

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**THOMÁS DE MATOS DA SILVA**

**PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO EÓLICA NO BRASIL FACE AOS  
INVESTIMENTOS INSTITUCIONAIS – ASPECTOS TÉCNICOS,  
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

**JOINVILLE/SC**

**2015**

**THOMÁS DE MATOS DA SILVA**

**PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO EÓLICA NO BRASIL FACE AOS  
INVESTIMENTOS INSTITUCIONAIS – ASPECTOS TÉCNICOS,  
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial na obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Adalberto de Araújo Barreto Filho

**JOINVILLE/SC**

**2015**

**THOMÁS DE MATOS DA SILVA**

**PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO EÓLICA NO BRASIL FACE AOS  
INVESTIMENTOS INSTITUCIONAIS – ASPECTOS TÉCNICOS,  
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do estado de Santa Catarina –  
Centro de Ciências Tecnológicas – Bacharelado em Engenharia Elétrica

**Banca Examinadora**

Orientador: Prof. Dr. Adalberto de Araújo Barreto Filho  
UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina)

Membro: Prof. Dr. Fernando Buzzulini Prioste  
UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina)

Membro: Prof. Dr. Antônio Flávio Licarião Nogueira  
UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina)

**JOINVILLE/SC**

**2015**

## DEDICATÓRIA

### **In memoriam**

Dedico este trabalho ao meu grande amigo Michel Alex Barbieri, irmão de coração, que infelizmente nos deixou precocemente e agora está próximo de Deus.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor orientador Dr. Adalberto de Araújo Barreto Filho pela dedicação e competência na orientação, e também pela sua amizade a mim prestada.

Agradeço aos meus pais Laércio Jorge da Silva e Patricia Aparecida de Matos da Silva por terem me amparado e me apoiado em todos os momentos durante minha graduação, e por terem me proporcionado a experiência de estudar em uma das melhores universidades do país.

Agradeço a minha namorada Janine Garcia por todo companheirismo, apoio, dedicação e compreensão, e a toda sua família pelo acolhimento que recebi ao longo dos últimos anos.

Agradeço aos meus avós paternos, Orlando Luiz da Silva e Terezinha Riboldi da Silva (*in memorian*), e aos meus avós maternos, João Maria de Matos (*In memorian*) e Edamir de Matos, por me apoiarem e me motivarem em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a toda minha família, e em especial aos meus primos Davis, João Pedro, Tiago, Felipe e Fabiano, aos meus tios Patric e Simone, e aos meus padrinhos tio Dari e tia Cleoir, por todos os momentos especiais e palavras de apoio.

Agradeço aos meus amigos do peito, Rodrigo, Rodolpho, Álvaro, Manoel e Michel (*in memorian*), pelos necessários momentos de descontração.

Agradeço a todos meus amigos e colegas de faculdade, e em especial a Lucas Herzer pelos conselhos e contribuições prestadas a este trabalho.

Agradeço aos demais membros da banca julgadora, Prof. Dr. Fernando Buzzulini Prioste e Prof. Dr. Antônio Flávio Licarião Nogueira, pelo tempo dedicado a avaliação desse trabalho.

Agradeço a Deus, pelo dom da vida.

“Podem ser encontrados aspectos positivos até nas situações negativas, e é possível utilizar tudo isso como experiência para o futuro, seja como piloto, seja como homem.”

(Ayrton Senna da Silva)

## RESUMO

O histórico da evolução dos sistemas eólicos no Brasil demonstra um vertiginoso crescimento, num espaço de duas décadas, correspondente a um considerável potencial, aliado a um regime particularmente favorável de ventos, sobretudo, em algumas regiões do país. A energia eólica teve seu primeiro registro no Brasil em 1992, com o início da operação comercial do primeiro aerogerador instalado, em Fernando de Noronha. Na última década, consonante com o aumento da preocupação da questão ambiental, a geração eólica apresentou uma significativa expansão, devido, sobretudo, aos investimentos do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Leilões de energia e ações institucionais de estímulo orientado demonstraram eficácia na ampliação deste parque gerador eólico. Alia-se a isto a característica de ser energia limpa e com impactos ambientais menores do que suas principais concorrentes. Conta atualmente com capacidade instalada de 8,1 GW, valor que corresponde a 4,8% da matriz energética brasileira. Os baixos índices pluviométricos recentes, ao lado das projeções climáticas – que apontam o continuado desmatamento da Amazônia como causa plausível da diminuição pluvial permanente na América do Sul - junto com os impactos ambientais e a elevação de preços, provenientes da energia termoelétrica, são determinantes no planejamento energético atual. Tudo isto aponta para uma necessária e maior diversificação na matriz energética brasileira – onde a contribuição eólica é crucial.

Uma comparação entre a geração eólica e outros energéticos, tais como PCHs, biomassa, gás natural, e solar, permite verificar o promissor potencial eólico brasileiro. Capaz de contribuir atraentemente para a expansão da oferta de energia, sobretudo, frente aos demais energéticos. Incentivos financeiros no setor, analisados com base em dados históricos - atuais e projeções futuras, têm sido decisivos. Neste contexto, aspectos técnicos da energia eólica - especificação de aerogeradores e seus componentes – passaram a interagir produtivamente com a indústria nacional. Os índices de custos da geração eólica permitem avaliar e quantificar o potencial do país nas diversas regiões - considerados o cálculo dos impactos socioeconômicos e ambientais correspondentes. Apesar da sua pujança, um limite de contribuição na expansão do parque gerador brasileiro merece ser considerado para as próximas décadas - confrontando o atual ritmo de expansão com o projetado.

**Palavras-chave:** energia eólica, geração de energia, fontes renováveis, parques eólicos, dependência hidroelétrica.

## ABSTRACT

The history of the evolution of wind system in Brazil shows a rapid growth, between two decades, corresponding a considerable potential, allied to an particularly favorable environment of winds, mainly in some regions of the country. The wind energy had its first record in Brazil at the year of 1992, with the beginning of the commercial operation of the first wind turbine installed, in Fernando de Noronha. In the last decade, agreeing with the increase of the concern about environment, the wind power showed a considerable expansion, caused, mainly by investments from the Incentive Program for Alternative Sources of Electric Energy (PROINFA). Energy auctions and institutional actions of guided incentive show efficiency in the extension of this wind generator park. Ally this to the feature of being a clean energy, with less environment impact than its main rivals. Nowadays it counts with installed capacity of 8.1 GW, value that corresponds 4.8% of the Brazilian energy matrix. The current low pluvial index, together with the climatic projections, that shows the nonstop deforestation of the Amazonian Forest as the plausible cause of the permanent pluvial low in South America, alongside with the environmental impact and the rise of prices from the thermoelectric energy, are determinants in the current energetic planning. All that points to a necessary and grander diversification in the Brazilian energy matrix, where the wind energy contribution is crucial.

A comparison between wind power and other energies such as MHC (Minor Hydropower Central), biomass, natural gas and solar energy, allows verifying the promising Brazilian wind potential. Able to appealing contribute to the expansion of the energy offer, mainly, against the other energies. Financial incentives in the sector, analyzed based in historic, current and future projection data have been decisive. In this context, technical aspects of wind energy (specification of wind turbines and its components) started to interact productively with the national industry. The cost index of wind generation allows evaluating and quantifying the country's potential in several regions (considering the calculation of corresponding the socio-economic and environmental impacts). Besides its strength, a limit in the contribution of the expansion in the Brazilian generator park deserves being considered for the next decades, confronting the current rhythm of expansion with the projected.

**Key-words:** wind energy, energy generation, renewable fonts, wind farms, hydropower dependence.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ambientes de contratação de energia.....	30
Figura 2 - Componentes básicos da principal configuração de aerogeradores.....	67
Figura 3 - Localização das montadoras de aerogeradores e dos principais parques eólicos .....	68
Figura 4 - Pá eólica moderna .....	69
Figura 5 - Localização das fábricas de pás .....	69
Figura 6 - Cubo de uma turbina.....	70
Figura 7- Nacele.....	71
Figura 8 - Unidades de montagem de cubos e de naceles .....	72
Figura 9 - Torres de aerogeradores .....	72
Figura 10 - Fábricas de torres instaladas no Brasil .....	73
Figura 11 -Parques eólicos na região Nordeste .....	76
Figura 12 - Parques eólicos na região Sul .....	77
Figura 13 - Parques eólicos na região Sudeste.....	78
Figura 14 - Potencial eólico brasileiro .....	80
Figura 15 - Médias de precipitação e velocidade dos ventos .....	81
Figura 16 - Atlas do potencial eólico mineiro a 75 metros e suas regiões promissoras .....	83
Figura 17 - Potencial eólico carioca a 75 metros .....	85
Figura 18 - Atlas do potencial eólico do Paraná a 75 metros .....	87
Figura 19 - Nível de ruído sonoro de algumas fontes.....	90
Figura 20 - Áreas importantes para avifauna no Brasil .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução do setor elétrico brasileiro.....	27
Tabela 2 - Investimentos nas usinas solares brasileiras .....	38
Tabela 3 – Preço do MWh das usinas solares .....	39
Tabela 4 - Investimentos nas usinas termelétricas a gás natural.....	41
Tabela 5 – Preço do MWh das usinas termelétricas a gás natural.....	42
Tabela 6 - Investimentos nas termelétricas a biomassa (combustível bagaço de cana) .....	44
Tabela 7 - Preço do MWh das usinas termelétricas a biomassa.....	45
Tabela 8 - Investimentos nas PCHs .....	48
Tabela 9 - Preço do MWh das PCHs .....	48
Tabela 10 - Investimentos nas usinas eólicas .....	51
Tabela 11 - Preço do MWh da fonte eólica .....	52
Tabela 12 – Características resumidas das fontes de energia.....	54
Tabela 13 - Ranking com base nos critérios estudados .....	56
Tabela 14 - Decomposição dos custos de usinas eólicas .....	65
Tabela 15 - Parques eólicos por estado.....	74
Tabela 16 - Evolução da capacidade instalada por fonte.....	95
Tabela 17 - Comparativo do PDE 2023 com a capacidade acumulada já contratada .....	108

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da capacidade e do consumo no SIN: 1989-2007 .....	25
Gráfico 2 - Matriz energética brasileira.....	28
Gráfico 3 - Complementaridade entre regimes sazonais de ventos e regime pluviométrico (das principais bacias hidrográficas) – na região Nordeste do Brasil ....	29
Gráfico 4 - Evolução da capacidade instalada mundial de energia eólica.....	34
Gráfico 5 - Capacidade instalada mundial por ano da fonte eólica .....	35
Gráfico 6 - Países com maior capacidade eólica instalada acumulada.....	36
Gráfico 7 - Países com maior capacidade eólica nova instalada em 2014 .....	36
Gráfico 8 - Fator de capacidade das termelétricas a gás natural em 2014 .....	43
Gráfico 9 - Fator de capacidade das termelétricas a biomassa em 2014.....	46
Gráfico 10 - Fator de capacidade das PCHs em 2014.....	49
Gráfico 11 - Fator de capacidade das usinas eólicas em 2014.....	53
Gráfico 12 - Investimento do BNDES no setor eólico.....	60
Gráfico 13 - Evolução dos custos por MW instalado .....	64
Gráfico 14 - Potência em construção .....	79
Gráfico 15 - Distribuição do potencial por região.....	80
Gráfico 16 - Causa da morte de pássaros a cada 10000 fatalidades.....	91
Gráfico 17 - Projeção do consumo de energia elétrica até 2050.....	96
Gráfico 18 – Previsão incremento percentual geração hidrelétrica .....	98
Gráfico 19 - Projeção sugerida para fonte hidrelétrica .....	99
Gráfico 20 - Geração eólica e consumo de eletricidade em Portugal.....	102
Gráfico 21 - Capacidade eólica instalada em Portugal.....	103
Gráfico 22 - Consumo de eletricidade na Espanha .....	104
Gráfico 23 - Participação eólica na Espanha.....	104
Gráfico 24 - Capacidade eólica instalada na Espanha.....	105
Gráfico 25 - Consumo de energia elétrica na Dinamarca.....	105
Gráfico 26 - Participação eólica na Dinamarca .....	106
Gráfico 27 - Capacidade eólica instalada na Dinamarca.....	106
Gráfico 28 - Capacidade eólica instalada no Brasil.....	108
Gráfico 29 - Cenário 1 – PDE 2023 - capacidade eólica instalada .....	110
Gráfico 30 - Cenário 1 – PDE 2023 - Participação eólica.....	110
Gráfico 31 - Cenário 2 – GWEC e ABEEólica - capacidade eólica instalada .....	111

