Paris: International Energy Agency. Acessado em 10 de fevereiro de 2013. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/us2007.pdf>, 2007.

IEA International Energy Agency. “Technology Roadmap: Wind Energy - 2013 edition”. Paris: International Energy Agency. Acessado 02 de maio de 2014, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,43771,en.html>, 2013.

IMPSA Corporate presentation. Acessado em 10 de dezembro 2013, <http://www.impsa.com/es/ipo/Corporate%20Presentation/Presentaci%C3%B3n%20Corporativa.pdf>, 2014.

INDUSTRIAL SECURITIES “Market Share of New Installed Wind Energy Capacities in China, 2012-2013.” *Industrial Securities*, 2013.

- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. “Working Group III” – Mitigation of Climate Change”. *Energy*. Acessado em 05 de abril de 2014.
- IPEA “Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro: uma avaliação do programa de P&D regulado pela ANEEL”, *Comunicados IPEA* (152). Acessado em 17 janeiro. Disponível em: http://desafios2.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/120703_comunicadoipea0152.pdf, 2012.
- IRENA “Renewable energy technologies: cost analysis series”. Acessado em 2 de junho, 2012”. Disponível em: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf.
- IRENA “Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series”, *Irena Working Paper* 1, Power Sector, Issue 5.5, International Renewable Energy Agency, 2011. Disponível em: <http://www.irena.org>. Acessado em: 14 de outubro, 2012.
- IRENA “30 Years of policies for wind energy”. *Lessons from 12 Wind Energy Markets. International Renewable Energy Agency*, 2012.
- IWES Annual Report 2012/2013. “Fraunhofer institute for wind energy and energy system technology IWES”. Acessado em 01 de fevereiro de 2014. Disponível em: http://www.iwes.fraunhofer.de/content/dam/iwes/en/documents/2012_2013_IWE_S_Annual%20Report_web.pdf, 2013.
- JACOBSSONA S., LAUBERB, V. “The politics and policy of energy system transformation – explaining the German diffusion of renewable energy technology”. *Energy Policy*, 34/3, 2006.
- JOHNSON, B. (Ed.). *Institutional Learning - in National Systems of Innovation: towards a theory of Innovation and interactive learning*. London: Pinter Publishers, 1992.
- JOHNSON A., JACOBSSON S. “The emergence of a growth industry - a comparative analysis of the German, Dutch and Swedish wind turbine industries”. Paper to be presented at *The 8th Joseph A. Schumpeter Society Conference*. Change, Development and Transformation, to be held at the University of Manchester, UK 28th June to 1st of July, 2000.
- JONES G., BOUAMANE L. “Historical Trajectories and Corporate Competences in Wind Energy”. *Working Paper Harvard Business School*. Acessado em 10/12/2013: <http://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/11-112.pdf>, 2011.
- JONES G., BOUAMANE L. “Historical Trajectories and Corporate Competences in Wind Energy”. *Working Paper Harvard Business School*. Acessado em 10 dezembro de 2013. Disponível em: <http://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/11-112.pdf>, 2011.

- JORGENSEN, U., KARNOE, P. “The Danish Wind-Turbine Story: Technical Solutions to Political visions?” In: Rip A., Misa T. J, Schot J. (Eds.) *Managing technology in society: the approach of constructive technology assessment*. London: Pinter Publishers, p. 57-82, 1995.
- JUNFENG, L., et al. “China Wind Energy Outlook”, CREIA, Greenpeace. CWEA and GWEC, Beijing. Disponível em: www.gwec.net/publications/country-reports/china-wind-energy-outlook-2012/, 2012.
- JUNFENG, L., PENGFEI, S.; HU, G. “China Wind Power Outlook” GWEC, *Greenpeace and CREIA*, Beijing, 2010.
- LASTRES, H., ALBAGLI, S. Chaves para o Terceiro Milênio na Era do Conhecimento. In: Lastres, H.; Albagli, S. (Org.) *Informação e globalização na era do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, p. 7- 26, 1999.
- LEMA, R., BERGER, A., SCHMITZ, H. “China Aktuel, China’s Impact on the Global Wind Power Industry”. *Journal of Current Chinese Affairs*, 42, (1), p. 37–69, 2013.
- KARINIOTAKIS G., WALDL, I. MARTI, G. GIEBEL, T.S. NIELSEN, J. TAMBKE, J. USAOLA, F. DIERICH, A. BOCQUET, S. VIRLOT. “Next generation forecasting tools for the optimal management of wind generation”. *9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*. KTH, Stockholm, Sweden – June 11-15, 2006.
- KOELLER, P. *Política Nacional de Inovação no Brasil: Releitura das estratégias do período 1995-2006*. (Tese de Doutorado) Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 231 p., 2009.
- KRISTINSSON K., RAO R. “Learning to Grow: A Comparative Analysis of the Wind Energy sector in Denmark and India”. *DRUID Working Paper*, 07-18. Acessado em 10 de dezembro 2013 <http://www3.druid.dk/wp/20070018.pdf>, 2007.
- LAUBER, V., MEZ, L., “Renewable Electricity Policy in Germany”, 1974-2005. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 26(2), p. 105-120, 2006.
- LAZONICK, W. “How Greedy Corporations are Destroying America’s Status as ‘Innovation Nation’”, *New Deal 2.0*, 28 Jul, 2011.
- LEMOES, R., BERGER, A., SCHMITZ, H., SONG, H. “Competition and Cooperation between Europe and China in the Wind Power Sector”, *IDS Working Paper (2011) 377*, Institute of Development Studies, Brighton, UK, October 2011 <http://www.ids.ac.uk/files/dmfile/Wp377.pdf>, 2011.
- LEMOES, R., BERGER, A., SCHMITZ, H. China’s Impact on the Global Wind Power Industry, *Journal of Current Chinese Affairs*, 42, 1, p. 37–69, 2013.

- LEWIS, J. I. “China Sustainable Energy Program. A Comparison of Wind Power “Industry Development Strategies in Spain, India and China”. *Energy Foundation, China Sustainable Energy Program*. Acessado em: 12 de Jun de 2009. Disponível em: <http://q.investorideas.com/research/PDFs/L_Wind_I_Dev_I_S_C_July2007.pdf>. July 19, 2007.
- LEWIS, J. I. “A Comparison of Wind Power Industry Development Strategies in Spain, India and China”, Disponível em: www.resource-solutions.org/pub_pdfs/Lewis.Wind.Industry.Development.India.Spain.China.July.2007.pdf, 2007.
- LEWIS, J. I. WISER, R. H. “Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms”. *Energy Policy* 35, p. 1844-1857, 2007.
- LEWIS, J. I. “A Comparison of Wind Power Industry Development Strategies in Spain, India and China”, Prepared for the Center for Resource Solutions, *Energy Foundation, China Sustainable Energy Program*, July 19, 2007. Disponível em: <http://q.investorideas.com/research/PDFs/L_Wind_I_Dev_I_S_C_July2007.pdf>. Acessado em: 12 de Junho, 2009.
- LEWIS, J. I. “Building a national wind turbine industry: experiences from China, India and South Korea”, *International Journal on Technology and Globalization*, 5, (3/4) UK: Inderscience Publishers, p. 281-305, 2011.
- LIEBREICH, M. Bloomberg Profile - *Bloomberg*. Retrieved 2010-11-24, 2010.
- LEWISA, J. I., WISERBA R. H., “Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms”. *Renewable Energy*. Available 1st August, 2006.
- LINARES, O. B. “International Competitiveness of Wind Power Industry: The case of GAMESA Copr S.A”. *Master thesis at KTH Industrial Engineering and Management*, 2011.
- LIPP, J. “Lessons for effective renewable electricity policy from Denmark, Germany and the United Kingdom”. *Energy Policy*, doi:10.1016/j.enpol.2007.05.015, 2007.
- LYNCH, M. “Wind turbine manufacturers; here comes pricing power”. Industry Overview Equity Pan-Euro. *Renewable Energy*, 10 August, 2007.
- LIU, Y., KOKKO, A. “Wind power in China: Policy and development challenges”, *Energy Policy* 38, p. 5520–5529, 2010.
- LOGAN J., KAPLAN S. M. “Wind Power in the United States: Technology, Economic, and Policy Issues”. *CRS Report for Congress, Order Code RL34546*. Acessado em 10 de dezembro de 2013. Disponível em: <https://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34546.pdf>, 2008.

- LOITER, J. M., NORBERG-BOHM, V. “Technology policy and renewable energy: public roles in the development of new energy technologies”. *Energy Policy* 27, p. 85-97, 1999.
- LOKEY, E. M. *Renewable energy project development under the clean development mechanism: a guide for Latin America*. New York: Earthscan 2009.
- LUNDVALL, B.-Å. “Innovation as an interactive process: from user–producer interaction to the National Innovation Systems”. In: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. and Soete, L. (Eds.) *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, 1988.
- LUNDVALL, B.-Å. (Ed.) *Introduction, in National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter Publishers, 1992.
- LUNDVALL, B.-Å. “National Innovation System: Analytical Focusing Device and Policy Learning Tool”. *Working Paper R2007:004*. ITPS – Swedish Institute for Growth Policy Studies, 2007.
- LUNDVALL, B.-Å, BORRÁS, S. “Science, Technology and Innovation Policy”, In: Fagerberg, J., Mowery, D. C. e Nelson, R. R. (Eds.) *The Oxford Handbook of Innovation*. UK: Oxford University Press, 2006.
- MAHARAJH, R. “Desenvolvendo sustentabilidade e a emergência de um novo paradigma científico”. In: *Políticas estratégicas de inovação e mudança estrutural* (No prelo).
- MALERBA, F. “Sectoral systems of innovation and production”. *Research Policy*, v. 31, (2), p. 247-264, 2002.
- MARTINOT, E., WISER, R., HAMRIN, J. “Renewable Energy Policies and Markets in the United States”. Disponível em: www.efchina.org/csepupfiles/report/2007122104842884.369074320503.pdf/RE_Policies&Markets_US.pdf. 2006.
- MARTINOT, E., JUNFENG, L. “China’s latest leap: an update on renewables policy”. *Renewable Energy Policy Update for China*, Renewable Energy World.com, Disponível: www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/07/renewable-energy-policy-update-for-china, London 2010.
- MAZZUCATO, M. “The Entrepreneurial State”, *Renewal. A Journal of Social Democracy*, 19, Issue 3/4, 2011.
- MELO, E., NEVES, E. M. A., PAZZINI, L. H. A., OGAWA, K. “An evaluation of the regulation of incentives for alternative electricity sources in Brazil”. In: *8th Biee Academic Conference in Association with uk Energy Research Centre. St John's College Oxford, England, September 22nd e 23rd 2010*. Acessado em: 03 de maio de 2013. Disponível em: <http://www.biee.org/wpcms/wp->

content/uploads/An_Evaluation_of_the_Regulation_of_Incentives_for_Alternative_Electricity_Sources_in_Brazil_2010_pap.pdf, 2010.