Gráfico 32 - Cenário 2 – GWEC e ABEEólica - Participação eólica .....	112
Gráfico 33 - Cenário 3 – Ritmo atual - otimista- capacidade instalada .....	113
Gráfico 34 - Cenário 3 – Ritmo atual - Otimista - Participação eólica .....	113
Gráfico 35 - Cenário 4 – Ritmo atua - Conservador- capacidade instalada .....	114
Gráfico 36 - Cenário 4 – Ritmo atual - Conservador - Participação eólica .....	115

**LISTA DE ABREVIATURAS**

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
BIG	Banco de Informações de Geração
BIO	Usina à Biomassa
CCEAR	Comercialização de Energia Elétrica em Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas em Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CIA	Central Intelligence Agency
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DEWI	Deutsches Windenergie-Institut
DWIA	Danish Wind Industry Association
EOL	Usina Eólica
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
FC	Fator de Capacidade
FIDICs	Fundos de Direitos Creditórios
FINAME	Financiamento de Máquinas e Equipamentos
GN	Usina a Gás Natural
GWEC	Global Wind Energy Council
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INEGI	Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEA	Leilão de Ajusta

LEN	Leilão de Energia Nova
LER	Leilão de Energia Reserva
LFA	Leilão de Fontes Alternativas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&D	Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração
PIS	Programa de Integração Social
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PNE	Plano Nacional de Energia
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
RGG	Reserva Global de Garantia
RGR	Reserva Global de Reversão
ROC	Renewables Obligation Certificate
SIN	Sistema Interligado Nacional
SOL	Usina Solar
UHE	Usina Hidrelétrica
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	PROBLEMA .....	18
1.2	JUSTIFICATIVA .....	19
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.3.1	OBJETIVO GERAL .....	19
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.4	HIPÓTESE.....	20
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA.....</b>	<b>21</b>
2.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	21
2.2	DESENVOLVIMENTO .....	21
2.3	CONSTATAÇÕES .....	22
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>23</b>
3.1	EVOLUÇÃO DO SETOR ELÉTRICO .....	23
3.1.1	INVESTIMENTOS ESTRANGEIROS .....	23
3.1.2	INVESTIMENTOS PÚBLICOS .....	24
3.1.3	INVESTIMENTOS PRIVADOS .....	24
3.1.3.1	A Crise Energética de 2001 .....	<b>25</b>
3.1.4	INVESTIMENTOS PÚBLICOS E PRIVADOS .....	26
3.2	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E RISCOS DA DEPENDÊNCIA HIDRELÉTRICA .....	27
3.3	PROINFA.....	29
3.4	AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO .....	29
3.4.1	AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADA – ACR .....	30
3.4.2	AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE - ACL.....	30
3.4.3	ENERGIA RESERVA.....	31
3.4.4	MERCADO DE CURTO PRAZO .....	31
3.5	LEILÕES DE ENERGIA .....	31
3.6	ESTADO DA ARTE DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO .....	33
<b>4</b>	<b>COMPETITIVIDADE ENTRE FONTES GERADORAS .....</b>	<b>37</b>
4.1	GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA .....	37
4.1.1	DOMÍNIO DA TECNOLOGIA .....	37

4.1.2	INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO.....	38
4.1.3	PREÇO DO MWh.....	38
4.1.4	FATOR DE CAPACIDADE.....	39
4.1.5	IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	39
4.2	GERAÇÃO TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL .....	40
4.2.1	DOMÍNIO DA TECNOLOGIA .....	40
4.2.2	INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO.....	40
4.2.3	PREÇO DO MWh.....	41
4.2.4	FATOR DE CAPACIDADE .....	42
4.2.5	IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	43
4.3	GERAÇÃO TERMELÉTRICA A BIOMASSA.....	43
4.3.1	DOMÍNIO DA TECNOLOGIA .....	44
4.3.2	INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO.....	44
4.3.3	PREÇO DO MWh.....	45
4.3.4	FATOR DE CAPACIDADE .....	45
4.3.5	IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	46
4.4	PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS .....	46
4.4.1	DOMÍNIO DA TECNOLOGIA .....	47
4.4.2	INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO.....	47
4.4.3	PREÇO DO MWh.....	48
4.4.4	FATOR DE CAPACIDADE.....	49
4.4.5	IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	49
4.5	GERAÇÃO EÓLICA.....	50
4.5.1	DOMÍNIO DA TECNOLOGIA .....	50
4.5.2	INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO.....	51
4.5.3	PREÇO DO MWh.....	51
4.5.4	FATOR DE CAPACIDADE.....	52
4.5.5	IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	53
4.6	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS FONTES.....	53
<b>5</b>	<b>FUNDAMENTOS DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL .....</b>	<b>57</b>
5.1	POLÍTICAS E INCENTIVOS .....	57
5.1.1	IMPORTÂNCIA DO BNDES .....	59

5.1.2	POLÍTICAS E INCENTIVOS PELO MUNDO .....	61
5.1.2.1	Políticas alemãs .....	<b>61</b>
5.1.2.2	Políticas dinamarquesas .....	<b>61</b>
5.1.2.3	Políticas norte-americanas .....	<b>62</b>
5.1.2.4	Políticas Britânicas .....	<b>62</b>
5.1.2.5	Políticas Espanholas .....	<b>63</b>
5.2	CUSTOS DA GERAÇÃO EÓLICA.....	64
5.2.1	CUSTOS DE PROJETO .....	65
5.2.2	CUSTOS COM INFRAESTRUTURA.....	65
5.2.3	CUSTOS FINANCEIROS.....	65
5.2.4	CUSTOS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO .....	66
5.2.5	CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS .....	66
5.3	ASPECTOS TÉCNICOS DA GERAÇÃO EÓLICA E INDÚSTRIA NACIONAL.....	67
5.3.1	PÁS.....	68
5.3.2	CUBO.....	69
5.3.3	NACELE.....	70
5.3.4	TORRE.....	72
5.4	LOCALIZAÇÃO DOS PARQUES EÓLICOS .....	73
5.4.1	NORDESTE .....	74
5.4.2	SUL.....	76
5.4.3	SUDESTE .....	77
5.4.4	USINAS EM CONSTRUÇÃO .....	78
5.5	POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO E COMPLEMENTARIDADE .....	79
5.6	LOCAIS PARA CONSTRUÇÃO DE NOVOS PARQUES .....	82
5.6.1	MINAS GERAIS .....	82
5.6.1.1	Microrregiões de Janaúba e Grão Mongol .....	<b>83</b>
5.6.1.2	Montes Claros .....	<b>84</b>
5.6.1.3	Curvelo, Diamantina e Sete Lagoas .....	<b>84</b>
5.6.1.4	Triângulo Mineiro .....	<b>84</b>
5.6.2	RIO DE JANEIRO .....	85
5.6.2.1	Litoral Norte Fluminense .....	<b>85</b>
5.6.2.2	Região dos Lagos.....	<b>86</b>

5.6.3	PARANÁ.....	86
5.6.3.1	Campos de Palmas.....	<b>87</b>
5.6.4	RORAIMA.....	87
5.7	POTENCIAL <i>OFFSHORE</i> BRASILEIRO.....	88
5.8	IMPACTOS DE SISTEMAS EÓLICOS.....	89
5.8.1	IMPACTO VISUAL.....	89
5.8.2	RUÍDOS.....	90
5.8.3	MORTE DE AVES.....	91
5.8.4	INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA.....	92
5.8.5	GERAÇÃO DE EMPREGOS.....	93
5.8.6	IMPACTOS NO SISTEMA ELÉTRICO.....	93
<b>6</b>	<b>PROJEÇÕES DA GERAÇÃO EÓLICA.....</b>	<b>95</b>
6.1	PROJEÇÃO DO CONSUMO.....	96
6.2	MÁXIMA EXPANSÃO HIDRELÉTRICA.....	97
6.3	ESTAGNAÇÃO DAS TERMELÉTRICAS POLUENTES E NUCLEARES.....	100
6.4	LIMITAÇÃO DA GERAÇÃO EÓLICA.....	100
6.4.1	PORTUGAL.....	102
6.4.2	ESPAÑA.....	103
6.4.3	DINAMARCA.....	105
6.4.4	ANÁLISE PARA O BRASIL.....	107
6.4.5	CENÁRIO 1 – PDE 2023.....	109
6.4.6	CENÁRIO 2 – ABEEÓLICA E GWEC.....	111
6.4.7	CENÁRIO 3 – RITMO ATUAL - MAIS OTIMISTA.....	112
6.4.8	CENÁRIO 4 – RITMO MAIS CONSERVADOR.....	114
6.5	EQUILÍBRIO E SUSTENTABILIDADE: O PAPEL DO GÁS NATURAL, BIOMASSA, PCH E SOLAR.....	115
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES PERTINENTES.....</b>	<b>117</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>122</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>124</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nesta Seção, uma abordagem introdutória do trabalho é apresentada, tendo como intenção justificar a definição do tema, discussão e fundamentação do problema abordado. Também são apresentados os objetivos a serem alcançados no decorrer do trabalho. Em ordem, são apresentados o Problema, a Justificativa, os Objetivos, e por fim a Hipótese.

### 1.1 PROBLEMA

A partir da década de 1990, devido às questões ambientais e à segurança energética, o investimento em fontes de energia que não causem agressões ao meio ambiente vem crescendo de forma acelerada. As fontes renováveis têm assumido um papel cada vez mais importante na matriz energética dos países.

Nos últimos anos, a dependência que a matriz energética brasileira tem da hidroeletricidade vem se mostrando perigosa devido à escassez de recursos hídricos nas principais regiões consumidoras do país. Sempre que o setor hidrelétrico ameaça não dar conta do consumo, as termoelétricas são acionadas. Em curto prazo nenhuma outra fonte é capaz de suprir as atuais necessidades do sistema. Além das fontes termelétricas terem impactos ambientais com a emissão de gases poluindo o ar, o custo da energia gerada por esta fonte é maior, o que acaba refletindo no bolso do consumidor. Como são utilizadas geralmente em ocasiões de emergência, o valor da energia gerada pelas termelétricas precisa compensar o período de manutenção em que a usina não foi acionada. Tendo em vista este cenário, é necessário o investimento em outras fontes renováveis de energia, como a energia eólica e a energia solar. Esta última, porém, tem uma viabilidade menor devido ao alto custo dos equipamentos no país.

Conforme os últimos leilões de energia, o preço da energia eólica tem sido equivalente à hidrelétrica. Já a térmica e a solar se mostram mais caras. A atual capacidade da fonte eólica, no entanto, não é suficiente para atender às necessidades do sistema.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Desde a criação do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), em 2002, os investimentos em fontes não convencionais de energia, PCHs, solar, biomassa e eólicas tem se intensificado. O programa conta com apoio do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), que pode financiar até 70% do valor de um empreendimento no setor.

A recente queda no nível de reservatórios, e a necessidade de despacho de usinas térmicas, fez com que ocorra uma preocupação com os rumos em que a matriz energética nacional vem seguindo. Tais fatos demonstram a importância de repensar o modelo elétrico brasileiro sob uma perspectiva mais ampliada. (ABEEÓLICA, 2013)

Hoje no Brasil a produção de energia elétrica através da energia solar ainda se mostra pouco viável devido principalmente aos preços elevados. A energia eólica, no entanto vem aumentando sua competitividade e já compete com as pequenas centrais hidrelétricas por espaço no mercado de energia elétrica do país. (DOS REIS, 2011)

Por outro lado, a energia proveniente dos ventos possui apenas um aspecto de complementaridade à matriz energética do Brasil, pois é irregular, não armazena energia e tem fator de capacidade de cerca de 30% com a tecnologia atual.

Este trabalho faz uma análise técnica, econômica, ambiental e política, da geração eólica com o objetivo de avaliar a expansão da implantação desta fonte energética no setor elétrico brasileiro face aos incentivos institucionais.

## 1.3 OBJETIVOS

Nesta Seção são expostos os objetivos deste trabalho. Primeiramente o objetivo geral – o qual irá conduzir todo o foco desta pesquisa – e em seguida os objetivos específicos.

### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Fazer uma análise criteriosa da geração de energia eólica no Brasil, abordando aspectos socioeconômicos, técnicos e ambientais, avaliando o potencial e a necessidade da expansão da energia eólica. Principalmente averiguando os

investimentos públicos, privados e estrangeiros no setor, projetando a expansão para os próximos anos.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparação com outras fontes de energia.
- Conhecer o histórico de incentivos à fonte eólica, incentivos atuais e perspectivas futuras.
- Conhecer os principais impactos ambientais causados pela geração eólica
- Avaliar o investimento médio de uma usina eólica.
- Análise de algumas regiões com elevado potencial eólico que não tenham potência instalada significativa.

### **1.4 HIPÓTESE**

O potencial disponível prospectado de energia eólica, com a tecnologia atual, aliado às questões ambientais, indica que os programas energéticos governamentais continuarão estimulando o crescimento da participação da energia eólica pelo menos nas próximas três décadas para suprir a demanda energética do país, devido a sua complementaridade ao regime hídrico, e por se mostrar uma fonte limpa, renovável e com preços competitivos.

## 2 METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo é apresentada a metodologia desenvolvida que permitiu a realização deste trabalho, expondo o caminho escolhido para chegar ao resultado desejado, a fim de se obter uma conclusão sobre a hipótese levantada.

### 2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Esta parte consiste em utilizar bibliografias referentes ao tema deste trabalho, que possibilitem um melhor entendimento dos conteúdos abordados. As bibliografias utilizadas foram livros, dissertações, teses, artigos, trabalhos de conclusão de curso e sites que contenham informações confiáveis. Estes estudos possibilitaram uma base consistente para abordar o tema do trabalho.

### 2.2 DESENVOLVIMENTO

É no desenvolvimento do trabalho que a hipótese é abordada, com levantamento de dados e estimativas necessárias, para se atingir o resultado final. Para isto, foi traçado um caminho de referência.

Primeiramente foi desenvolvida a fundamentação teórica do trabalho, na qual foi possível compreender como foi moldado o atual setor elétrico brasileiro. A matriz energética foi estudada, com enfoque na questão da dependência hidrelétrica e a complementaridade da energia eólica. Para entender como a energia dos ventos pode se expandir, foi apresentado o PROINFA, os ambientes de contratação e os leilões de energia, peças fundamentais para se conhecer os meios de comercialização de energia elétrica. Para comprovar a tendência mundial na utilização dessa fonte, foi abordado o estado da arte da energia eólica no mundo.

Para se comprovar a rentabilidade da fonte eólica, foi realizada uma análise da competitividade com as fontes de energia concorrentes, como a fonte solar, térmica a gás natural, térmica a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. Tais fontes foram brevemente apresentadas e comparadas em diversos aspectos, como o domínio da tecnologia, investimentos, preço do MWh nos leilões mais recentes, fator de capacidade e impactos socioambientais. Foram elaborados tabelas de comparação entre estas fontes, com base nas informações contidas no Banco de Informações de

Geração (BIG), nos resultados nos últimos leilões de energia, obtidos através de acesso ao site do CCEE e do boletim de operação das usinas, também contido no site do CCEE. Tais tabelas possibilitaram testar a viabilidade da expansão eólica.

Depois de feita a análise da competitividade com outras fontes de energia, foram abordados os fundamentos da energia eólica no Brasil. Na primeira parte, foram avaliados as políticas públicas e incentivos adotados ao longo dos anos para fonte eólica, destacando a importância do BNDES e comparando com políticas adotadas em outros países em que esta fonte já está consolidada. Em seguida foram quantificados e detalhados os custos de parques eólicos. Também foram detalhados os aspectos construtivos e a indústria nacional, assim como o potencial eólico brasileiro. Com o objetivo de mostrar que a geração eólica tem campo para se expandir, foram estudadas algumas áreas propícias a receber novos parques, mas que ainda não tem geração eólica significativa, através de atlas de potenciais eólicos estaduais. Por fim do capítulo, foram abordados os impactos socioambientais e técnicos deste tipo de geração com enfoque no caso brasileiro.

Na parte final do desenvolvimento, foi avaliado e sugerido um possível limite da expansão eólica no Brasil, e considerado diversos cenários, com base em dados históricos, projeções de consumo e nas experiências internacionais de países que atingiram maturidade eólica.

As tabelas e gráficos foram produzidos através dos *softwares* Microsoft Excel e Matlab.

## 2.3 CONSTATAÇÕES

É a última parte do trabalho, na qual é verificado a consistência, pertinência, importância, relevância, aplicações e implicações de viabilidade referentes ao tema apresentado. Nesta parte a hipótese levantada é verificada, e são feitas projeções nos campos socioeconômicos e tecnológicos, de acordo com o que foi constatado no desenvolvimento.

As consequências deste trabalho são discutidas, assim como suas limitações, além de algum tipo de enfoque que não foi suficientemente abordado. Desta forma, é possível indicar trabalhos futuros, com tema semelhante, porém com abordagens diferentes.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Apresenta-se neste capítulo os principais conceitos teóricos necessários ao desenvolvimento do trabalho, dando o suporte para os estudos, análise e reflexões. Assim, podem ser formulados os conceitos envolvidos nos resultados.

#### **3.1 EVOLUÇÃO DO SETOR ELÉTRICO**

Segundo Mello (2008), o setor elétrico pode ser dividido em quatro partes:

- Fase 1: 1879 – 1944 – Investimentos estrangeiros.
- Fase 2: 1945 – 1989 – Investimentos públicos.
- Fase 3: 1990 – 2002 – Investimentos privados.
- Fase 4: Após 2002 – Investimentos públicos e privados.

##### **3.1.1 INVESTIMENTOS ESTRANGEIROS**

Conforme Mello (2008), entre 1879 e 1900, o setor elétrico brasileiro caracterizou-se pela construção de pequenas usinas geradoras, para atender serviços públicos e algumas atividades econômicas, como mineração e serrarias. Até o final do século XX, predominou a energia térmica.

No início do século XX, com a chegada de empresas estrangeiras de geração hidrelétrica, como a canadense Light e a americana Amforp, a tendência foi do aumento deste tipo de geração. Até os anos 1920, o sistema operou sem problemas. Porém, segundo Mello (2008), entre os anos de 1930 e 1945, a demanda por energia elétrica cresceu mais do que a oferta devido à industrialização acelerada das grandes cidades. No início dos anos 40, houve o risco de falta de energia.

A partir da crise de 1929 e da segunda guerra mundial, essas empresas começaram a encontrar dificuldades para importar máquinas, equipamentos e bens de capital, e conseqüentemente, perderam o interesse no Brasil, marcando o fim da primeira fase. (MELLO, 2008)

### **3.1.2 INVESTIMENTOS PÚBLICOS**

A segunda fase caracterizou-se pela mudança dos tipos de investimentos. O estado assumiu esse papel através de empresas estaduais e federais criadas para este propósito. Esses investimentos não visavam lucro, mas sim a expansão do setor elétrico brasileiro. Nessa fase houve a nacionalização do setor, já que as grandes companhias estrangeiras foram compradas pelo governo. Apesar de não haver restrições para investimentos privados, as políticas públicas da época, aliado com o fortalecimento da Eletrobrás, tornaram o setor elétrico brasileiro praticamente estatal. (MELLO, 2008)

As concessionárias estaduais como a CESP, CEMIG, COPEL e CEEE começaram a questionar a prioridade dada pelo governo aos investimentos da Eletrobrás. Em 1987, algumas concessionárias decidiram interromper o pagamento das cotas da Reserva Global de Garantia (RGG) e da Reserva Global de Reversão (RGR), além de atrasarem o pagamento da energia suprida pelas geradoras federais e Itaipu. (MELLO, 2008)

### **3.1.3 INVESTIMENTOS PRIVADOS**

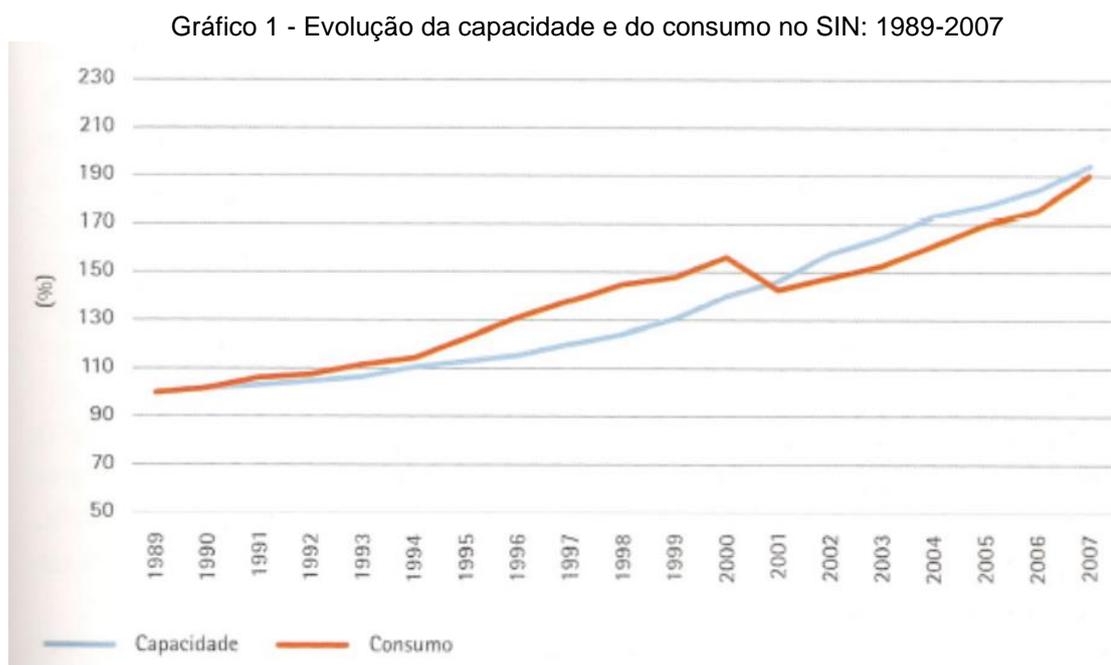
O início da década de 90 foi um período extremamente crítico para o setor. Devido à falta de fontes de investimentos e a grande inadimplência, o modelo setorial precisou ser reformulado para atrair investimentos privados. (MELLO, 2008)

Segundo Mello (2008), os três governos da década de 90, Fernando Collor, Itamar Franco e Fernando Henrique Cardoso, atuaram para a liberação do setor em busca da entrada do capital privado e promover competição entre os agentes de geração.

Nesta fase, houve a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), do Operador Nacional do Sistema (ONS) e da Câmara de comercialização de energia elétrica (CCEE), com o objetivo de aumentar os investimentos privados. O BNDES passou a atuar como principal agente financeiro do setor, concedendo financiamentos de longo prazo para a construção de novos empreendimentos. Porém esses investimentos não foram suficientes. (MELLO, 2008)

### 3.1.3.1 A CRISE ENERGÉTICA DE 2001

Em abril de 2001, o nível dos reservatórios se encontrava em torno de 32% da capacidade de armazenamento, e o risco de déficit superava 15%, muito acima do nível de risco de déficit aceitável (5%). (TOLMASQUIM, 2011)



Fonte: Tolmasquim, 2011

A vulnerabilidade do sistema elétrico poderia ter sido identificada em 1999, pois o sistema já estava em desequilíbrio. A hidrologia desfavorável apenas precipitou a crise energética, o que era previsível frente às circunstâncias da época. O principal fator para a ocorrência da crise de suprimento seria o atraso da entrada em operação de obras de geração e de transmissão e a ausência de novos empreendimentos de geração. A demanda cresceu de acordo com as expectativas, mas não houve aumento da oferta. (TOLMASQUIM, 2011)

A ausência de um ambiente regulatório adequado, com regras bem definidas, claras e concisas, não propiciava segurança aos investidores privados. A legislação não definia com clareza as atribuições de cada agente, não alocava responsabilidades específicas na gestão do setor, nem contemplava, principalmente, os interesses dos consumidores. (TOLMASQUIM, 2011)

### 3.1.4 INVESTIMENTOS PÚBLICOS E PRIVADOS

O Governo brasileiro lançou o novo marco regulatório do setor elétrico em 2004. O novo modelo estabeleceu a criação de instituições com diferentes responsabilidades, como planejar o setor elétrico, monitorar a segurança de suprimento de eletricidade e negociar a aquisição de energia elétrica no sistema interligado. (NOGUEIRA, 2011)

Segundo Tolmasquim (2011), o novo marco regulatório do setor elétrico representou um importante aperfeiçoamento nos seguintes aspectos:

- Profundas modificações na comercialização de energia no SIN, com a criação do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o ambiente de contratação Livre (ACL);
- Modificações Institucionais, com a reorganização das competências e a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE);
- Retomada do planejamento setorial, a partir da contratação por meio de leilões e com a criação da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE);
- Retomada dos programas de universalização;
- Segurança Jurídica e estabilidade regulatória, premissa para atrair investimentos, reduzir riscos e expandir o mercado.