- MENANTEAU, P. “L’énergie éolienne: la réussite d’une dynamique d’innovations incrémentales”. In: Bourgeois, B., Finon, D., Martin, J.-M., *Énergie et Changement Technologique: Une approche évolutionniste*. Paris: Economica, p. 224-247, 2000.
- MEYER, N. I. “Danish wind power development”. *Energy Sustain Development*, 2:18e25, 1995.
- MEYER, N. I. “European Schemes for Promoting Renewable in Liberalized Markets”, *Energy Policy*, 31, p. 665-676, 2003.
- MIGLIORE, P. G., CALVERT, S. D. “US department of energy: wind turbine development projects”. Presented at the 1999 *European Wind Energy Conference and Exhibition*, Nice, France, March 1-5, 1999. Acessado dia 12 de dezembro de 2013. Disponível em <http://nrelpubs.nrel.gov>.
- Ministério de Minas e Energia – MME. Ministry of Mines and Energy – MME. *Ministro/ Minister. Balanço Energético Nacional 2013, Ano base 2012*. 2013.
- MME. PORTARIA Nº 55, Ministério das Minas e Energia, Brasília, DF, 04 de Fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leil%C3%B5es%202010%20-%20Fontes%20Alternativas,%20Reserva%20e%20Sistemas%20Isolados/Portaria%20MME%20n%C2%BA%2055-10.pdf>. Acesso em 15 de Novembro de 2011. 2010c.
- MME. Benefícios do Proinfa. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/beneficios.html>. Acesso em: 29 jul. 2011.
- MIZUNO, E. *Enabling environment and policy principles for replicable technology transfer: lessons from wind energy in India*. New Delhi: Magnum Custom Publishing, 2005.
- MIZUNO, E. *Cross-border Transfer of Climate Change Mitigation Technologies: The Case of Wind Energy from Denmark and Germany to India*. (PhD Thesis). Department of Urban Studies and Planning. Massachusetts Institute of Technology, Boston, Massachusetts, June 2007.
- MNRE “Strategic plan for new and renewable energy sector for the period 2011-17”. *Ministry of New and Renewable Energy*, Government of India. Acessado em 12 de dezembro de 2013. Disponível em: http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/strategic_plan_mnre_2011_17.pdf. February, 2011.
- MORTENSEN, N. G. “Planning and Development of Wind Farms: Wind Resource Assessment and Siting”. *Riso*. Acessado 12 de dezembro de 2013. Disponível em:

img/Planning_and_Development_of_Wind_Farms_%28Riso-I-3272%29%28ed2%29.pdf, 2012.

- MYTELKA, L. K., SMITH, K. “Policy learning and innovation theory: an interactive and co-evolving process”. *Research Policy* 31, p. 1467-1479, 2002.
- NEIJ, L., ANDERSEN P. D. “A comparative assessment of wind turbine innovation and diffusion policies historical case studies of energy technology innovation”. In: *The Global Energy Assessment*. Grubler A., Aguayo F., Gallagher, K.S., Hekkert, M., Jiang, K., Mytelka, L., Neij, L., Nemet, G., C. Wilson. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2012.
- NELSON, R. (Ed.) *National Systems of Innovation: a comparative study*. Oxford: University Press, 1993.
- NEVES, N. *Critérios de avaliação e seleção de projetos para o programa de P&D da ANEEL*. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal Tecnológica do Paraná, UFTPR, Brasil, 128 p, 2011.
- NORTH, D. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge: Cambridge University, Press, 1990.
- NORTH, D. “Institutions”. *The Journal of Economic Perspectives*, 5 (1) p. 97-112, 1991.
- NOGUEIRA, L. P. P. *Estado Atual e Perspectivas Futuras para a Indústria Eólica no Brasil*. (Dissertação de Mestrado) COPPE/UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, 2011.
- PEIXOTO, F. J. M. *Uma abordagem evolucionária da nanotecnologia: implicações para política de inovação no Brasil*. (Projeto de Tese de Doutorado). Instituto de Economia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, 2010.
- PEIXOTO, F. J. M. *Nanotecnologia e sistemas de inovação: implicações para política de inovação no Brasil*. (Tese de Doutorado). Instituto de Economia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, 2013.
- PENGFELI, S. “The View on China Future Wind Power Development”, Proceeding of *China Renewable Energy Development Strategy Workshop*. Disponível em: www.martinot.info/China_RE_Strategy_Proceedings.pdf. 2005.
- PEREZ, C. “Long Waves and Changes in Socioeconomic Organization”, *IDS Bulletin*, 16, Issue 1, Sussex, Institute of Development Studies, p .36-39, 1985.
- PEREZ, C. “Great Surges of Development and Alternative Forms of Globalization”. *Working Paper in Technology and Economic Dynamics*, (15). The Other Canon Foundation, Norway. Tallinn University of Technology, Tallinn, 2007.

- PEREZ, C. “Technological revolutions and techno-economic paradigms”. *Cambridge Journal of Economics*, 34, (1), p. 185-202, January 2009.
- PETERSEN E. L., TROEN I., FRANDBSEN S., HEDEGAARD K. *Wind Atlas for Denmark*. Risø National Laboratory. Roskilde, Denmark, 1981.
- PILLAI, M. G. (Eds.) “Wind Power Development in India”, *WISE* (World Institute of Sustainable Energy), Pune, 2006.
- PLATZER M. D. (2011). “U.S. Wind Turbine Manufacturing: Federal Support for an Emerging Industry”. *Congressional Research Service*. R42023. Acessado dia 02 de março de /2013 em http://www.law.umaryland.edu/marshall/crsreports/crsdocuments/R42023_09232011.pdf
- PODCAMENI, M. G. P., CASSIOLATO, J. E. “As políticas de C,T &I e as fronteiras Tecnológicas da China”. Produto 03 do Contrato CGEE nº 127/2012. In: *Centro de Altos Estudos Brasil Século XXI*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. Brasília – DF. Dezembro de 2013.
- POLITO, R. “Inovações na estante”. *Revista Brasil Energia*. Novembro 2006.
- RAJSEKHAR, B, VAN HULLE F., JANSEN J. C., “Indian wind energy programme: performance and future directions”, *Energy policy* (27), p. 669–678, 1999.
- RAPINI, M. S. *Financiamento dos Investimentos em Inovação no Brasil*. Tese de Doutorado, IE/UFRJ. (Tese de Doutorado) Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. p. 146, 2010.
- REN21. “Renewables 2011 Global Status Report”. *Renewables 2011 Global Status Report*, 2011. Paris: REN21 Secretariat, 2011.
- ROBINS, N. et al. *A Climate for Recovery: the colour of stimulus Goes Green*. Reino Unido, Londres: HSBC, 2009.
- ROLAND, B. “From Pioneer to Mainstream: Evolution of wind energy markets and implications for manufacturers and suppliers”, *Roland Berger Energy Consultants*, Hamburg, Germany, February 2010.
- ROLAND, B. “Wind Turbine Manufacturing – a case for consolidation: Industry overview and key trends”, *Roland Berger Energy Consultants*, Hamburg, Germany, November 2011.
- ROSENBERG, N.; BIRDZELL Jr., L. E. *How the West Grew Rich*. New York: Basic Books, Inc., 1986.
- RU, P., ZHI Q., ZHANG, F. ZHONG X. LI, J., SU, J. “Behind the development of technology: The transition of innovation modes in China’s wind turbine manufacturing industry”, *Energy Policy* 43, p. 48-69, 2012.

- SÁBATO, A., MACKENZIE, M. La producción de tecnología autónoma o transnacional. Mexico D.F: Nueva Imagem, 1982.
- SACHS, I. *Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, p. 85-89, 2002.
- SACHS, I. *Estratégias de Transição para do século XXI – Desenvolvimento e Meio Ambiente*. São Paulo: Studio Nobel – Fundação para o desenvolvimento administrativo, p. 37, 1993.
- SALGADO, F. *Guía completa de la energía eólica*. Amv Ediciones, 2011.
- SANDÉN, B. A., AZAR, A. “Near-term technology policies for long-term climate targets – economy wide versus technology specific approaches”, *Energy Policy* 33, p. 1557-1576, 2005.
- SAPPHO. *Report on Project SAPPHO by the Science Policy Research Unit*. SPRU, University of Sussex, 1972
- GIBBONS, M., JOHNSTON, R. “The roles of science in technological innovation”, *Research Policy*, 3, p. 220-242, 1974.
- SAWIN, J. L. *The Role of Government in the Development and Diffusion of Renewable Technologies: Wind Power in the United States, California, Denmark and Germany*, (Doctoral Thesis) Thesis at the Fletcher School of Law and Diplomacy, September, 2001.
- SCIENCE AND TECHNOLOGY MUSEUM, 2009. Adapted by: *Sean Tudor, Assistant to the Curator*. Canada Science and Technology Museum, 2010
- SERFATI, C. “Financial dimensions of transnational corporations, global value chain and technological innovation”, *Journal of Innovation Economics*, (2), 2008.
- SERFATI, C. A “Natureza sob influência do setor financeiro: o caso do mercado de commodities”. In: *Políticas estratégicas de inovação e mudança estrutural* (No prelo).
- SILVA JR, R. G., PROCOPIUCK, M., QUANDT, C. O. “A Pesquisa e Desenvolvimento na estratégia competitiva das concessionárias do setor elétrico brasileiro”. *Anais do XII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais - SIMPOI 2009*. São Paulo. Disponível em: <http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/E2009_T00320_PCN24942.pdf>. Acesso em 06 janeiro, 2010.
- SIMAS, M. S. *Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: Estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada*. (Dissertação de Mestrado) Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, Brasil, p. 216, 2012.

- SIMÕES, R., “Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica)”. *Seminário no Brazil Wind Power 2010*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.
- SILK, M., LAZARUS, G., PERKINS, R. “Is China taking over the world? The case of China’s entry into the U.S. wind power sector”. *Allen & Overy*. Acessado em: 10/12/2013. Disponível em: http://clientlink.allenoverly.com/images/1106_US_Power-Wind.pdf, 2011.
- SOARES, M. C. C., CASSIOLATO, J. E. “Crise, Sustentabilidade e Mudança Tecnológica”. In: *Políticas estratégicas de inovação e mudança estrutural* (No prelo).
- SU, Y. “Foreign research and development in China: a sectoral approach” *Int. J. Technology Management*, 51, 2010.
- SZAPIRO, M. H. S. *Reestruturação do setor de telecomunicações na década de noventa: um estudo comparativo dos impactos sobre o sistema de inovação no Brasil e na Espanha*. (Tese de Doutorado) Instituto de Economia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, p. 323, 2005.
- TAN, X. “Clean technology R&D and innovation in emerging countries - Experience from China”, *Energy Policy*, 38 (6), p. 2916–2926, 2010.
- TAYLOR P. C., TURNER J. A. Editorial: Renewable energy incentives: subsidies or subventions. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4, 040401; doi: 10.1063/1.4730619, 2012.
- TEIXEIRA, E. C., MARQUES, R. A. “Uma Proposta para Sistematização do Processo de P&D em Empresas do Setor Elétrico”. *Congresso ABIPTI 2008*. Disponível em: http://www.abipti.org.br/otg/textos/artigos_otg/congresso/subtema2/7.1_proposta_sistematiz_processo_p&D_empres.pdf. Acessado em 12 maio 2010, 2008.
- TSOUTOS, T. D., STAMBOULIS, Y. A. “The sustainable diffusion of renewable energy technologies as an example of an innovation-focused policy”, *Technovation* 25, p. 753-761, 2005.
- VON HIPPEL, E. *The sources of innovation*. New York: Oxford University Press. 1988.
- WACHSMANN, U., TOLMASQUIM, M. T. “Wind power in Brazil – Transition using German experience”, *Renew Energy* 28, 2003.
- WALLACE, W., KURTS, S., LIN, W. “WREF 2012: Collaboration on Renewable Energy Standards, Testing and Certification under the U.S China Renewable Energy Partnership”. Presented at the 2012 *World Renewable Energy Forum Denver*, Colorado, May 13-17, 2012, Conference Paper, National Renewable Energy Laboratory (NREL). Acessado 12 de dezembro de 2013. Disponível em: <http://www.nrel.gov/>, 2013.

- WALTZ, R. “Wind power technology assimilation in China, India and Brazil”. Presented in *International Conference: Institutions, Innovation and Climate Change*. Mexico City, 2011.
- WANG, F., YIN, H., LI, S. “China’s renewable energy policy: Commitments and challenges”. *Energy Policy* 32, p.1872-1879, 2010.
- WINDPOWER CHALLENGES “From Pioneer to Mainstream. Evolution of wind energy markets and implications for manufacturers and suppliers”. *Windpower Challenges, 2010*.
- WPM “Windpower Monthly October 2004:45. Turning out the turbines”. *Windpower Monthly, 2004*.
- WWF. Amazônia viva: Uma década de descobertas, 1990-2009. Brasília, 2010a. 64 p.
- WWF. ARPA: Programa Áreas Protegidas da Amazônia. Um novo caminho para conservação da Amazônia. Brasília, 2010b. Acesso em: 05 out. 2010. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/informacoes/bliblioteca/?26364/Resultados-da-primeira-fase-do-programa-Arpa-Areas-Protegidas-da-Amazonia>, 2010.
- WWF “Clean Economy, Living Planet, The Race to the Top of Global Clean Energy Technology Manufacturing”. *Roland Berger Strategy, 2012*.
- ZAO, X., WANG, F., WANG, M. “Large-scale utilization of wind power in China: Obstacles of conflict between market and planning”, *Energy Policy*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.009>, 2012.
- ZUCOLOTO, G. *Desenvolvimento Tecnológico por Origem de Capital no Brasil: P&D, Patentes e Incentivos Públicos*. (Tese de Doutorado) Instituto de Economia -Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2009.
- ZUCOLOTO, G; TONETO JUNIOR, R. “Esforço tecnológico da indústria de transformação brasileira: uma comparação com países selecionados”. *Revista de Economia Contemporânea*, Rio de Janeiro, 9 (2), mai/ago, 2005.

Site Institucional

http://www.finep.gov.br/o_que_e_a_finep/conceitos_ct.asp#indiceD”

<http://sustentabilidade.com.br/?2065/setor-eolico-brasileiro-espera-atrair-investimentos-de-16-bilhoes>.

<http://tribunadonorte.com.br/noticia/mudanca-no-financiamento-as-eolicas-preocupa-investidores/196522>; acessado em março de 2014.

<http://tribunadonorte.com.br/noticia/mudanca-no-financiamento-as-eolicas-preocupa-investidores/196522>

[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)

[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)

<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000917168>

http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/o_banco/planejamento_estrategico/gerados/miassoao_e_visao.asp; acessado em março de 2014.

http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/o_banco/planejamento_estrategico/gerados/miassoao_e_visao.asp;

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/credenciamento_aerogeradores_metodologia.pdf

<http://www.cresesb.cepel.br>

<http://www.cresesb.cepel.br>

http://www.dolcera.com/wiki/images/Market_Share_Comparison.JPG

http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/ct_energ/documentos/ct-energ00diretrizes.pdf
www.erneuerbare-energien.de/english/renewable_energy/doc/42660.php, 2011b.

<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/documentos/2013/relatorio%20anual%202012%20greenpeace.pdf>

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,43771,en.html>

<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>

http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=12487&id_tipo=3&id_secao=9&id_pai=2&titulo_info=Renova%20Energia%20anuncia%20acordo%20de%201%20bi%20de%20euros%20com%20a%20Alstom%20

http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=12487&id_tipo=3&id_secao=9&id_pai=2&titulo_info=Renova%20Energia%20anuncia%20acordo%20de%201%20bi%20de%20euros%20com%20a%20Alstom%20

<http://www.measnet.com/>

<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>

<http://www.navigantresearch.com/research/world-market-update-2013>

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11465.htm

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12111.HTM

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.htm

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm

<http://www.researchinchina.com/Htmls/News/201312/34974.html>

http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_From_Pioneer_to_Mainstream_20100706.pdf

http://www.theairnet.org/files/research/Hopkins/Wind_Paper_Draft7%20Final%20Format_5_15_2012.pdf

http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance_standards/pdfs/epact2005_appliance_stds.pdf

www.gwec.net/publications/country-reports/china-wind-energy-outlook-2012/

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/195/1/CT_PPGTE_M_Neves%2c%20Natalino%20das_2011.pdf

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/195/1/CT_PPGTE_M_Neves%2c%20Natalino%20das_2011.pdf

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/195/1/CT_PPGTE_M_Neves%2c%20Natalino%20das_2011.pdf

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/195/1/CT_PPGTE_M_Neves%2c%20Natalino%20das_2011.pdf

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/195/1/CT_PPGTE_M_Neves%2c%20Natalino%20das_2011.pdf

<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/08/record-growth-for-wind-what-comes-next-53436>

<http://www.theguardian.com/environment/2008/oct/17/wind-power-renewable-energy>

<http://www.theguardian.com/environment/2008/oct/17/wind-power-renewable-energy>

http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/GWEC_annual_market_update_2010_-_2nd_edition_April_2011.pdf

http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Apêndice 1 – Sobre pesquisa de campo

Lista de Instituições Entrevistadas

Empresa	Wobben	Complexo Industrial	Complexo Industrial de SUAPE
Empresa	Alstom	Governo	Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos da Bahia
Empresa	IMPSA	Governo	Agência de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco (ADDIPER)
Empresa	Gamesa	Governo	Secretaria da indústria, comércio e mineração superintendência de indústria e mineração da Bahia
Empresa	GE	Governo	Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE)
Empresa	Siemens	Governo	Agência Gaúcha de Desenvolvimento e Promoção do Investimento
Empresa	Acciona	Governo	Agência de Fomento do Estado do Rio Grande do Norte (AGN)
Empresa	Vestas	Governo	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)
Empresa	WEG	Governo	Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)
Empresa	Aeris	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Empresa	LM	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Universidade Federal da Bahia
Empresa	Tecsis	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Empresa	Inneo	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Universidade Federal de Pernambuco
Empresa	Servtec	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Empresa	Multiempreendimentos	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia, (CIMATEC)
Empresa	PTP Renováveis	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Federação das Indústrias do Estado da Bahia (FIEB)
Empresa	Odebrecht Consultoria	Universidade/Centro de Pesquisa ou de Capacitação	Centro de Tecnologias do Gás (CTGÁS)
Empresa	Fasnegocio	Instituição do Setor eólico	ABEEólica
Empresa	Grupo Galvão	Instituição do Setor eólico	Fórum Nacional Eólico
Empresa	Grupo Renova Energia	Instituição do Setor eólico	Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia do Rio Grande do Norte (CERNE)

Lista de Estados Brasileiros incluídos na Pesquisa de Campo

São Paulo
Pernambuco
Bahia
Rio Grande do Norte
Ceára
Santa Catarina
Rio Grande do Sul

Lista de pessoas entrevistadas

Os nomes foram ordenados de forma aleatória para preservar a identidade dos entrevistados

Eduardo Lopes	Josep Fabregas	Bardo Bodmann
Bento Koike	Daniel Faro do Amaral Lemos	Luiza Villela
Lauro Fiuza	Vitor Santos	Adriane Helena Rodrigues
Pedro Perrelli	Adão Linhares	Guilherme Oliveira Arantes
Roberto Miranda	Jean Paul Patres	Lucas Moura de Lucena
Ricardo Simões	Otávio Silveira	Felipe Guth
Diogo Silvano da Nóbrega	Enedir Soares	Eduardo José Diniz
Christiane Aché	Liu Gonçalves	Rodrigo Dorado
Leonardo Cerquinho	Oscar Aira	Luis Percamono
Roberto Abreu	Elbia Melo	Pedido de sigilo de nome
Carlos André	Paulo Fernando Soares	Pedido de sigilo de nome
Paulo Ferreira	Thiago Winter	Pedido de sigilo de nome
Antônio Troque	Artur Pereira	Pedido de sigilo de nome
Luiz Carlos Ribeiro	Eduardo Werninghaus	Pedido de sigilo de nome
Eduardo Azevedo	João Gualberto da Silva	Pedido de sigilo de nome
Everaldo Feitosa	Marco Aurélio	Pedido de sigilo de nome
Filadelfo F. de Souza	Mauricio Aredes	Pedido de sigilo de nome
Rafael Valverde	Jorge Villar Ale	Pedido de sigilo de nome
Alex Santos	Beto Albuquerque	Pedido de sigilo de nome

APÊNDICE 2

Apêndice 2 - Questionário de Pesquisa – OEMS

1. Identificação

1. Empresa:

2. Nome:

3. Cargo/Função:

4. Email:

5. Telefone:

6. Ano de fundação da empresa:

7. País de origem:

8. Possui instalações no Brasil (sede, escritórios, fábricas)? Desde quando? Onde?

2. Relevância do mercado brasileiro para a empresa

1. Que importância teve o mercado brasileiro para sua empresa na crise internacional e a retração dos mercados tradicionais de energia eólica?

2. Qual a importância estratégica do Brasil para a sua empresa atualmente?

3. Quais são os cinco países mais relevantes para sua empresa atualmente? Qual a participação aproximada do lucro da empresa provinda de cada país? Quais deverão ser os cinco países mais relevantes para sua empresa nos próximos 5 anos?

4. Qual a capacidade instalada aproximada no Brasil? E no mundo?

2007	<input type="text"/>
2008	<input type="text"/>
2009	<input type="text"/>
2010	<input type="text"/>
2011	<input type="text"/>
2012	<input type="text"/>
2013*	<input type="text"/>
2014*	<input type="text"/>
2015*	<input type="text"/>

3. Cadeia Produtiva

1. Qual a capacidade de fabricação anual mundial de turbinas eólicas (em MW) da sua empresa? E no Brasil?

2. Sua empresa possui fábrica(s) no Brasil?

SIM

NÃO

3. Caso não, a empresa planeja instalar uma fábrica nos próximos 5 anos?

SIM

NÃO

Se NÃO, por quê?

Caso não possua, ou não planeja instalar fábrica no Brasil, pular para próxima seção.