O BNDES continuou como o principal agente financeiro do setor com concessões de financiamentos baseadas em taxas e prazos diferenciados, contribuindo com a diretriz de modicidade tarifária. Além do BNDES, observa-se que o mercado de capitais está sendo uma alternativa importante para a captação de recursos. A emissão de debêntures, FIDICs (Fundos de Direitos Creditórios) e emissões de ações estão sendo alternativas de captação bastante usadas pelo setor. (MELLO, 2008)

Uma mudança importante no setor foi que os negócios no ACR passaram a ser efetivados por meio de leilões, tendo o governo de um lado representado as distribuidoras, e os geradores do outro, com o poder de ofertar energia independente da fonte. (MELLO, 2008)

Com o objetivo de aumentar a participação de energias renováveis na matriz energética, foi criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), em 2004.

A Tabela 1 mostra a evolução histórica do setor elétrico brasileiro, de forma cronológica.

Tabela 1 - Evolução do setor elétrico brasileiro

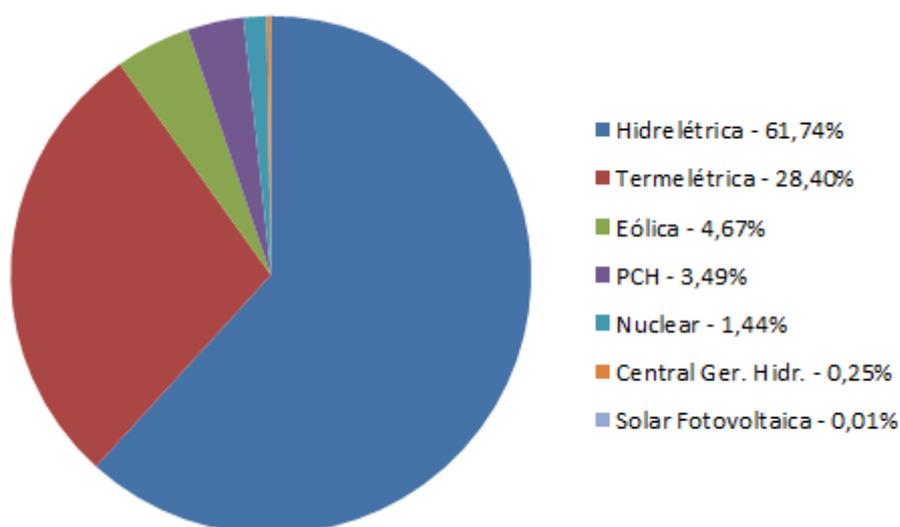
1880	1900	1920	1930 - 45	1960 - 1980	1990	2001	2004
Primeiras usinas	Primeira usina Light	Usinas de maior porte	Pequeno incremento de potência	Nacionalização do Setor	Período financeiro crítico	Crise Energética	Novo Modelo do (ACR/ACL)
Pequenas unidades geradoras	Tendência a hidrelétricas	Desnacionalização do Setor	Demanda cresceu mais que oferta	Fortalecimento da Eletrobrás: operação e planejamento	Liberalização do Setor para capital privado	Câmara de Gestão da Crise	Contratos 3 a 5 anos
Máquinas a vapor	Hidrelétrica de Parnaíba 2MW	Participação do Capital Estrangeiro					PROINFA
Energia térmica					Reestruturação do Setor		

Fonte: Ricosti, 2011

### 3.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E RISCOS DA DEPENDÊNCIA HIDRELÉTRICA

O Brasil produz bastante energia elétrica proveniente de fontes renováveis em comparação com outros países, pois cerca de dois terços dessa energia é obtida através de usinas hidrelétricas. Em virtude disso, nossa busca por novas fontes renováveis alternativas não tem sido tão acelerada quanto no resto do mundo. (VILLALVA e GAZOLI, 2012). A geração de energia hidrelétrica representa 61,74% da capacidade instalada no Brasil, totalizando 85,07 GW. O Gráfico 2 apresenta a distribuição da potência instalada no país.

Gráfico 2 - Matriz energética brasileira



Fonte: Banco de Informações de Geração (BIG), 21-07-2015.

Em épocas com baixos índices pluviométricos, o nível dos reservatórios não é suficiente para atender a demanda. Quando isto ocorre, as termelétricas são acionadas, gerando uma energia poluente e mais cara.

Conforme Pinto (2009), as secas ocorrem em intervalos de tempo semelhantes, em torno de 5 ou 6 anos, e o sistema é planejado para suportá-las, mas nem sempre isso ocorre. Boa parte da geração termelétrica complementar baseia-se no gás natural, que é considerado farto e barato, mas pode se tornar caro e escasso, deixando a reserva comprometida. E a queima de gás natural é apenas 20% menos poluente que a queima de petróleo. Muitas usinas queimam diesel, muito mais poluente que o gás natural e acarreta em aumento no preço da energia.

Desta forma, a energia eólica se mostra como uma alternativa para esta situação, já que é renovável, abundante e poderia ser instalada na região onde ocorrem mais frequentemente as secas, que é a região Nordeste, a qual possui grande potencial eólico. Além disto, pode reverter em curto prazo (aproximadamente seis meses de construção) cenário de escassez de eletricidade, a custos aceitáveis pela sociedade brasileira. (RICOSTI, 2011)

Como os períodos em que há maior regime de ventos coincidem com os períodos de maior seca nos rios, os parques eólicos produzem energia necessária para complementar a energia que as hidrelétricas deixam de produzir nesses meses. (HERZER, 2014). O Gráfico 3 apresenta em evidência o aspecto complementar hidro eólico para a região Nordeste.

Gráfico 3 - Complementaridade entre regimes sazonais de ventos e regime pluviométrico (das principais bacias hidrográficas) – na região Nordeste do Brasil



Fonte: ANEEL, 2008

### 3.3 PROINFA

O PROINFA foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas no Sistema Elétrico Interligado Nacional. (MME, 2010)

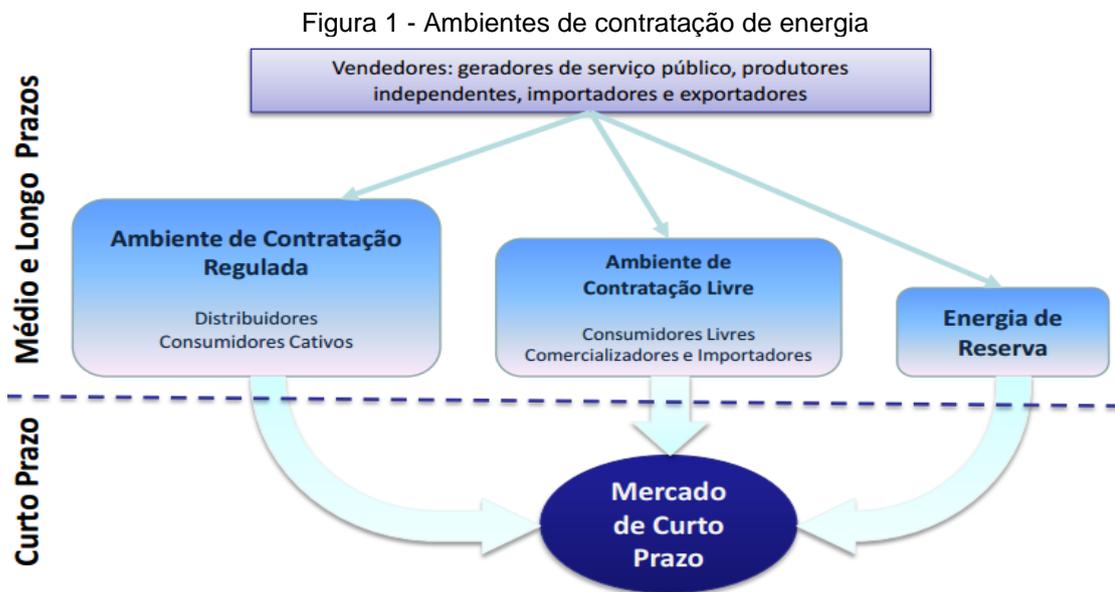
O intuito é promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais. (MME, 2010)

O PROINFA é um programa pioneiro, que impulsionou estas fontes, mas em especial a energia eólica. O Brasil passou, em pouco mais de 3 anos, de apenas cerca de 22 MW de energia eólica instalada, para 414 MW (MME, 2010), e atualmente já são mais de 8,1 GW instalados. (ANEEL, 2015)

### 3.4 AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO

Para garantir a expansão da oferta, o governo instituiu a contratação obrigatória, antecipada e integral da demanda projetada dos distribuidores, e

segmentou o mercado de demanda em dois ambientes: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), como ilustrado na Figura 1, que representa a contratação de energia no ACR e as relações contratuais no ACL. A Figura 1 destaca ainda a contratação da Energia Reserva. (TOLMASQUIM, 2011)



Fonte: Tolmasquim, 2011

### 3.4.1 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADA – ACR

A contratação no ACR é formalizada através de contratos bilaterais regulados, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), celebrados entre agentes vendedores (geradores, comercializadores e autoprodutores) e distribuidores que participam dos leilões de compra e venda de energia elétrica. (MME, 2013)

### 3.4.2 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE - ACL

No Ambiente de Contratação Livre (ACL), os geradores, consumidores livres, autoprodutores, comercializadores, importadores e exportadores de energia estabelecem entre si contratos bilaterais de compra e venda de energia com preços e quantidades livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos. (MME, 2013)

### **3.4.3 ENERGIA RESERVA**

A energia reserva é contratada através dos Leilões de Energia Reserva (LER), e serve para aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica ao SIN. Esta energia adicional busca restaurar o equilíbrio entre as garantias físicas atribuídas às usinas geradoras e a garantia física total do sistema, sem que haja impacto nos contratos existentes e nos direitos das usinas geradoras. A contratação desta energia tem por objetivo, ainda, reduzir os riscos de desequilíbrio entre a oferta e demanda de energia elétrica. Tais riscos decorrem, principalmente, de atrasos imprevisíveis de obras, ocorrência de hidrologias muito críticas, falta de linhas de transmissão e indisponibilidade de usinas geradoras. (MME, 2013)

### **3.4.4 MERCADO DE CURTO PRAZO**

Todos os contratos de compra e venda de energia celebrados no mercado, tanto do ACR como no ACL, devem ser registrados pela CCEE, que realiza a medição dos montantes efetivamente produzidos e consumidos por cada agente. As diferenças apuradas, positivas ou negativas, são contabilizadas para posterior liquidação financeira no Mercado de Curto Prazo e valoradas ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). (CCEE, 2015)

Quando o contrato de compra de energia do agente (recurso) é insuficiente para cobrir o valor verificado de seu consumo (requisito), a CCEE liquida a diferença negativa valorando-a ao PLD, como se o agente “comprasse” energia no mercado de curto prazo. Ao contrário, se o recurso (contrato de compra) for superior ao requisito (consumo medido), a diferença é positiva (ao PLD) e sua liquidação, também ao PLD, configura como uma “venda” de energia no mercado de curto prazo. (TOLMASQUIM, 2011)