4. Caso possua fábricas no Brasil, descreva:

O que

produz:

Onde:

Ano de

fundação:

Capacidade

de produção:

Nº

Funcionários:

5. Caso possua outras fábricas no Brasil, descreva:

O que

produz:

Onde:

Ano de

fundação:

Capacidade

de produção:

Nº

Funcionários:

6. Quais foram os motivos que levaram a empresa a instalar fábrica no Brasil?

2

(0 - Irrelevante; 1 - Pouco Relevante; 2 - Relevante; 3 - Muito relevante; 4 - Indispensável)

	0	1	2	3	4
Perspectiva de crescimento do mercado brasileiro	<input type="radio"/>				
Perspectiva de baixo crescimento nos países desenvolvidos devido a crise internacional	<input type="radio"/>				
Perspectiva de exportação para América Latina	<input type="radio"/>				
Os incentivos fiscais e financeiros oferecidos pelo governo federal	<input type="radio"/>				
Os incentivos fiscais oferecidos pelo governo estadual	<input type="radio"/>				
Para atender o Índice de Nacionalização do BNDES	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

7. Qual a importância das seguintes características locais para a decidir em qual estado (UF) instalar a fábrica? (0 - Irrelevante; 1 - Pouco Relevante; 2 - Relevante; 3 - Muito relevante; 4 - Indispensável)

	0	1	2	3	4
Proximidade com os clientes/consumidores	<input type="radio"/>				
Proximidade com os fornecedores de insumos e matérias primas	<input type="radio"/>				
Os incentivos fiscais e financeiros oferecidos pelo governo federal	<input type="radio"/>				
Os incentivos fiscais oferecidos pelo governo estadual	<input type="radio"/>				
Os incentivos do governo municipal	<input type="radio"/>				
Disponibilidade de mão de obra qualificada	<input type="radio"/>				
Baixo custo de acesso à mão-de-obra	<input type="radio"/>				
Infraestrutura física (energia, transporte, comunicações)	<input type="radio"/>				
Disponibilidade de serviços técnicos especializados	<input type="radio"/>				
Parceria para desenvolver/melhorar tecnologias como outras firmas	<input type="radio"/>				
Parceria para desenvolver/melhorar tecnologias como universidades	<input type="radio"/>				

8. Qual a origem dos seguintes componentes do aerogerador vendido no Brasil?

	Produção própria local	Produção própria no exterior	Compra de fornecedor local	Compra de fornecedor no exterior
Torre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nacele: Elementos de Transmissão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nacele: Sistema de Controle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nacele: Gerador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pás	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cubo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Software	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Outro (especifique)

9. No caso de componentes não produzidos pela empresa no Brasil, por que a empresa decidiu adquiri-los localmente? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Empresa segue estratégia global de não produzir o componente	<input type="radio"/>				
Empresa não possui capacitação na produção do componente	<input type="radio"/>				
Estratégia de minimização de custo	<input type="radio"/>				
Existência de fornecedores locais adequados	<input type="radio"/>				
Relação de longo prazo com um determinado fornecedor local	<input type="radio"/>				
Adequação ao Índice de Nacionalização requerido pelo BNDES	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

10. No caso de componentes não produzidos pela empresa no Brasil e importados, por que a empresa prefere importa-los? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Inexistência ou insuficiência de fornecedores locais	<input type="radio"/>				
Elevado preço dos fornecedores locais	<input type="radio"/>				
Baixa qualidade dos fornecedores locais	<input type="radio"/>				
Fabricação própria no exterior	<input type="radio"/>				
Relação já estabelecida com fornecedor estrangeiro	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

11. Quem são os principais fornecedores locais dos componentes não produzidos pela empresa?

12. Quem são os principais fornecedores estrangeiros dos componentes não produzidos pela empresa?

13. A empresa planeja produzir localmente ou adquirir com fornecedores locais esses componentes importados nos próximos 5 anos? Por que?

4. Índice de Nacionalização do BNDES

1. Sua empresa é credenciada no FINAME / BNDES?

 SIM

 NAO

2. Recentemente algumas empresas tiveram problemas no credenciamento no FINAME/BNDES. Em qual categoria sua empresa se encaixa?

- Não foi descredenciada.
- Não foi descredenciada mas necessitou apresentar plano de adequação.
- Foi descredenciada e apresentou um plano de adequação.
- Foi descredenciada e não pretende apresentar plano de adequação.

3. O Índice de Nacionalização do BNDES incentivou a produção ou aquisição local de algum componente? Quais?

4. Qual o impacto do Índice de Nacionalização no BNDES no que se refere a: (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Aumento do preço final da energia eólica	<input type="radio"/>				
Aumento dos custos de produção do aerogerador	<input type="radio"/>				
Desenvolvimento da Cadeia Produtiva	<input type="radio"/>				
Geração de Emprego	<input type="radio"/>				
Desenvolvimento Regional	<input type="radio"/>				
Desenvolvimento de tecnologia nacional	<input type="radio"/>				
Redução da concorrência no setor	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

5. Qual sua opinião sobre o Índice de Nacionalização do BNDES? Qual sua opinião sobre a atual reformulação no cálculo do índice?

6. Alguma outra política pública afeta a decisão da empresa de produzir, importar ou terceirizar? Quais?

7. O Índice de Nacionalização incentivou algum processo de inovação na sua empresa? Se sim, qual inovação foi resultado da adequação ao IN?

5. Estratégias de Inovação

1. Qual a importância das inovações para a dinâmica competitiva do setor, no Brasil e no Mundo? Por quê?

2. Informe os gastos despendidos para desenvolver as atividades de inovação (indicar a % em cima do faturamento bruto), nos últimos três anos. Caso a empresa atue em outros mercados, destaque os gastos referentes ao segmento eólico.

Gastos com todas atividades inovativas	<input type="text"/>
Gastos com P&D	<input type="text"/>
Gastos com aquisição de máquinas e equipamentos	<input type="text"/>
Gastos com treinamento e capacitação	<input type="text"/>

3. Informe as fontes de financiamento para as atividades inovativas (indicar a % em cima do faturamento bruto), nos últimos três anos. Caso a empresa atue em outros mercados, destaque os gastos referentes ao segmento eólico.

Próprias	<input type="text"/>
De Terceiros (Privados)	<input type="text"/>
De Terceiros (Público. Ex: FINEP, BNDES, BNB, etc.)	<input type="text"/>

4. Sua empresa introduziu produtos ou processos (novos ou aperfeiçoados) nos últimos três anos no Brasil?

SIM

NÃO

5. Inovações de produto

Aperfeiçoamento de um produto já existente

Novo para o país, mas não para o mundo

Novo para a empresa, mas não para o país

Novo para o mundo

6. Inovações de processo

Aperfeiçoamento de um processo já existente

Novo para o país, mas não para o mundo

Novo para a empresa, mas não para o país

Novo para o mundo

7. Inovações organizacionais

Implementação de técnicas avançadas de gestão

Implementação de significativas mudanças na estrutura organizacional

8. Quais foram os produtos ou processos, novos ou aperfeiçoados, introduzidos?

9. As inovações adotadas no Brasil são desenvolvidas no exterior ou aqui? Cite as principais.

10. Qual é o modelo de aerogerador vendido ou produzido no Brasil? Foi desenvolvido ou adaptado especificamente para o Brasil? Qual a diferença entre os aerogeradores fabricados no Brasil e no exterior? O que motivou esse desenvolvimento/adaptação?

11. A sua empresa depositou patentes no Brasil? Estão sendo aplicadas na indústria eólica? Quais?

12. As patentes depositadas no Brasil foram desenvolvidas no Brasil ou no exterior?

13. Indique os principais objetivos da empresa em relação ao uso/desenvolvimento de inovações. (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Aumentar o lucro	<input type="radio"/>				
Manter a participação no mercado	<input type="radio"/>				
Ampliar a participação no mercado	<input type="radio"/>				
Reduzir custos	<input type="radio"/>				
Contribuir com o meio ambiente	<input type="radio"/>				
Agregar valor ao seu produto	<input type="radio"/>				
Se adequar à cadeia produtiva	<input type="radio"/>				
Se adequar as regulamentações (ou programas) governamentais*	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique) / *Especifique a regulamentação

14. Qual a importância das atividades inovativas abaixo para desenvolvimento tecnológico de energia eólica na sua empresa? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Atividade de P&D interna à empresa	<input type="radio"/>				
Aquisição de P&D externa à empresa	<input type="radio"/>				
Treinamento interno na empresa	<input type="radio"/>				
Treinamento externo à empresa	<input type="radio"/>				
Compra de máquinas e equipamentos	<input type="radio"/>				
Utilização de publicações acadêmicas	<input type="radio"/>				
Parceria com universidades	<input type="radio"/>				
Parceria com outros institutos de pesquisa	<input type="radio"/>				
Parceria com outras empresas	<input type="radio"/>				
Contratação de pesquisadores temporários	<input type="radio"/>				
Contratação de pesquisadores permanentes	<input type="radio"/>				
Utilização de novos materiais (insumos, matéria-prima, etc.)	<input type="radio"/>				
Utilização de licenças de uso ou patentes	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

15. Assinalar, dos itens abaixo, as fontes de informação para o aprendizado, visando desenvolver e/ou melhorar os produtos e processos, que a empresa utilizou, nos últimos três anos.

Fontes Internas à empresa

Departamento de P & D

Áreas de vendas e marketing, serviços de atendimento ao cliente

Área de produção

16. Fontes Externas

Outros estabelecimentos dentro do grupo

Outras empresas do Setor

Fornecedores de insumos (equipamentos, materiais, etc.)

Empresas de consultoria

Clientes

Universidades/Institutos de Pesquisa

Concorrentes

Conferências, Seminários, Feiras, Cursos e Publicações Especializadas

17. Quais são os fatores críticos para o processo de inovação na sua empresa?**(0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)**

	0	1	2	3	4
P&D	<input type="radio"/>				
Interação e cooperação com instituições de pesquisa e universidades	<input type="radio"/>				
Conhecimento científico e técnico	<input type="radio"/>				
Máquinas e equipamentos adequados	<input type="radio"/>				
Mão-de-obra qualificada	<input type="radio"/>				
Infraestrutura adequada	<input type="radio"/>				
Políticas de inovação adequadas	<input type="radio"/>				
Financiamento	<input type="radio"/>				
Existência de centros de certificação	<input type="radio"/>				
Colaboração interdisciplinar	<input type="radio"/>				
Planejamento de longo prazos do setor energético	<input type="radio"/>				
Processos de fusão e aquisição de empresas	<input type="radio"/>				
Adequação à regulamentação governamental	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

18. Quais as principais dificuldades encontradas para a inovar:**(0-não dificulta, 1-dificulta um pouco, 2-dificulta, 3-dificulta muito, 4-inviabiliza)**

	0	1	2	3	4
Falta de pessoal qualificado / escassez de serviços técnicos	<input type="radio"/>				
Problemas relacionados à propriedade intelectual (alto custo e direitos pertencentes a outros)	<input type="radio"/>				
Dificuldade de financiamento	<input type="radio"/>				
Incerteza quanto Política Energética	<input type="radio"/>				
Falta de uma política de inovação adequada	<input type="radio"/>				
Instabilidades macroeconômica	<input type="radio"/>				
Falta de infraestrutura geral	<input type="radio"/>				
Insuficiente infraestrutura de Tecnologias Industriais Básicas (TIB) no país (laboratórios de referência, certificação, INMETRO, etc.)	<input type="radio"/>				
Baixo preço da energia eólica	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

6. Política de Inovação

1. A sua empresa tem conhecimento/ é beneficiada pelos programas de apoio às atividades de Inovação?

	Não conhece	Conhece mas não é beneficiada	Conhece e é beneficiada
Subvenção Econômica (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fundo setorial (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Programa de P&D (ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inova energia (BNDES, FINEP, ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lei do Bem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Outro (especifique)

2. Qual a faixa de valor do apoio recebido para cada programa?

	Menos de R\$ 500.000,00	Entre R\$ 500.000,00 e R\$ 1 Milhão	Entre R\$ 1 Milhão e R\$ 5 Milhões	Mais de R\$ 5 Milhões
Lei do Bem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fundo setorial (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inova energia (BNDES, FINEP, ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Subvenção Econômica (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Programa de P&D (ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Como você avalia os programas de incentivo a inovação?