## **3.5 LEILÕES DE ENERGIA**

Desde que foi implantada em 2004, a câmara de comercialização de energia elétrica (CCEE) é a responsável por comercializar a energia elétrica no Brasil. Essa comercialização pode acontecer por meio de ambientes de comercialização regulados

ou livres, sendo que dentro do primeiro, ocorrem leilões de energia. (TOLMASQUIM, 2011)

Os leilões de energia elétrica são processos licitatórios realizados com o objetivo de contratar a energia elétrica necessária para assegurar o pleno atendimento da demanda futura no ACR. (MME, 2013)

Os vencedores dos leilões celebrarão com os agentes de distribuição Contratos de Comercialização de Energia Elétrica em Ambiente Regulado (CCEAR), correspondendo as suas necessidades de compra para entrega no ano de início de suprimento da energia contratada no certame. (MME, 2013)

Anualmente, a CCEE, o Ministério de Minas e Energia (MME) e a ANEEL devem providenciar leilões para atender a demanda das distribuidoras. Para isso, o MME estabelece a data dos leilões, que são realizados pela CCEE, por delegação da ANEEL. Podem participar do leilão como agentes vendedores os titulares de concessão para gerar e comercializar energia. O agente vendedor que oferecer o maior desconto em relação ao preço-teto, estabelecido pelo MME, é declarado vencedor do leilão e contratado. (TOLMASQUIM, 2011)

Segundo Tolmasquim (2011), existem os seguintes tipos de leilões:

- Leilão de energia nova (LEN) – Nesses leilões, a energia comercializada provém de novas usinas, podendo essas ser de qualquer tipo de fonte.
- Leilão de fontes alternativas (LFA) – Leilões onde é comercializada energia proveniente somente de fontes alternativas de energia, com a intenção de incentivar essas fontes.
- Leilão de energia existente (LEE) – Leilões onde é vendida energia proveniente de empreendimentos já existentes.
- Leilão de ajuste (LEA) – Têm por finalidade complementar a carga de energia necessária ao atendimento do mercado consumidor das distribuidoras.

Conforme o MME (2013), os leilões ainda são classificados quanto ao horizonte de contratação:

- Leilão A-5: processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração realizado com cinco anos de antecedência do início do suprimento. Esse foi criado para viabilizar

empreendimentos de longa maturação, como, por exemplo, os empreendimentos hidrelétricos.

- Leilão A-3: processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração realizado com três anos de antecedência do início do suprimento. Esse leilão foi criado para viabilizar empreendimentos de médio prazo de maturação, como, por exemplo, empreendimentos termelétricos.
- Leilão A-1: processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração realizado com um ano de antecedência do início do suprimento. Esse leilão foi criado para viabilizar empreendimentos de curto prazo de maturação.

Depois de realizado cada leilão, a CCEE disponibiliza em seu site os resultados desses leilões para consulta. Nesses resultados, podem-se consultar diversos aspectos de cada empreendimento negociado. Esses aspectos são: (CCEE, 2013)

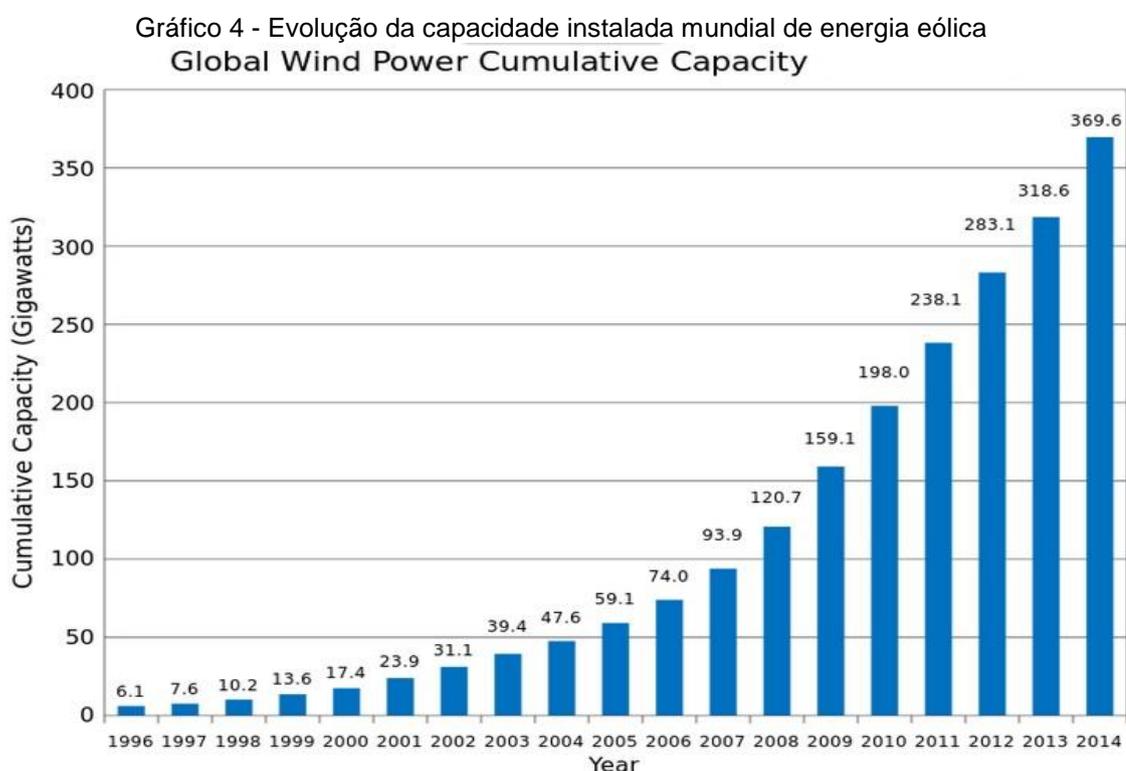
- Agente vendedor
- Nome do empreendimento
- Unidade federativa do empreendimento
- Fonte de energia
- Rio, no caso de hidrelétricas, ou combustível, no caso de outras fontes
- Submercado – Dividido em sul, sudeste e norte
- Investimento – Total investido no empreendimento, em reais (R\$)
- Potência – Potência total instalada na usina, medida em Mega Watts (MW)
- Garantia Física – Valor máximo que uma usina pode comercializar, medida em Mega Watts médio (MWm).
- ICB – Índice custo-benefício, medido em Reais por Megawatt hora (R\$/MWh)

### 3.6 ESTADO DA ARTE DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

Na década de 1970, a economia mundial ficou severamente abalada em função de duas crises do petróleo provocadas pelas altas sucessivas no preço desse combustível. (FADIGAS, 2011)

Os sucessivos choques do petróleo propiciaram maiores investimentos em energia eólica, bem como em outras fontes geradoras de energia em vários países, por exemplo, Estados Unidos, Alemanha e Suécia, que iniciaram pesquisas de novos modelos. (FADIGAS, 2011)

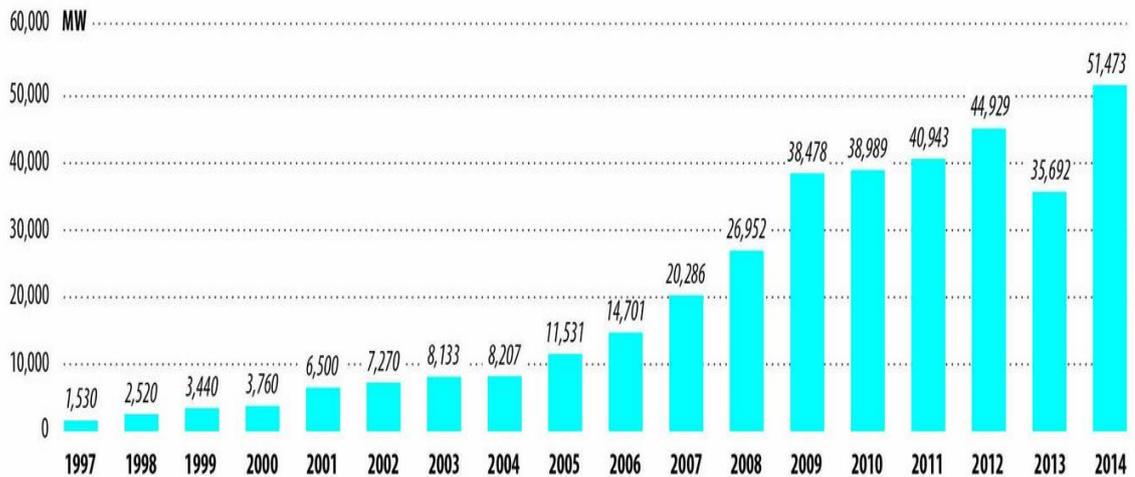
A energia eólica tem apresentado um grande crescimento na capacidade instalada nos últimos anos, que evoluiu de apenas 6,1 GW em 1996, para 369,6 GW em 2014. Desde 2005, a evolução média é de aproximadamente 23% por ano. E desde 2009 são instalados anualmente cerca de 41 GW. O Gráfico 4 apresenta essa evolução da capacidade instalada total e o Gráfico 5 mostra a capacidade instalada a cada ano.



Fonte: GWEC, 2015

Gráfico 5 - Capacidade instalada mundial por ano da fonte eólica

GLOBAL ANNUAL INSTALLED WIND CAPACITY 1997-2014

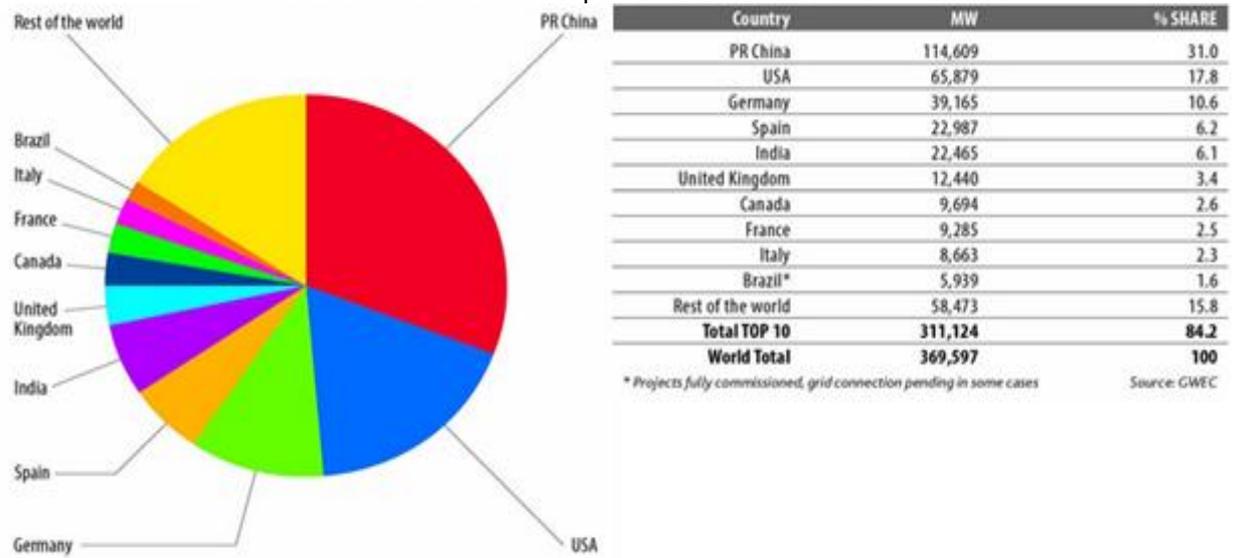


Fonte: GWEC, 2015

Ao final de 2014, como indicado no Gráfico 6, a China era o país com a maior potência eólica instalada, com 114,60 GW, ou 31% do total mundial. Em seguida vinha os Estados Unidos com 65,88 GW e a Alemanha, com 39,16 GW. O Brasil já ocupava a décima posição com 5,93 GW, o que representa 1,6% do total. Dados atualizados da ABEEólica (2015), constam que o Brasil já possui 8,1 GW instalados.