Subvenção Econômica (FINEP)	<input type="text"/>
Fundo setorial (FINEP)	<input type="text"/>
Programa de P&D (ANEEL)	<input type="text"/>
Inova energia (BNDES, FINEP, ANEEL)	<input type="text"/>
Lei do Bem	<input type="text"/>
Outro	<input type="text"/>

4. Sem esse(s) programa(s)/instrumento(s) a empresa teria gerado de inovações?

SIM

NÃO

Indique os motivos:

5. Além destes programas de apoio a inovação, existem outros instrumentos governamentais de impacto no processo de inovação da empresa. Indique se a empresa é beneficiada pelos seguintes instrumentos e em seguida marque o grau de relevância deste instrumento para a capacidade de inovação da sua empresa?(0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	É beneficiado	0	1	2	3	4
Compras do Governo	<input type="checkbox"/>					
Incentivo fiscal às atividades de P&D interna ou externa a firma	<input type="checkbox"/>					
Incentivo fiscal para compra de máquinas e equipamentos para desenvolvimento tecnológico	<input type="checkbox"/>					
Incentivo fiscal específico ao uso de energia eólica com tecnologia nacional	<input type="checkbox"/>					
Equalização de juros para investimentos em desenvolvimento tecnológico	<input type="checkbox"/>					
Incentivo a parcerias com instituições de pesquisa e universidades	<input type="checkbox"/>					
Incentivo a parceria com outras empresas	<input type="checkbox"/>					
Bolsa ou incentivo para contratação de pessoal qualificado	<input type="checkbox"/>					
Incentivo à projetos industriais e outras preparações técnicas para a produção e distribuição	<input type="checkbox"/>					
Incentivo à inserção e comercialização dos produtos e/ou processos no mercado	<input type="checkbox"/>					
Estímulo a patentes	<input type="checkbox"/>					
Estímulo a demanda	<input type="checkbox"/>					
Financiamento para investimentos na empresa em geral	<input type="checkbox"/>					
Apoio a capital de risco	<input type="checkbox"/>					
Outro	<input type="checkbox"/>					

Outro (especifique)

6. Quais as principais fragilidades dos programas e instrumentos do governo no incentivo a inovação? (0-não dificulta, 1-dificulta um pouco, 2-dificulta, 3-dificulta muito, 4-inviabiliza)

	0	1	2	3	4
Elevada burocracia	<input type="radio"/>				
Excessivo foco em PeD	<input type="radio"/>				
Baixo valor disponível nos programas/instrumentos	<input type="radio"/>				
Baixa articulação entre os programas/instrumentos	<input type="radio"/>				
Não abrange etapas importantes no processo de inovação	<input type="radio"/>				
Desarticulação com outras políticas importantes (industrial, monetária, comercial, cambial, etc)	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

7. Na sua opinião, o que seria uma política de inovação adequada para a energia eólica?

7. Impactos da empresa no desenvolvimento local

1. Quais são os incentivos regionais governamentais oferecidos para sua empresa? Dimensione, em valor aproximado, esses incentivos.

2. Que outros empreendimentos se desenvolveram na região em função da atividade da sua empresa?

3. A sua empresa desenvolveu obras de infraestrutura na região? E o governo, tendo em vista a atividade da sua empresa? Qual impacto destas obras para a região?

4. A sua empresa possui parcerias com as instituições de pesquisa / universidade locais? Qual o objetivo e resultados alcançados com essa parceria?

5. Qual impacto da sua empresa sobre qualificação e treinamento da mão-de-obra local? A empresa promoveu treinamento para seus funcionários em 2012? Em quais áreas? Quantas pessoas por área?

6. Sua empresa tem conhecimento sobre os programas governamentais de capacitação e treinamento que beneficiem o setor eólico? Quais são eles? São adequados à necessidade do setor?

7. Indique o número de pessoal ocupado, por escolaridade (situação no ano de 2012):**Caso a empresa atue em outros mercados, destaque apenas do segmento eólico.**

Analfabeto	<input type="text"/>
Ensino fundamental incompleto	<input type="text"/>
Ensino fundamental completo	<input type="text"/>
Ensino médio completo	<input type="text"/>
Superior completo	<input type="text"/>
PósGraduação	<input type="text"/>

8. Informe o número de pessoal ocupado, por relações de trabalho (Situação no ano de 2012):**Caso a empresa atue em outros mercados, destaque apenas do segmento eólico.**

Sócio proprietário	<input type="text"/>
Contratos formais	<input type="text"/>
Estagiário	<input type="text"/>
Serviço temporário	<input type="text"/>
Terceirizados	<input type="text"/>
Familiares sem contrato formal	<input type="text"/>

9. Indique a principal origem da mão-de-obra contratada:**Caso a empresa atue em outros mercados, destaque apenas do segmento eólico.**

	Mão de Obra Local	Mão de Obra de Outras Regiões	Mão de Obra estrangeira
Analfabeto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensino fundamental incompleto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensino fundamental completo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensino médio completo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Superior completo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PósGraduação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

APÊNDICE 3

Apêndice 3 - Roteiro de Entrevista com Especialista no Setor Eólico

Roteiro de Entrevista com Especialista no Setor Eólico

Este roteiro explica os temas centrais de interesse para a pesquisa "Sistema Nacional de Inovação de Energia Eólica", no que diz respeito à coleta de opinião de especialistas no setor.

Os temas abordados na entrevista estão listados abaixo:

1. A política de inovação para energia eólica tem como foco o desenvolvimento do aerogerador brasileiro. Qual a sua opinião sobre este objetivo? Quais deveriam ser os objetivos da política de inovação do setor?
2. Como são as especificidades dos ventos brasileiros e do setor elétrico brasileiro? Que inovações estas especificidades demandam?
3. Quais são as fragilidades técnicas do setor eólico brasileiro?
4. Quais são as principais inovações introduzidas no setor ultimamente no Brasil? Você as definiria como incrementais ou radicais?
5. Caso as inovações no setor no Brasil sejam de caráter incremental, você acha isto um problema ou é uma tendência mundial do setor?
6. Você concorda com a afirmação de que as empresas de aerogeradores que estão no Brasil nacionalizam apenas os equipamentos de menor intensidade tecnológica? Em caso afirmativo, como a política pode reverter isto? A política do BNDES tem revertido esta tendência?
7. De que forma a você acredita que é possível estimular processos de transferência tecnológica da matriz para a subsidiária no setor eólico?
8. Qual a sua opinião sobre a mudança na metodologia no cálculo do índice de nacionalização do BNDES. Trata-se de um avanço ou retrocesso? Quais são os efeitos esperados?
9. As empresas brasileiras de aerogerador tendem a não se articular com as universidades ou grupos de pesquisa. Quais são os motivos desta baixa interação? Em que medida a política pode articular os processos produtivos das empresas com as capacitações científicas brasileiras?
10. A política energética tem sido apontada como uma grande barreira para inovação devido a sua instabilidade. Em que medida a política energética pode apoiar os processos inovativos. Existe alguma forma de conciliar a modicidade tarifária e apoiar os processos de inovação na cadeia eólica?

11. Você acredita que há conflito de interesse entre os empreendedores e os fabricantes de aerogerador? Fale um pouco sobre os conflitos de interesse do setor.
12. Quais são as principais barreiras ao desenvolvimento do setor no Brasil?
13. Em relação à cadeia de fornecimento, há falta ou escassez de oferta de equipamentos? O fornecimento da cadeia é um obstáculo ao desenvolvimento do setor?
14. Quais são as principais falhas/ incoerências do governo em relação ao setor?
15. Qual a perspectiva de crescimento da energia eólica no Brasil?
16. Qual a sua opinião de que o Brasil deveria se tornar uma plataforma de exportação de aerogeradores? Quais medidas são necessárias para isto ocorrer?
17. Tem algum comentário adicional?

Desde já obrigado pela disposição. Qualquer dúvida entrar em contato com eolica@redesist.ie.ufrj.br ou gabriela@redesist.ie.ufrj.br

APÊNDICE 4

Apêndice 4 - Questionário de Pesquisa - TECSIS

1. Identificação

1. Nome:

2. Cargo/Função:

3. Email:

4. Telefone:

5. Ano de fundação da empresa:

6. País de origem do capital controlador:

7. Possui instalações no Brasil (sede, escritórios, fábricas, centro de pesquisa)? Desde quando? Onde?

2. Fundação e história da Tecsis e situação atual no ...

1. É possível dizer que a Tecsis foi resultado de um transbordamento tecnológico do Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) ? Explique como ocorreu a fundação da empresa.

2. Geralmente as empresas de pás eólicas têm origem na indústria naval. Como isso diferencia tecnologicamente a Tecsis?

3. O que motivou a fundação da empresa, tendo em vista que o mercado brasileiro de energia eólica era praticamente inexistente até a última década?

4. Atualmente, qual a posição da Tecsis no mundo, em termos de participação de mercado e tecnologia?

5. Quais são os clientes mais relevantes para sua empresa atualmente? Qual a participação aproximada do lucro da empresa provinda de cada cliente?

6. Atualmente, qual a participação do mercado brasileiro nas vendas da empresa? Houve uma alteração dessa participação com a crise internacional e retração dos mercados tradicionais de energia eólica?

7. Quais são os desafios para a exportação de pás? Como a Tecsis consegue manter competitividade internacional, incluindo os custos de transporte?

3. Estratégias de Inovação

1. A produção de pás eólicas é uma atividade intensiva em tecnologia? Qual a importância da tecnologia para a competitividade da empresa? A tecnologia é uma barreira a entrada no segmento?

2. A tecnologia das pás é capaz de aumentar substancialmente a eficiência das turbinas eólicas? Quais foram as inovações mais relevantes nesse sentido nos últimos anos?

3. Existe um trade-off entre Minimização de Custo e Maximização da Eficiência das Pás? Como o modelo que prioriza a modicidade tarifária influencia e limita a trajetória tecnológica brasileira e a diferença da Europa?

4. Qual é a diferença das pás ideais para o padrão dos ventos brasileiros? Como isso influencia a trajetória tecnológica brasileira e a diferença do resto do mundo?

5. Atualmente, quais são os maiores desafios tecnológicos do segmento? Existem muitas oportunidades tecnológicas ou a inovação é de rotina (incremental / adaptativa)?

6. Qual é a diferença entre pás sob encomenda e pás de prateleira, do ponto de vista da produção e do uso? Em que medida os processos tecnológicos se diferenciam?

7. Quais são as capacitações científicas e produtivas que a Tecsis desenvolve para oferecer pás sob encomenda? Nesse mesmo aspecto, como se diferencia a fábrica?

8. Onde ocorre o desenvolvimento tecnológico da firma? Quais são os Centros de Pesquisas da Tecsis e quais são seus respectivos objetivos e resultados alcançados?

9. A Tecsis mantém parcerias com instituições de pesquisa ou universidades? Quais são os objetivos e resultados alcançados?

10. A Tecsis mantém parcerias internacionais para o desenvolvimento tecnológico? Quais são as parcerias, objetivos e resultados?

11. A sua empresa depositou patentes no Brasil? Estão sendo aplicadas na indústria eólica? Quais são essas patentes?

12. Onde foram desenvolvidas as patentes depositadas no Brasil? Elas foram resultados de que esforços de inovação? Foram desenvolvidas em parceria com outras instituições? Quais?

13. Por que a Tecsis deve ser considerada uma empresa inovadora, com elevada intensidade tecnológica? Quais foram as inovações mais importantes da empresa? Que importância tiveram para o desenvolvimento do setor eólico?

14. Informe os gastos despendidos para desenvolver as atividades de inovação (indicar a % em cima do faturamento bruto), nos últimos três anos.