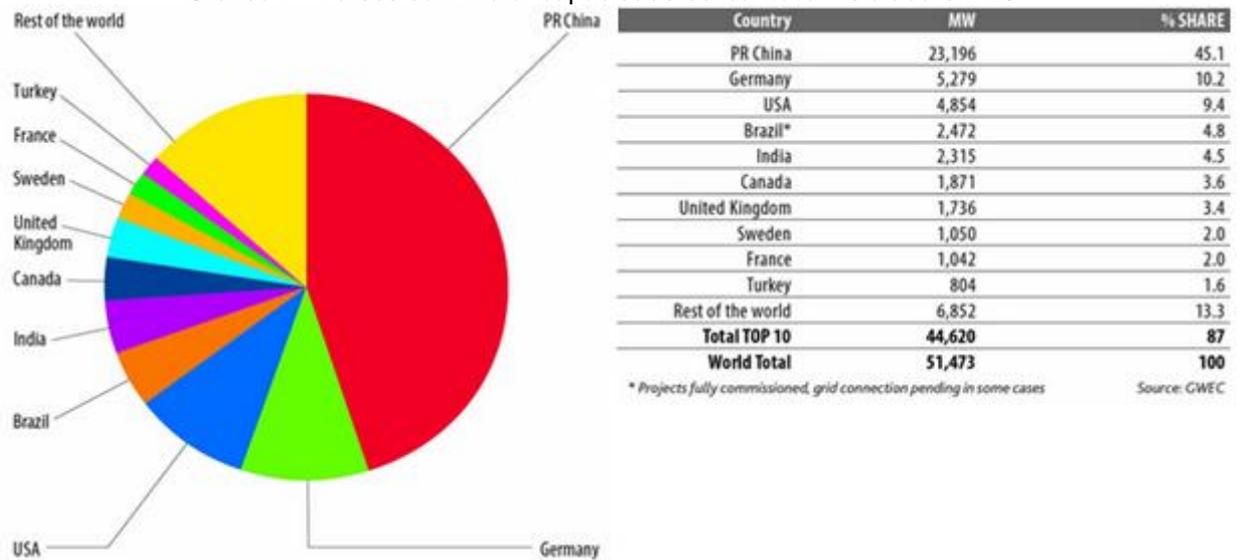
O Gráfico 14 mostra a capacidade adicionada somente no ano de 2014. O país líder foi novamente a China com 23,19 GW, ou 45% do total. Em seguida vem a Alemanha com 5,27 GW, e os Estados Unidos com 4,85 GW. O Brasil foi o quarto, com 2,47 GW, que representa 4,8% do total.

Gráfico 6 - Países com maior capacidade eólica instalada acumulada



Fonte: GWEC, 2015

Gráfico 7 - Países com maior capacidade eólica nova instalada em 2014



Fonte: GWEC, 2015

## **4. COMPETITIVIDADE ENTRE FONTES GERADORAS**

Para realizar uma análise da perspectiva de crescimento da fonte eólica, faz-se necessário uma comparação com outras fontes de energia concorrentes, a fim de analisar sua viabilidade perante diversos aspectos.

Este capítulo propõe uma comparação entre as fontes de energia presentes no Brasil e que são comercializadas nos leilões de energia, fazendo uma breve explicação sobre as fontes solar, PCH, térmicas a gás natural, térmicas a biomassa e eólica, com intuito de compará-las nos aspectos ambientais e econômicos, analisando sua viabilidade para complementação com as usinas hidrelétricas.

Para efeitos de comparação, serão consideradas as usinas com capacidade instalada de 30 MW. Apenas os resultados dos leilões a partir de 2014 foram considerados, para se obter uma análise mais recente.

### **4.1 GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA**

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico. (DOS REIS, 2011)

#### **4.1.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA**

Vários materiais e tipos de estruturas são usados na produção de células fotovoltaicas. Atualmente o silício é o material mais importante, pois há muito já se tem conhecimento tecnológico sobre ele e da matéria-prima que lhe dá origem. (DOS REIS, 2011)

Com a finalidade de reduzir custos, outras tecnologias são consideradas na fabricação das células. No entanto, o conhecimento da tecnologia que emprega o silício, em particular o monocrystal e a abundância da matéria-prima que lhe dá origem, têm sido razões mais importantes que tornaram o silício o material predominante no processo de desenvolvimento tecnológico. (DOS REIS, 2011)

Atualmente, o Brasil produz silício de grau metalúrgico em larga escala, o menor grau na escala de pureza. Porém o país não detém tecnologia para obter o silício monocrystal a partir do silício metalúrgico, e por consequência, não possui um

parque tecnológico e industrial apto a produzir painéis fotovoltaicos, se vendo obrigado a importá-los, encarecendo o custo desse tipo de geração. (FREIRE e RIBEIRO, 2011)

Acredita-se que o governo em algum momento vai reduzir ou eliminar as taxas de importação sobre a tecnologia fotovoltaica.

#### 4.1.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO

Como observado anteriormente, o Brasil ainda não possui domínio tecnológico sobre a geração solar, o que impacta no custo de implantação de um empreendimento, já que importar equipamentos encarece o custo total de uma usina.

Com o objetivo de quantificar os custos de implantação de uma usina, foram analisados os últimos leilões de energia que foram negociados a fonte solar.

Tabela 2 - Investimentos nas usinas solares brasileiras

<b>Leilão</b>	<b>7º LER</b> 28/08/2015	<b>6º LER</b> 30/10/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	30	31
<b>Potência total instalada (MW)</b>	833,80	889,66
<b>Investimento total (R\$)</b>	4.341.375.310,00	4.144.227.000,00
<b>Investimento médio (R\$/MW)</b>	5.206.734,60	4.658.214,37

Fonte: Elaborado pelo Autor

O investimento médio por MW no 6º e 7º LER foi de R\$ 4,93 milhões. Para uma usina solar fotovoltaica de 30MW, o investimento total é de cerca de R\$ 147,90 milhões de reais.

#### 4.1.3 PREÇO DO MWh

A Tabela 3 indica o preço do MWh negociado nos últimos leilões nos quais houve venda da fonte solar.

Tabela 3 – Preço do MWh das usinas solares

<b>Leilão</b>	<b>7º LER</b> 28/08/2015	<b>6º LER</b> 30/10/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	30	31
<b>Menor preço (R\$/MWh)</b>	296,00	200,82
<b>Maior preço (R\$/MWh)</b>	305,50	220,84
<b>Preço médio (R\$/MWh)</b>	301,80	215,12

Fonte: Elaborado pelo Autor

O preço médio do MWh negociado da fonte solar nos últimos leilões foi de R\$ 257,75.

#### **4.1.4 FATOR DE CAPACIDADE**

A geração solar não é contínua, gera energia em torno de 12 horas ao longo do dia, e as tecnologias ainda estão em um estágio de estudos para aprimoramento. O fator de capacidade das células comerciais ainda é baixo, entre 12 e 18%. Já foram atingidas eficiências maiores em laboratório, chegando a 25%. (DOS REIS, 2011)

Verifica-se uma considerável disparidade entre as eficiências das células comerciais e as de laboratório. A transferência de tecnologia do laboratório para a indústria não é imediata e depende da evolução do mercado, investimentos e importância que a indústria outorga a cada aspecto do complexo problema da produção de módulos. (TOLMASQUIM, 2003)

#### **4.1.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS**

Não há razão para acreditar que o uso de sistemas fotovoltaicos em larga escala implicará grandes danos ao meio ambiente se todos os cuidados forem tomados antecipadamente. Na verdade, os maiores problemas se encontram na produção das células, impactos significativos na aplicação não são esperados. Esses

impactos na produção seriam mais importantes numa análise de ciclo de vida ou numa comparação mais ampla de tecnologias de geração, que englobasse também o impacto da produção dos equipamentos. (DOS REIS, 2011)

## 4.2 GERAÇÃO TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL

O processo fundamental de funcionamento das centrais termelétricas baseia-se na conversão de energia térmica em energia mecânica, e esta em energia elétrica. A produção de energia térmica pode se dar pela transformação da energia química dos combustíveis através do processo da combustão. (DOS REIS, 2011)

Um tipo de combustível é o gás natural, que é um fóssil resultante da degradação de matéria orgânica. É formado por hidrocarbonetos leves, como metano, etano, propano e butano.

### 4.2.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA

Após um depósito de gás natural ser descoberto, é necessário que uma equipe de perfuração perfure o local. A pressão existente nas reservas impulsiona o gás para a superfície, onde é coletado em tubulações. Depois de ser processado, ele é comprimido e distribuído através de gasodutos.

O Brasil possui tecnologia desenvolvida para localização de reservas, e também para extração, devido principalmente ao desenvolvimento da Petrobrás.

O maior entrave para expansão do consumo de gás natural é pequena rede de distribuição existente, que limita sua utilização para apenas termelétricas em determinadas localidades. Também diminui o interesse na sua extração, visto que não é comercialmente viável extrair gás natural sem poder transportá-lo. (DOS REIS, 2011)

### 4.2.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO

Assim como realizado anteriormente para a fonte solar, foram realizadas análises dos últimos leilões de energia, com o objetivo de quantificar os custos de implantação de uma usina termelétrica com fonte a gás natural.

O 9º Leilão de Energia Reserva, realizado dia 3 de julho de 2015, foi um leilão dedicado exclusivamente à fonte termelétrica a gás natural, porém não houve propostas de venda. O preço inicial foi de R\$ 581,00 MWh. Porém, em abril de 2015 e em novembro de 2014, no 20º e 21º Leilão de Energia Nova, essa fonte teve empreendimentos negociados, como pode ser conferido na Tabela 4.

Tabela 4 - Investimentos nas usinas termelétricas a gás natural

<b>Leilão</b>	<b>21º LEN</b> 30/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	1	3
<b>Potência total instalada (MW)</b>	1.516,60	3.059,00
<b>Investimento total (R\$)</b>	3.294.500.000,00	7.228.796.100,00
<b>Investimento médio (R\$/MW)</b>	2.172.293,29	2.363.193,93

Fonte: Elaborado pelo Autor

Analisando a Tabela 4, é possível notar que poucos empreendimentos termelétricos a gás natural foram negociados nos últimos leilões, porém a potência total instalada é alta.

O investimento médio é de cerca de R\$ 2,31 milhões por MW instalado, o que indica investimento médio de R\$ 69,30 milhões para uma usina com capacidade instalada de 30MW.

#### 4.2.3 PREÇO DO MWh

A Tabela 5 indica o preço do MWh negociado nos últimos leilões nos quais houve venda da fonte gás natural.

Tabela 5 – Preço do MWh das usinas termelétricas a gás natural

<b>Leilão</b>	<b>21º LEN</b> 30/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	1	3
<b>Menor preço (R\$/MWh)</b>	279,00	203,50
<b>Maior preço (R\$/MWh)</b>	279,00	206,50
<b>Preço médio (R\$/MWh)</b>	279,00	205,50

Fonte: Elaborado pelo Autor

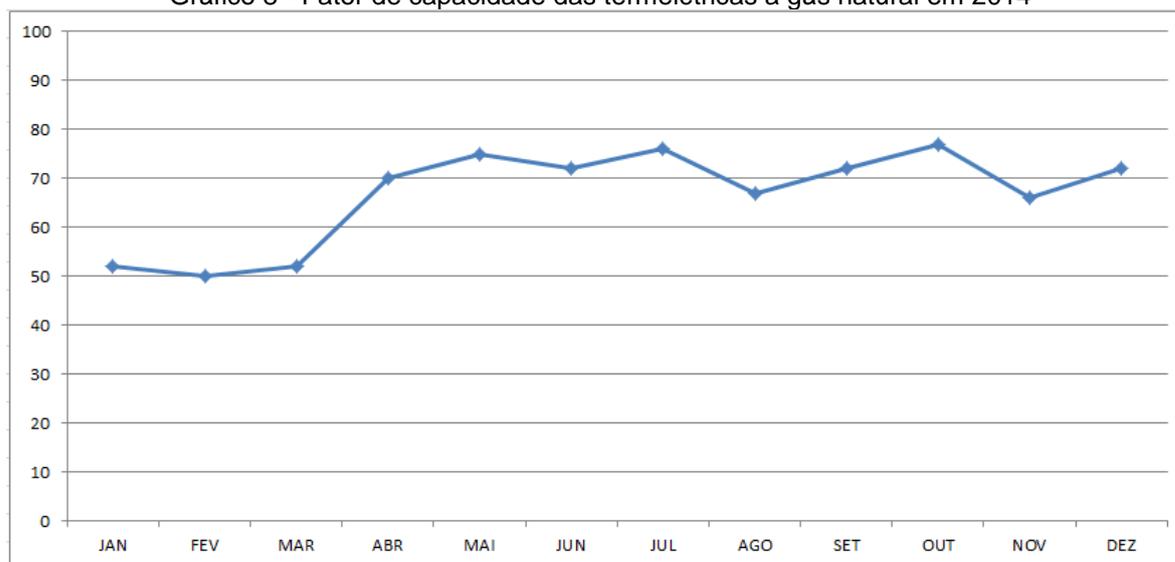
O preço médio do MWh negociado da fonte gás natural nos últimos leilões foi de R\$ 223,87.