Gastos com todas atividades inovativas

Gastos com P&D

Gastos com aquisição de máquinas e equipamentos

Gastos com treinamento e capacitação

15. Informe as fontes de financiamento para as atividades inovativas (indicar a % em cima do faturamento bruto), nos últimos três anos.

Próprias	<input type="text"/>
De Terceiros (Privados)	<input type="text"/>
De Terceiros (Público. Ex: FINEP, BNDES, BNB, etc.)	<input type="text"/>

16. Sua empresa introduziu produtos ou processos (novos ou aperfeiçoados) nos últimos três anos no Brasil?

SIM NÃO

17. Inovações de produto

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Aperfeiçoamento de um produto já existente | <input type="checkbox"/> Novo para o país, mas não para o mundo |
| <input type="checkbox"/> Novo para a empresa, mas não para o país | <input type="checkbox"/> Novo para o mundo |

18. Inovações de processo

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Aperfeiçoamento de um processo já existente | <input type="checkbox"/> Novo para o país, mas não para o mundo |
| <input type="checkbox"/> Novo para a empresa, mas não para o país | <input type="checkbox"/> Novo para o mundo |

19. Inovações organizacionais

- Implementação de técnicas avançadas de gestão
- Implementação de significativas mudanças na estrutura organizacional

20. Indique os principais objetivos da empresa em relação ao uso/desenvolvimento de inovações. (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Aumentar o lucro	<input type="radio"/>				
Manter a participação no mercado	<input type="radio"/>				
Ampliar a participação no mercado	<input type="radio"/>				
Reduzir custos	<input type="radio"/>				
Contribuir com o meio ambiente	<input type="radio"/>				
Agregar valor ao seu produto	<input type="radio"/>				
Se adequar à cadeia produtiva	<input type="radio"/>				
Se adequar as regulamentações (ou programas) governamentais*	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique) / *Especifique a regulamentação

21. Qual a importância das atividades inovativas abaixo para desenvolvimento tecnológico de energia eólica na sua empresa? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Atividade de P&D interna à empresa	<input type="radio"/>				
Aquisição de P&D externa à empresa	<input type="radio"/>				
Treinamento interno na empresa	<input type="radio"/>				
Treinamento externo à empresa	<input type="radio"/>				
Compra de máquinas e equipamentos	<input type="radio"/>				
Utilização de publicações acadêmicas	<input type="radio"/>				
Parceria com universidades	<input type="radio"/>				
Parceria com outros institutos de pesquisa	<input type="radio"/>				
Parceria com outras empresas	<input type="radio"/>				
Contratação de pesquisadores temporários	<input type="radio"/>				
Contratação de pesquisadores permanentes	<input type="radio"/>				
Utilização de novos materiais (insumos, matéria-prima, etc.)	<input type="radio"/>				
Utilização de licenças de uso ou patentes	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

22. Assinalar, dos itens abaixo, as fontes de informação para o aprendizado, visando desenvolver e/ou melhorar os produtos e processos, que a empresa utilizou, nos últimos três anos.

Fontes Internas à empresa

Departamento de P & D

Área de produção

Áreas de vendas e marketing, serviços de atendimento ao cliente

23. Fontes Externas

Outros estabelecimentos dentro do grupo

Fornecedores de insumos (equipamentos, materiais, etc.)

Clientes

Concorrentes

Outras empresas do Setor

Empresas de consultoria

Universidades/Institutos de Pesquisa

Conferências, Seminários, Feiras, Cursos e Publicações Especializadas

24. Quais são os fatores críticos para o processo de inovação na sua empresa?

(0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
P&D	<input type="radio"/>				
Interação e cooperação com instituições de pesquisa e universidades	<input type="radio"/>				
Conhecimento científico e técnico	<input type="radio"/>				
Máquinas e equipamentos adequados	<input type="radio"/>				
Mão-de-obra qualificada	<input type="radio"/>				
Infraestrutura adequada	<input type="radio"/>				
Políticas de inovação adequadas	<input type="radio"/>				
Financiamento	<input type="radio"/>				
Existência de centros de certificação	<input type="radio"/>				
Colaboração interdisciplinar	<input type="radio"/>				
Planejamento de longo prazos do setor energético	<input type="radio"/>				
Processos de fusão e aquisição de empresas	<input type="radio"/>				
Adequação à regulamentação governamental	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

25. Quais as principais dificuldades encontradas para a inovar:

(0-não dificulta, 1-dificulta um pouco, 2-dificulta, 3-dificulta muito, 4-inviabiliza)

	0	1	2	3	4
Falta de pessoal qualificado / escassez de serviços técnicos	<input type="radio"/>				
Problemas relacionados à propriedade intelectual (alto custo e direitos pertencentes a outros)	<input type="radio"/>				
Dificuldade de financiamento	<input type="radio"/>				
Incerteza quanto Política Energética	<input type="radio"/>				
Falta de uma política de inovação adequada	<input type="radio"/>				
Instabilidades macroeconômica	<input type="radio"/>				
Falta de infraestrutura geral	<input type="radio"/>				
Insuficiente infraestrutura de Tecnologias Industriais Básicas (TIB) no país (laboratórios de referência, certificação, INMETRO, etc.)	<input type="radio"/>				
Baixo preço da energia eólica	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

4. Política de Inovação

1. Algum programa governamental de incentivo a inovação foi/ é essencial para o desenvolvimento tecnológico da Tectsis? Qual e por quê?

2. A sua empresa tem conhecimento/ é beneficiada pelos programas de apoio às atividades de Inovação?

	Não conhece	Conhece mas não é beneficiada	Conhece e é beneficiada
Subvenção Econômica (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fundo setorial (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Programa de P&D (ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inova energia (BNDES, FINEP, ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lei do Bem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Outro (especifique)

3. Qual a faixa de valor do apoio recebido para cada programa?

	Menos de R\$ 500.000,00	Entre R\$ 500.000,00 e R\$ 1 Milhão	Entre R\$ 1 Milhão e R\$ 5 Milhões	Mais de R\$ 5 Milhões
Programa de P&D (ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inova energia (BNDES, FINEP, ANEEL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fundo setorial (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lei do Bem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Subvenção Econômica (FINEP)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Como você avalia os programas de incentivo a inovação?

Subvenção Econômica (FINEP)	<input type="text"/>
Fundo setorial (FINEP)	<input type="text"/>
Programa de P&D (ANEEL)	<input type="text"/>
Inova energia (BNDES, FINEP, ANEEL)	<input type="text"/>
Lei do Bem	<input type="text"/>
Outro	<input type="text"/>

5. Sem esse(s) programa(s)/instrumentos(s) a empresa teria gerado de inovações?

SIM

NÃO

Indique os motivos:

6. Indique se a empresa é beneficiada pelos seguintes instrumentos e em seguida marque o grau de relevância deste instrumento para a capacidade de inovação da sua empresa?(0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	É beneficiado	0	1	2	3	4
Compras do Governo	<input type="checkbox"/>					
Incentivo fiscal às atividades de P&D interna ou externa a firma	<input type="checkbox"/>					
Incentivo fiscal para compra de máquinas e equipamentos para desenvolvimento tecnológico	<input type="checkbox"/>					
Incentivo fiscal específico ao uso de energia eólica com tecnologia nacional	<input type="checkbox"/>					
Equalização de juros para investimentos em desenvolvimento tecnológico	<input type="checkbox"/>					
Incentivo a parcerias com instituições de pesquisa e universidades	<input type="checkbox"/>					
Incentivo a parceria com outras empresas	<input type="checkbox"/>					
Bolsa ou incentivo para contratação de pessoal qualificado	<input type="checkbox"/>					
Incentivo à projetos industriais e outras preparações técnicas para a produção e distribuição	<input type="checkbox"/>					
Incentivo à inserção e comercialização dos produtos e/ou processos no mercado	<input type="checkbox"/>					
Estímulo a patentes	<input type="checkbox"/>					
Estímulo a demanda	<input type="checkbox"/>					
Financiamento para investimentos na empresa em geral	<input type="checkbox"/>					
Apoio a capital de risco	<input type="checkbox"/>					
Outro	<input type="checkbox"/>					

Outro (especifique)

7. Quais as principais fragilidades dos programas e instrumentos do governo no incentivo a inovação? (0-não dificulta, 1-dificulta um pouco, 2-dificulta, 3-dificulta muito, 4-inviabiliza)

	0	1	2	3	4
Elevada burocracia	<input type="radio"/>				
Excessivo foco em P&D	<input type="radio"/>				
Baixo valor disponível nos programas/instrumentos	<input type="radio"/>				
Baixa articulação entre os programas/instrumentos	<input type="radio"/>				
Não abrange etapas importantes no processo de inovação	<input type="radio"/>				
Desarticulação com outras políticas importantes (industrial, monetária, comercial, cambial, etc)	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

8. Na sua opinião, o que seria uma política de inovação adequada para a cadeia produtiva de energia eólica?

5. Índice de Nacionalização do BNDES

1. O Índice de Nacionalização do BNDES incentivou a demanda por pás da Tecsis? Que fábricas brasileiras passaram a demandar pás da Tecsis para se adequar ao IN?

2. A exigência de conteúdo local do BNDES pode afetar o padrão de competição no segmento de pás? Como você enxerga os novos entrantes no segmento, e o quanto você acredita que o IN contribui para essa entrada?

3. O Índice de Nacionalização incentivou algum processo de inovação na sua empresa? Se sim, qual inovação foi resultado da adequação ao IN?

4. O IN teve alguma influência quanto aos fornecedores da Tecsis? A Tecsis passou a adquirir localmente algum produto antes importado, por conta do IN?

5. Qual sua opinião sobre a atual reformulação no cálculo do IN para fabricantes de turbinas eólicas? Você considera o IN capaz de desenvolver a cadeia de fornecedores locais?

6. Cadeia Produtiva

1. Qual a capacidade de fabricação anual de pás da Tectsis?

2. Quantas fábricas a Tectsis possui no Brasil?

3. Descreva as fábricas da Tectsis:

O que

produz:

Onde:

Ano de

fundação:

Capacidade

de produção:

Nº

Funcionários:

4. A Tectsis possui fábricas no exterior? O que produz e por quê?

5. Quais são os principais insumos de produção das pás? Desses, quais a Tectsis produz (integração vertical), quais são adquiridos localmente e quais são importados?

6. Quem são os principais fornecedores locais dos componentes não produzidos pela empresa?

7. Quem são os principais fornecedores estrangeiros dos componentes não produzidos pela empresa?

8. No caso de componentes não produzidos pela empresa no Brasil, por que a empresa decidiu adquiri-los localmente? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Empresa segue estratégia global de não produzir o componente	<input type="radio"/>				
Empresa não possui capacitação na produção do componente	<input type="radio"/>				
Estratégia de minimização de custo	<input type="radio"/>				
Existência de fornecedores locais adequados	<input type="radio"/>				
Relação de longo prazo com um determinado fornecedor local	<input type="radio"/>				
Adequação ao Índice de Nacionalização requerido pelo BNDES	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

9. No caso de componentes não produzidos pela empresa no Brasil e importados, por que a empresa prefere importa-los? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Inexistência ou insuficiência de fornecedores locais	<input type="radio"/>				
Elevado preço dos fornecedores locais	<input type="radio"/>				
Baixa qualidade dos fornecedores locais	<input type="radio"/>				
Fabricação própria no exterior	<input type="radio"/>				
Relação já estabelecida com fornecedor estrangeiro	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

10. A empresa planeja produzir localmente ou adquirir com fornecedores locais esses componentes importados nos próximos 5 anos? Por quê?

7. Impactos da empresa no desenvolvimento local

1. Quais são os incentivos regionais governamentais oferecidos para sua empresa?

Dimensione, em valor aproximado, esses incentivos.

2. Que outras empreendimentos se desenvolveram na região em função da atividade da sua empresa?

3. A sua empresa desenvolveu obras de infraestrutura na região? E o governo, tendo em vista a atividade da sua empresa? Qual impacto destas obras para a região?

4. Qual impacto da sua empresa sobre qualificação e treinamento da mão-de-obra local? A empresa promoveu treinamento para seus funcionários em 2012? Em quais áreas? Quantas pessoas por área?

5. A sua empresa possui parcerias com as instituições de pesquisa / universidade locais visando a qualificação de mão-de-obra local?

6. Sua empresa tem conhecimento sobre os programas governamentais de capacitação e treinamento que beneficiem o setor eólico? Quais são eles? São adequados à necessidade do setor?

7. Indique o número de pessoal ocupado, por escolaridade (situação no ano de 2012):

Analfabeto	<input type="text"/>
Ensino fundamental Incompleto	<input type="text"/>
Ensino fundamental completo	<input type="text"/>
Ensino médio completo	<input type="text"/>
Superior completo	<input type="text"/>
PósGraduação	<input type="text"/>

8. Informe o número de pessoal ocupado, por relações de trabalho (Situação no ano de 2012):

Sócio proprietário	
Contratos formais	
Estagiário	
Serviço temporário	
Terceirizados	
Familiares sem contrato formal	

9. Indique a principal origem da mão-de-obra contratada:

	Mão de Obra Local	Mão de Obra de Outras Regiões	Mão de Obra estrangeira
Analfabeto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensino fundamental incompleto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensino fundamental completo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensino médio completo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Superior completo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pós Graduação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

APÊNDICE 5

Apêndice 5 – Especialista em Energia Eólica

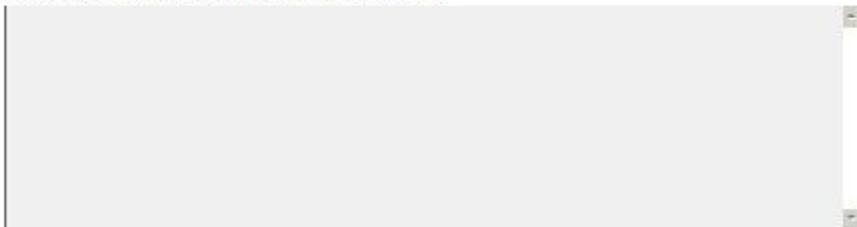
1. Identificação**1. Instituição:****2. Nome:****3. Cargo/Função:****4. Email:****5. Telefone:**

2. Relevância do mercado brasileiro

1. Que importância teve o mercado brasileiro no cenário de crise internacional e de retração dos mercados tradicionais de energia eólica?

A large, empty rectangular text box with a light gray background and a thin black border, intended for the user's answer to the first question. A small scroll bar is visible on the right side.

2. Qual a importância atualmente do mercado brasileiro no cenário global? Quais são as perspectivas para os próximos 5 anos?

A large, empty rectangular text box with a light gray background and a thin black border, intended for the user's answer to the second question. A small scroll bar is visible on the right side.

3. Índice de Nacionalização do BNDES

1. Qual o impacto do Índice de Nacionalização no BNDES no que se refere a:
(0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Atrair multinacionais a abrirem fabricas no Brasil	<input type="radio"/>				
Aumento do preço final da energia eólica	<input type="radio"/>				
Aumento dos custos de produção do aerogerador	<input type="radio"/>				
Desenvolvimento da Cadeia Produtiva	<input type="radio"/>				
Geração de Emprego	<input type="radio"/>				
Desenvolvimento Regional	<input type="radio"/>				
Desenvolvimento de tecnologia nacional	<input type="radio"/>				
Redução da concorrência no setor	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

2. Qual sua opinião sobre o índice de Nacionalização do BNDES?

3. Atualmente o BNDES reformulou o calculo do Índice de Nacionalização. O que você acha destas alterações? Quais são os resultados esperados?

4. Qual a capacidade do IN de promover o desenvolvimento de tecnologia nacional?

5. Marque apenas as afirmativas na qual você concorda:

- O IN do BNDES foi bem sucedido no desenvolvimento da cadeia eólica e na geração de emprego
- O IN foi desnecessário uma vez que as empresas fabricantes de turbinas já tinham planos de se instalar no Brasil devido a crise mundial.
- As empresas fabricantes de turbinas só nacionalizam os componentes de baixo conteúdo tecnológico.
- A ausência de empresas nacionais fabricantes de turbinas é um problema para o desenvolvimento tecnológico brasileiro.

4. Inovação em energia eólica

1. Diga o grau de importância dos seguintes aspectos para o processo de inovação em energia eólica no Brasil? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
P&D	<input type="radio"/>				
Interação e cooperação com Instituições de pesquisa e universidades	<input type="radio"/>				
Conhecimento científico e técnico	<input type="radio"/>				
Máquinas e equipamentos adequados	<input type="radio"/>				
Mão-de-obra qualificada	<input type="radio"/>				
Infraestrutura de CTI adequada	<input type="radio"/>				
Infraestrutura Geral	<input type="radio"/>				
Políticas de inovação adequadas	<input type="radio"/>				
Financiamento	<input type="radio"/>				
Existência de centros de certificação	<input type="radio"/>				
Colaboração Interdisciplinar	<input type="radio"/>				
Planejamento de longo prazos do setor energético	<input type="radio"/>				
Processos de fusão e aquisição de empresas	<input type="radio"/>				
Adequação à regulamentação governamental	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

2. Em que medida os itens abaixo dificultam os processos de inovação no complexo industrial eólico brasileiro? (0 não dificulta, 1 dificulta um pouco, 2 dificulta, 3 dificulta muito, 4 inviabiliza)

	0	1	2	3	4
Incerteza quanto Política Energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Falta de uma política de inovação adequada	<input type="radio"/>				
Instabilidades macroeconômica	<input type="radio"/>				
Falta de infraestrutura geral	<input type="radio"/>				
Insuficiente Infraestrutura de Tecnologias Industriais Básicas (TIB) no país (laboratórios de referência, certificação, INMETRO, etc.)	<input type="radio"/>				
Baixo preço da energia eólica	<input type="radio"/>				
Falta de pessoal qualificado / escassez de serviços técnicos	<input type="radio"/>				
Problemas relacionados a propriedade intelectual (alto custo e direitos pertencentes a outros)	<input type="radio"/>				
Dificuldade de financiamento	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

3. O setor de energia eólica é considerado intensivo em inovação no mundo? Quais foram as inovações mais relevantes para o desenvolvimento da energia eólica no mundo nos últimos anos e que impactos elas tiveram?

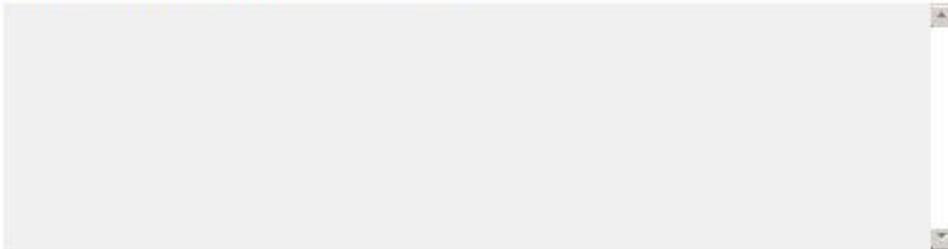
4. O setor de energia eólica é considerado intensivo em inovação no Brasil? Há um hiato entre o desenvolvimento no mundo e o desenvolvimento tecnológico no Brasil?

5. O desenvolvimento tecnológico no Brasil é mais de caráter incremental/ adaptativo ou há desenvolvimentos tecnológicos mais substanciais?

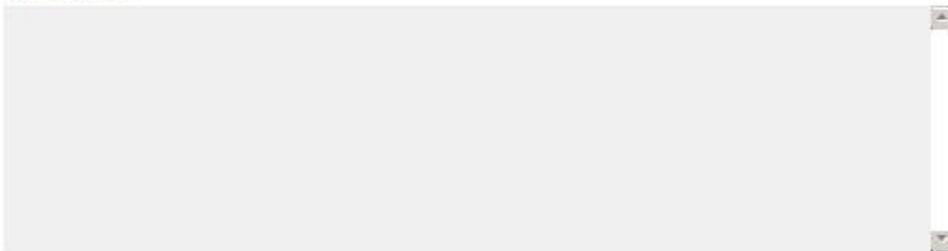
6. Quais foram as inovações mais relevantes para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil nos últimos anos e que impactos elas tiveram?

7. Caso haja uma deficiência no desenvolvimento tecnológico brasileiro em eólica, o que falta para o Brasil se tornar desenvolvedor de tecnologia?

8. Quais são os desafios tecnológicos que o desenvolvimento de energia eólica no mundo enfrenta atualmente? E no Brasil?



9. Quais são as especificidades tecnológicas necessárias para o melhor aproveitamento dos ventos brasileiros? E para adequação ao Sistema Elétrico Brasileiro?



5. Política de Inovação

1. Como você avalia os principais programas de inovação que beneficiam empresas do setor eólico? Eles conseguem induzir processos inovativos?

Subvenção

Econômica

Fundo setorial

P&D da ANEEL

Inova Energia

Lei do Bem

2. Indique o grau de relevância destes instrumentos governamentais para a capacidade de inovação do setor eólico brasileiro. (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Incentivo fiscal às atividades de P&D interna ou externa a firma	<input type="radio"/>				
Incentivo fiscal para compra de máquinas e equipamentos para desenvolvimento tecnológico	<input type="radio"/>				
Equalização de juros para investimentos em desenvolvimento tecnológico	<input type="radio"/>				
Incentivo a parcerias com instituições de pesquisa e universidades	<input type="radio"/>				
Incentivo a parceria com outras empresas	<input type="radio"/>				
Bolsa ou incentivo para contratação de pessoal qualificado	<input type="radio"/>				
Incentivo a projetos industriais e outras preparações técnicas para a produção e distribuição	<input type="radio"/>				
Incentivo à inserção e comercialização dos produtos e/ou processos no mercado	<input type="radio"/>				
Financiamento para investimentos na empresa em geral	<input type="radio"/>				
Apoio a capital de risco	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

3. Quais as principais fragilidades dos programas e instrumentos do governo no incentivo a inovação?

(0-não dificulta, 1-dificulta um pouco, 2-dificulta, 3-dificulta muito, 4-inviabiliza)

	0	1	2	3	4
Elevada burocracia	<input type="radio"/>				
Excessivo foco em PeD	<input type="radio"/>				
Baixo valor disponível nos programas/instrumentos	<input type="radio"/>				
Baixa articulação entre os programas/instrumentos	<input type="radio"/>				
Não abrange etapas importantes no processo de inovação	<input type="radio"/>				
Desarticulação com outras políticas importantes (industrial, monetária, comercial, cambial, etc)	<input type="radio"/>				
Outros	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

4. Na sua opinião, o que seria uma política de inovação adequada para a energia eólica?

6. Áreas de conhecimento e capacitação

1. Em relação aos conhecimento necessário para o desenvolvimento tecnológico da energia eólica no Brasil, quais são as principais áreas da ciência necessárias? (0-Irrelevante; 1-Pouco Relevante; 2-Relevante; 3-Muito Relevante; 4-Indispensável)

	0	1	2	3	4
Engenharia Elétrica	<input type="radio"/>				
Engenharia Mecânica	<input type="radio"/>				
Engenharia Civil	<input type="radio"/>				
Engenharia de Materiais e Metalúrgica	<input type="radio"/>				
Engenharia de Produção	<input type="radio"/>				
Ciência da Computação	<input type="radio"/>				
Geociências	<input type="radio"/>				
Física	<input type="radio"/>				
Planejamento Urbano e Regional	<input type="radio"/>				
Arquitetura e Urbanismo	<input type="radio"/>				
Ciências Econômicas	<input type="radio"/>				
Administração	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				

Outro (especifique)

2. O Brasil possui fortes capacitações científicas nas áreas importantes para o desenvolvimento da energia eólica?

3. Em caso positivo, estas capacitações científicas estão sendo aproveitadas nos processos de inovação no complexo industrial eólico?