#### 4.2.4 FATOR DE CAPACIDADE

As usinas termelétricas a gás natural possuem um fator de capacidade elevado, bem como as demais usinas termelétricas, devido ao fato de que a tecnologia dos geradores termelétricos está desenvolvida e principalmente ao controle do abastecimento do combustível que gera a energia elétrica.

O fator de capacidade é maior de 60%, e segundo o CCEE (2014), através do boletim de operação das usinas, o fator de capacidade médio das usinas termelétricas a gás natural no Brasil foi de cerca de 66,7% em 2014. O Gráfico 8 indica o fator de capacidade das usinas termelétricas a gás natural em cada mês de 2014.

Gráfico 8 - Fator de capacidade das termelétricas a gás natural em 2014



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.2.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

A utilização do gás natural possui vantagens ambientais significativas quando comparada a outros combustíveis fósseis, como petróleo, óleo diesel e carvão, pois apresenta menores taxas de emissão de óxidos de carbono, SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre), óxidos de nitrogênio e de hidrocarbonetos, gases poluentes que contribuem para o efeito estufa.

Todavia, o gás natural não é renovável, e segundo Ribeiro (2003), seu uso somente é positivo em relação aos impactos ambientais quando inserido em uma matriz energética predominantemente de base térmica. Para o Brasil, onde a fonte hidráulica prevalece, as emissões têm um acréscimo com a utilização dessa fonte. E entre as fontes analisadas nesse trabalho, e que ofertam energia nos leilões, a termelétricidade gerada pelo gás natural é a mais poluente.

#### 4.3 GERAÇÃO TERMELÉTRICA A BIOMASSA

Outro combustível utilizado nas usinas termelétricas é a biomassa, que é proveniente de fonte orgânica como esterco, carvão vegetal, lenha, óleo vegetal e, principalmente, bagaço de cana.

### 4.3.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA

Existem três técnicas utilizadas para obtenção de energia elétrica a partir da biomassa: gaseificação, fermentação e combustão, sendo esta última o processo mais utilizado, no qual a queima da biomassa gera calor para movimentar uma turbina térmica, que gera energia elétrica. Para efeitos de comparação, será considerada uma usina termelétrica a biomassa que utiliza o processo de combustão, com o bagaço de cana como combustível, pois é o modo mais negociado nos leilões de energia.

O Brasil tem larga experiência na produção de geradores e de turbinas de vapor a biomassa. Os fabricantes existentes no país têm condições de atender a maior parte da demanda potencial. Pode-se considerar a indústria nacional preparada para atender a demanda da energia elétrica proveniente da biomassa. (TOLMASQUIM, 2003)

### 4.3.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO

Assim como para as fontes anteriores, também foram analisados os últimos leilões. Os três leilões mais recentes nos quais a fonte biomassa foi vendida foram o 20º, 21º e 22º LEN. A Tabela 6 mostra os valores investidos nesses leilões para a fonte em questão.

Tabela 6 - Investimentos nas termelétricas a biomassa (combustível bagaço de cana)

<b>Leilão</b>	<b>22º LEN</b> 21/08/2015	<b>21º LEN</b> 30/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	1	2	6
<b>Potência total instalada (MW)</b>	28,50	41,40	283,00
<b>Investimento total (R\$)</b>	70.000.000,00	266.095.200,00	469.427.100,00
<b>Investimento médio (R\$/MW)</b>	2.456.140,35	6.427.420,29	1.658.753,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Nos últimos três Leilões de Energia Nova, o investimento médio por MW foi de R\$ 2,80 milhões. Para uma usina com capacidade de 30 MW, o investimento seria cerca de R\$ 84,00 milhões.

#### 4.3.3 PREÇO DO MWh

A Tabela 7 apresenta o preço do MWh negociado para fonte biomassa nos últimos leilões de energia.

Tabela 7 - Preço do MWh das usinas termelétricas a biomassa

<b>Leilão</b>	<b>22º LEN</b> 21/08/2015	<b>21º LEN</b> 30/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	1	2	6
<b>Menor preço (R\$/MWh)</b>	210,73	272,00	197,00
<b>Maior preço (R\$/MWh)</b>	210,73	278,50	205,23
<b>Preço médio (R\$/MW)</b>	210,73	275,25	200,76

Fonte: Elaborado pelo Autor

O preço médio do MWh nos últimos leilões foi de R\$ 218,42.

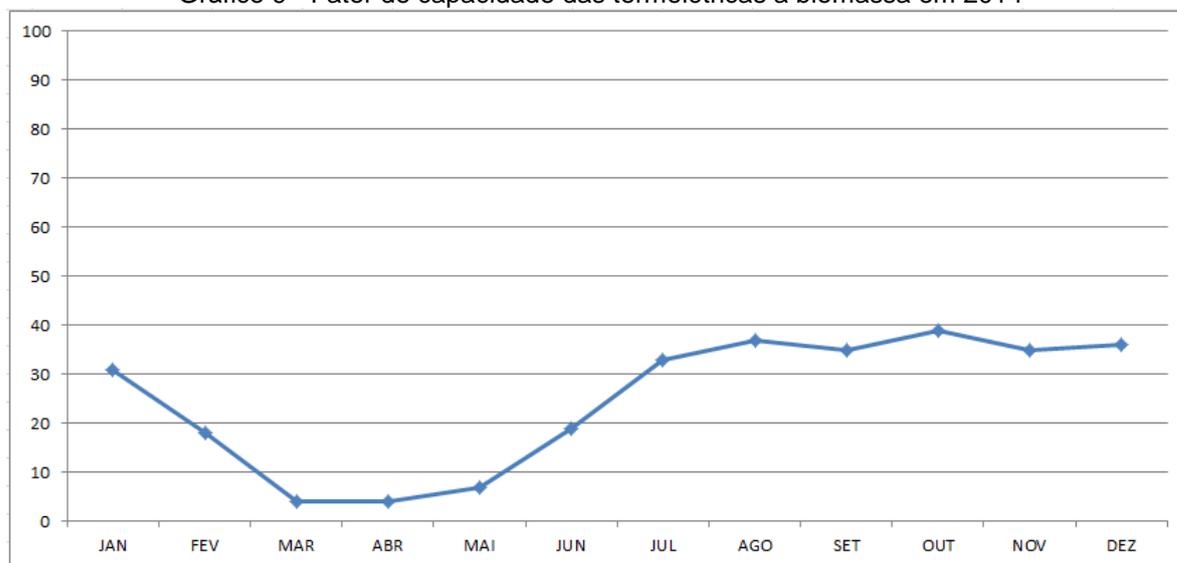
#### 4.3.4 FATOR DE CAPACIDADE

Ao contrário das termelétricas tradicionais, a biomassa não possui um controle tão grande da disponibilidade do combustível. O bagaço de cana é menos abundante nos períodos de entressafra. Isso faz com que a relação entre a energia gerada e a capacidade instalada de uma usina varie muito durante o ano.

Nas regiões onde se localizam as usinas, o período de chuva praticamente coincide com a entressafra, o que inviabiliza o desenvolvimento de tecnologias confiáveis para o armazenamento e tratamento do bagaço. O fato de a colheita se dar no período de poucas águas proporciona uma complementação entre a energia hídrica e o setor sucroalcooleiro. (DOS REIS, 2011)

Segundo a CCEE (2014), no ano de 2014 o fator de capacidade médio foi de 25%. Entre os meses de março a maio, o valor foi menor do que 10%, mas em compensação entre agosto e dezembro, o fator de capacidade chegou próximo de 40%.

Gráfico 9 - Fator de capacidade das termelétricas a biomassa em 2014



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.3.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Quando manejada adequadamente, a biomassa é uma fonte de energia renovável, e apresenta vantagens ambientais significativas em relação aos combustíveis fósseis. Não emite óxidos de nitrogênio e enxofre, e o CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera durante a queima é absorvido na fotossíntese, portanto apresenta balanço zero de emissões. (DOS REIS, 2011)

O principal fator limitante é o seu alto custo comparado aos combustíveis fósseis. Contra seu uso existe o argumento debatido que é o fato desta concorrer com a produção de alimentos, tanto física quanto economicamente. (DOS REIS, 2011)

#### 4.4 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

A energia hídrica consiste no aproveitamento da energia potencial de fluxos de água, ou quedas d'água, para movimentação de uma turbina que transforma a

energia potencial em energia cinética. A turbina aciona um gerador, que transforma a energia cinética em energia elétrica.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas são usinas com capacidade instalada máxima de 30 MW, e têm se tornado cada vez mais comuns na matriz energética brasileira.

#### **4.4.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA**

A principal fonte de energia no Brasil é a hidrelétrica, e o domínio da tecnologia é grande. O histórico do país com a utilização dessa fonte ajuda muito nesse aspecto, principalmente para o caso das PCHs, que são mais simples que as grandes usinas.

Segundo Tolmasquim (2003), a indústria nacional está qualificada para fornecer todos equipamentos elétricos e hidromecânicos para as PCHs. Porém a tecnologia está um pouco ultrapassada em relação a outros países, devido à baixa exigência do mercado, o que limita a indústria a fabricar equipamentos baseados em projetos antigos.

O segmento industrial de produção de equipamentos para PCHs corre risco de sofrer perdas de participação no mercado interno por conta, principalmente, do avanço das importações da China e da Índia. Esse avanço acontece em razão dos preços praticados pela indústria nesses países, onde os impostos sobre a produção são baixos e as condições de trabalho são questionáveis. Os fabricantes brasileiros, embora tenham ciência desse fato, estão acomodados e, em razão disso, têm perdido oportunidades de exportação para América Latina, África, dentre outros. (GOLDEMBERG et al., 2012)

#### **4.4.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO**

No caso das PCHs, na maioria das vezes, não é necessário importar equipamentos, o que interfere diretamente nos custos. Para quantificar os investimentos, foram analisados os últimos leilões nos quais PCHs foram negociadas, no caso, 22º LEN, 21º LEN e 20º LEN.

Tabela 8 - Investimentos nas PCHs

<b>Leilão</b>	<b>22º LEN</b> 21/08/2015	<b>21º LEN</b> 30/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	7	8	3
<b>Potência total instalada (MW)</b>	66,18	164,33	43,88
<b>Investimento total (R\$)</b>	382.080.950,00	1.181.858.510,00	266.928.100,00
<b>Investimento médio (R\$/MW)</b>	6.245.193,69	7.191.982,66	6.083.138,10

Fonte: Elaborado pelo Autor

O investimento médio por MW nos últimos leilões foi de R\$ 6,63 milhões. Para uma PCH de 30MW, o investimento equivalente seria de R\$ 199,93 milhões.

#### 4.4.3 PREÇO DO MWh

A Tabela 9 indica os preços negociados por MW nos últimos leilões.