4. Dos grupos temáticos de estudo abaixo, quais são prioritários para o desenvolvimento de novas tecnologias no Brasil?(0-Irrelevante, 1-Relevante, 2-Prioritário)

	0	1	2
Tecnologias de aerogeradores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Recursos eólicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tecnologia de Materiais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Política, economia e análises socioambientais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conexão e Integração à rede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Engenharia e centrais eólicas (planejamento, construção, operação e manutenção de parques)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Planejamento e operação do sistema elétrico nacional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Normalização, certificação e padronização de equipamentos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outro (especifique)	<input type="text"/>		

5. Dos grupos temáticos abaixo, qual o nível de maturidade da tecnologia no Brasil? (1-Pesquisa Básica; 2-Pesquisa Aplicada; 3-Desenvolvimento Experimental; 4- Aplicação prática seletiva; 5- Uso Generalizado)

	1	2	3	4	5
Tecnologias de aerogeradores	<input type="radio"/>				
Recursos eólicos	<input type="radio"/>				
Tecnologia de Materiais	<input type="radio"/>				
Política, economia e análises socioambientais	<input type="radio"/>				
Conexão e Integração à rede	<input type="radio"/>				
Engenharia e centrais eólicas (planejamento, construção, operação e manutenção de parques)	<input type="radio"/>				
Planejamento e operação do sistema elétrico nacional	<input type="radio"/>				
Normalização, certificação e padronização de equipamentos	<input type="radio"/>				
Outro	<input type="radio"/>				
Outro (especifique)	<input type="text"/>				

7. Desenvolvimento Regional

1. Qual o impacto do setor eólico para o desenvolvimento local?

2. O desenvolvimento do setor eólico impulsiona o desenvolvimento de quais outros setores?

3. Há avanço na infraestrutura da região em função dos empreendimentos de energia eólica? Quais?

4. Qual o potencial de geração de empregos diretos e indiretos do setor eólico?

5. Quais são as limitações do setor eólico como indutor de desenvolvimento?

6. Quais são os impactos negativos do setor eólico para a região de instalação?

7. Qual a sua opinião sobre os incentivos governamentais dado a construção de parques eólicos e as empresas de equipamentos eólicos?

APÊNDICE 6

Apêndice 6 – Aspectos Metodológicos do Diretório de Pesquisa do CNPQ

Procedimentos Metodológicos Para Utilização da Base de Dados de grupos de pesquisa do CNPQ

O Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP-CNPq) representa uma base de dados é formada por instituições que certificam seus grupos de pesquisa. Podem participar do Diretório as seguintes categorias de instituições: universidades federais, estaduais, municipais e privadas; instituições de educação superior não universitárias que possuam pelo menos um curso de pós-graduação reconhecido pela CAPES/MEC (centros universitários, faculdades integradas, faculdades isoladas, institutos, escolas, centros de educação tecnológica, etc.); institutos públicos de pesquisa científica; institutos tecnológicos públicos e centros federais de educação tecnológica; laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de empresas estatais.

O Grupo de Pesquisa é definido como um conjunto de indivíduos organizados hierarquicamente em torno de uma ou, eventualmente, duas lideranças: cujo fundamento organizador dessa hierarquia é a experiência, o destaque e a liderança no terreno científico ou tecnológico, no qual existe envolvimento profissional e permanente com a atividade de pesquisa, cujo trabalho se organiza em torno de linhas comuns de pesquisa, e que, em algum grau, compartilha instalações e equipamentos. Somente os grupos certificados pela instituição são considerados pelo CNPq para os Censos do Diretório e para as consultas de acesso da Base Corrente. O prazo de validade de um grupo certificado é de 12 meses.

O pesquisador Líder de Grupo é o personagem que detém a liderança acadêmica e intelectual naquele ambiente de pesquisa. Normalmente, tem a responsabilidade de coordenação e planejamento dos trabalhos de pesquisa do grupo. Sua função aglutina os esforços dos demais pesquisadores e aponta horizontes e novas áreas de atuação dos trabalhos.

Linha de pesquisa representa temas aglutinadores de estudos científicos que se fundamentam em tradição investigativa, de onde se originam projetos cujos resultados guardam afinidades entre si.

Pesquisadores são os membros graduados ou pós-graduados da equipe de pesquisa, direta e criativamente envolvidos com a realização de projetos e com a produção científica, tecnológica e artística do grupo. Se estiver matriculado em um curso de graduação ou pós-graduação (especialização, mestrado ou doutorado), deve ser

incluído como estudante, desde que seu orientador seja um pesquisador do grupo. Estagiários pós-doutorais devem ser considerados como pesquisadores do grupo.

Estudantes são indivíduos (bolsistas ou não) em iniciação científica e em cursos de pós-graduação que participam ativamente das linhas de pesquisa desenvolvidas pelo grupo, como parte de suas atividades discentes, sob a orientação de pesquisadores do grupo. Os estagiários em nível de pós-doutoramento devem ser considerados como pesquisadores do grupo, e não como estudantes.

Não foi encontrada a definição de Técnicos, mas serão considerados para fins desta pesquisa indivíduos com formação técnica e com vínculo permanente nas atividades de pesquisa do grupo.

A base de dados é preenchida de forma espontânea pelos pesquisadores. Mas como defende Bianchi (2011), o mecanismo de auto-identificação de grupos, da maneira como o aplica o CNPq para a construção do Diretório de Grupos de Pesquisa, resulta uma metodologia válida. Segundo o autor, a método de identificação do CNPq contém mecanismos de prêmio associados ao preenchimento e de castigo para a não identificação que tornam o método confiável. Além disso, o preenchimento prevê a validação institucional por parte da autoridade da organização na qual o grupo está inserido. É importante notar que, apesar de ser um cadastro opcional do pesquisador, o número de grupos e pesquisadores cadastrados vem aumentando ao longo do tempo. Nesse sentido, consideramos que o cadastro de grupos do CNPq oferece uma fonte de informação valiosa. Tanto Bianchi (2011) quanto Rapini (2010) afirmam que o Diretório de Pesquisa do CNPq é uma boa representatividade da comunidade científica nacional.

No âmbito da presente pesquisa, empregou-se como fonte de informação básica a “Base corrente” do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq. Essa base contém informações sobre os grupos de pesquisa em atividade no País, coletadas tanto a partir do cadastro de todos os grupos registrados no último Censo (2008)¹ quanto através das atualizações permanente da base de dados, realizada pelos próprios pesquisadores-líderes de grupo e que podem inclusive incluir novos grupos. O levantamento inclui informações incluídas na base de dados até setembro de 2013.

¹O cadastro geral se realiza através de censos bianuais.

Para a identificação de Grupos dedicados a atividades de energia eólica, se empregou uma combinação de palavras-chave. A lista de palavras-chave foi definida em conjunto com dois especialistas do setor: Rodrigo Dorado e Bardo Bodmann.

As palavras-chave utilizadas foram: eólica, vento, atmosfera, medições do vento, anemômetros, sistema de sensoriamento, remoto, lidar, sodar, datalogger, calibração, campanha de medição, avaliação do recurso eólico, mesoescala, microescala, modelos estatísticos, estocásticos, redes neurais, modelos de reanálise, terreno, efeitos de esteira de aerogeradores, turbulência, turbinas eólicas, eixo vertical, eixo, sustentação, arrasto, fator de capacidade, pás, scada, harmônicos, flickers.

Empregando as palavras chaves, foram encontrados 112 diferentes Grupos de Pesquisa em atividade. A seguir, foi feito um procedimento de triagem, analisando caso a caso, que permitiu descartar alguns grupos que não tinham relação com energia eólica. Ao final chegou-se a 100 grupos de pesquisa que desenvolviam alguma linha de pesquisa em energia eólica. Os 100 Grupos de Pesquisa selecionados possuíam, em 2013, 1.792 membros, sendo 798 pesquisadores, 876 estudantes e 118 técnicos.

Cada um destes grupos possui inúmeras linhas de pesquisa, e o critério de seleção para definir os grupos a serem considerados neste trabalho foi a existência de pelo menos uma linha de pesquisa com temática explícita em energia eólica, mesmo que não exclusiva. Portanto, incluem-se grupos com ampla diversidade temática, num total de 558 Linhas de Pesquisa.

ANEXO

ANEXO 1

- Condições de Financiamento para projetos de geração a partir de fontes renováveis, incluído eólica

- Condições de financiamento do BNB para projetos eólicos

Anexo 1

Condições de Financiamento para projetos de geração a partir de fontes renováveis, incluindo eólica

Taxa de juros	Apoio Direto*	Custo Financeiro + Remuneração Básica do BNDES + Taxa de Risco de Crédito
	Apoio Indireto**	Custo Financeiro + Remuneração Básica do BNDES + Taxa de Intermediação Financeira + Remuneração da Instituição Financeira Credenciada
Custo Financeiro	6% ***	
Remuneração Básica do BNDES	0,9% a.a.	
Taxa de Risco de Crédito	até 3,57% a.a.	
Taxa de Intermediação Financeira	0,5% a.a. ****	
Remuneração da Instituição Financeira Credenciada	Negociada entre instituição financeira credenciada e cliente.	
Participação Máxima do BNDES	80% dos itens financiáveis	
Prazo de Amortização	16 anos	
Garantias *****	Apoio Direto	Definidas na análise da operação.
	Apoio Indireto	Negociadas entre a instituição financeira credenciada e o cliente.

* operação feita diretamente com o BNDES

** operação feita por meio de instituição financeira credenciada

*** Taxa de Juros de Longo Prazo no 1T de 2011 (BNDES, 2011b)

**** Para grandes empresas. Caso contrário, são isentas. (BNDES, 2010f)

***** Detalhes em BNDES (2010g)

Fonte: BNDES, 2010

Condições de financiamento do BNB para projetos eólicos

Participação Máxima	70% a 95%*
Carência	Até 24 meses
Prazo Total	240 meses**
Taxa de Juros	9,5% a 10%***
Bônus de adimplência sobre encargos ⁸¹	15% a 25%****
Cobertura do serviço da Dívida	Até 70%

* Dependendo do porte do projeto e do nível de renda local.

** Incluindo a carência.

***Para projetos com faturamento inferior e superior à R\$ 35 milhões, respectivamente.

**** Em função da localização.

Fonte: BNB, 2009