Tabela 9 - Preço do MWh das PCHs

<b>Leilão</b>	<b>22º LEN</b> 21/08/2015	<b>21º LEN</b> 30/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	7	8	3
<b>Menor preço (R\$/MWh)</b>	202,85	195,00	160,90
<b>Maior preço (R\$/MWh)</b>	207,00	207,64	162,50
<b>Preço médio (R\$/MW)</b>	204,98	204,32	161,97

Fonte: Elaborado pelo Autor

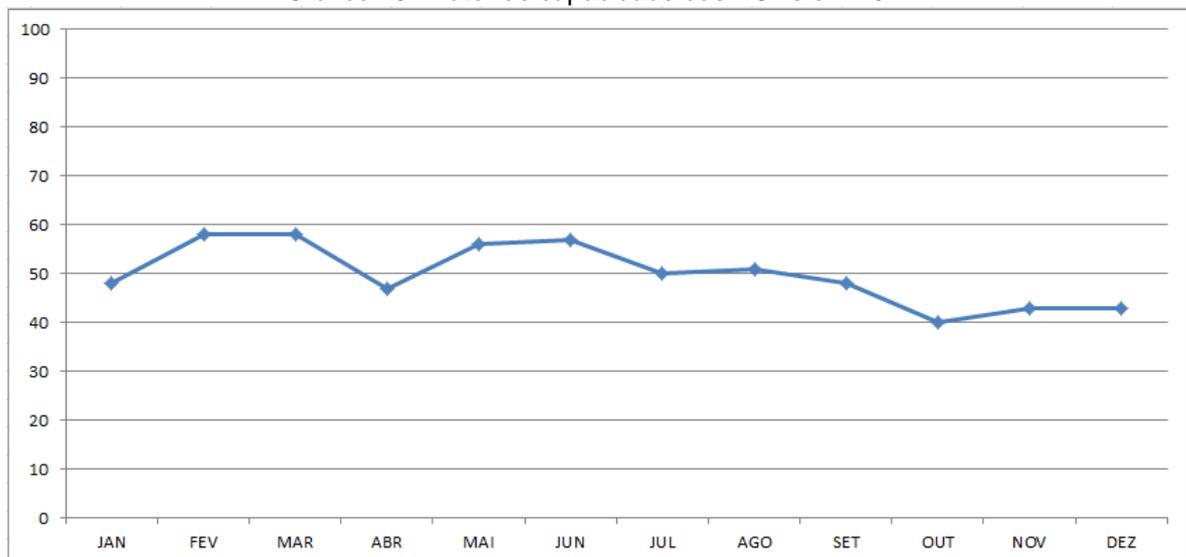
O preço médio do MWh negociado proveniente das PCHs nos últimos leilões foi de R\$197,52.

#### 4.4.4 FATOR DE CAPACIDADE

O fator de capacidade das usinas hidrelétricas historicamente é entre 50% e 60%. O fato de poder acumular água nas barragens ajuda no controle do escoamento da água e da geração de energia. Porém períodos críticos de ausência de chuvas podem complicar esse acúmulo.

A CCEE divulga os valores do fator de capacidade das PCHs separados dos valores das grandes usinas, o que deixa a análise mais detalhada. Em 2014, o FC médio desse tipo de geração foi de 49,9%.

Gráfico 10 - Fator de capacidade das PCHs em 2014



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.4.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

As PCHs, por serem empreendimentos de pequeno porte, causam menos impactos que os projetos de grande porte. Não causam alagamentos em grandes áreas e nem deslocamentos populacionais. Segundo Tolmasquim (2003), trazem mais benefícios do que causam danos ao meio ambiente.

Mesmo assim faz-se necessário dar enfoque aos danos causados por essas usinas. O principal impacto a ser considerado é que com a diminuição da vazão natural do rio, a fauna pode ser prejudicada, pois alguns peixes podem ter dificuldade

de reprodução. Um escoamento mínimo d'água deve ser mantido permanentemente, com objetivo de proteger a ecologia local. (TOLMASQUIM, 2003)

Outros impactos importantes são os possíveis alagamentos de terras produtivas, ribeirinhas, habitáveis ou importantes para biodiversidade. Várias PCHs em uma mesma bacia hidrográfica podem causar danos ambientais comparáveis a uma grande usina hidrelétrica.

## 4.5 GERAÇÃO EÓLICA

As usinas eólicas aproveitam a energia cinética contida nos ventos, produzidos essencialmente através do aquecimento diferenciado das camadas de ar pelo sol e através do movimento de rotação da terra. (DOS REIS, 2011)

### 4.5.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA

Desde a criação do PROINFA, os investimentos na área de energia eólica vêm se expandindo. O crescimento do setor, aliado ao grande potencial eólico brasileiro e à recente crise financeira dos países desenvolvidos, impulsionou a vinda de fornecedores de equipamento e investidores estrangeiros. Começou a desenvolver-se uma indústria nacional de aerogeradores com capacidade anual de produção de 750 MW, e com índice de nacionalização da ordem de 70%. (GOLDEMBERG et al, 2012)

O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) exige obrigatoriamente um índice mínimo de nacionalização de 60% no setor, o que propicia o aprimoramento do mercado nacional e pesquisas no setor.

Desenvolveu-se também a capacitação técnica de empresas de consultoria em prospecção, estimativa de produção, projeto e certificação, que tem realizado, com técnicos brasileiros, o levantamento do potencial eólico do diversos estados do país. (GOLDEMBERG et al, 2012)

#### 4.5.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO

A instalação de empresas fabricantes de componentes eólicos no Brasil reduziu os custos dos equipamentos, que representam cerca de 70% do investimento total em uma usina eólica. (BRAZILENERGY, 2012)

Como foi realizado para as outras fontes de energia, foram analisados os últimos leilões nos quais a fonte eólica foi negociada, para quantificar os valores investidos. A Tabela 10 apresenta o resultado.

Tabela 10 - Investimentos nas usinas eólicas

<b>Leilão</b>	<b>22º LEN</b> 21/08/2015	<b>3º LFA</b> 27/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	19	3	36
<b>Potência total instalada (MW)</b>	538,80	90	925,95
<b>Investimento total (R\$)</b>	1.913.486.960,00	440.763.300,00	3.463.864.620,00
<b>Investimento médio (R\$/MW)</b>	3.551.386,34	4.897.370,00	3.740.876,53

Fonte: Elaborado pelo Autor

Considerando esses três resultados apresentados, o investimento médio por MW foi de R\$ 3,74 milhões. Para uma usina com capacidade de 30 MW o investimento seria de R\$ 112,16 milhões.

#### 4.5.3 PREÇO DO MWh

A Tabela 11 apresenta os preços negociados nos últimos três leilões que a fonte eólica foi negociada.

Tabela 11 - Preço do MWh da fonte eólica

<b>Leilão</b>	<b>22º LEN</b> 21/08/2015	<b>3º LFA</b> 27/04/2015	<b>20º LEN</b> 28/11/2014
<b>Empreendimentos negociados</b>	19	3	36
<b>Menor preço (R\$/MWh)</b>	178,88	177,46	135,26
<b>Maior preço (R\$/MWh)</b>	182,42	177,48	137,00
<b>Preço médio (R\$/MW)</b>	181,09	177,47	136,05

Fonte: Elaborado pelo Autor

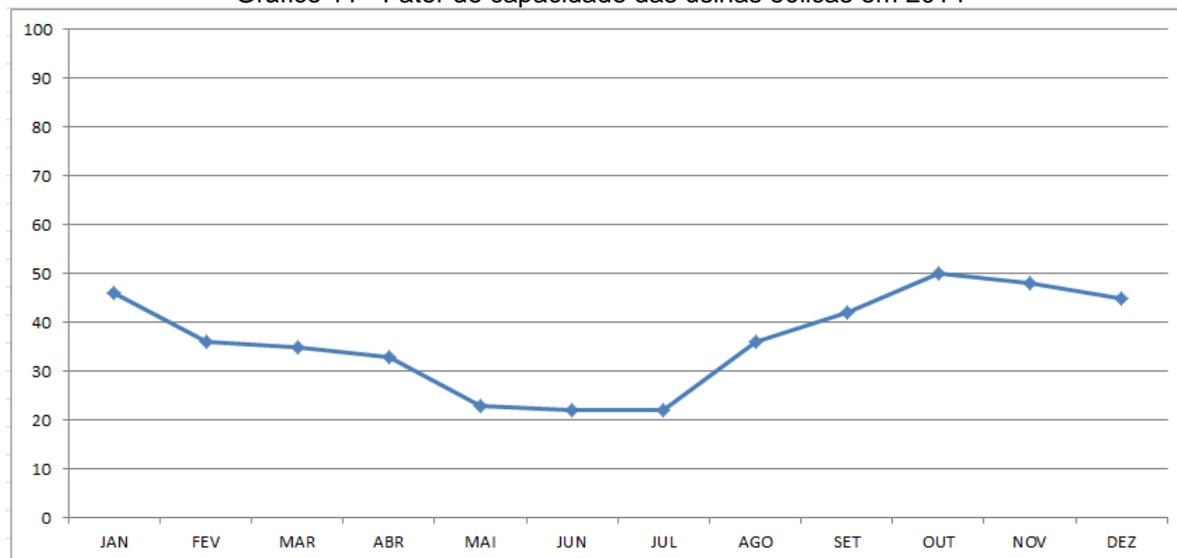
O preço médio do MWh negociado nesses leilões foi de R\$ 152,95.

#### 4.5.4 FATOR DE CAPACIDADE

Os sistemas eólicos atuais produzem energia elétrica de 70% a 85% do tempo, mas geram produções diferentes dependendo da velocidade do vento. Ao longo de um ano, vão alcançar aproximadamente 30% da produção máxima teórica. (LOPEZ, 2012)

Segundo o CCEE (2014), o fator de capacidade médio das usinas eólicas brasileiras em 2014 foi de 36,8%, sendo um dos maiores do mundo. Os meses com o maior FC foram entre agosto e janeiro, e os meses com menor FC foram entre maio e julho.

Gráfico 11 - Fator de capacidade das usinas eólicas em 2014



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.5.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

O impacto ambiental causado pelas turbinas eólicas existe, porém é muito pequeno se comparado com hidrelétricas e termelétricas. As discussões levantadas sobre a utilização dos aerogeradores são relacionadas a impactos visuais e sonoros, a desvios da rota migratória e à morte de pássaros. Todavia, tais problemas podem ser considerados mínimos, ou mesmo desprezíveis, principalmente se comparados aos benefícios advindos da utilização de uma fonte renovável, inesgotável e não poluente. (GOLDEMBERG et al, 2012)

No âmbito social, o uso da fonte eólica substitui despesas com combustíveis fósseis ou nucleares por capacidade de trabalho humano. Essa forma de geração de energia cria mais empregos que outras formas de geração centralizadas com fontes não renováveis. (GOLDEMBERG et al, 2012)

Os aspectos socioambientais serão abordados mais profundamente nesse trabalho, visto que esse capítulo visa uma comparação mais compacta entre as fontes de geração de energia comercializadas nos leilões promovidos pelo governo.

#### 4.6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS FONTES

Após um estudo sobre as fontes de energia presentes nos leilões em diversos aspectos, uma análise comparativa é abordada, como proposto no início do capítulo.

Com base nos critérios avaliados, a Tabela 12 mostra resumidamente as características de cada fonte.

Tabela 12 – Características resumidas das fontes de energia

<b>FONTE</b>	<b>Domínio tecnológico</b>	<b>Investimento na implantação 30MW (milhões R\$)</b>	<b>Preço médio do MWH (R\$/MW)</b>	<b>Fator de capacidade (%)</b>	<b>Impactos socioambientais</b>
<b>Solar</b>	Baixo, necessidade de importações.	147,90	257,75	12,0 a 18,0	Praticamente nenhum na geração
<b>Gás Natural</b>	Alto, porém possui deficiência na distribuição por meio de gasodutos.	69,30	223,87	66,7	Não é renovável. Acréscimo nas emissões de gases poluentes.
<b>Biomassa</b>	Alto, indústria nacional preparada.	84,00	218,42	25,0	Renovável quando utilizada adequadamente. Balanço zero emissões. Pode concorrer com a produção de alimentos
<b>PCH</b>	Alto, porém com tecnologias ultrapassadas.	199,93	197,95	49,9	Possíveis alagamentos de terras utilizáveis, danos à ecologia local.
<b>Eólica</b>	Alto, com investimentos estrangeiros na indústria nacional.	112,16	152,95	36,8	Impactos mínimos. Poluição visual e sonora, morte de pássaros. Gera muitos empregos.

Fonte: Elaborado pelo Autor

A fonte solar fotovoltaica ainda é recente no país, e representa apenas 0,02% de toda capacidade instalada. Devido à falta de tecnologia nacional para produção dos painéis fotovoltaicos, há a necessidade de importação, o que encarece os custos de implantação. Também por isso, a energia gerada é mais cara, tornando-a pouco competitiva. Porém, devido ao seu baixo impacto ambiental, a tendência é que haja um investimento em pesquisa e desenvolvimento na área, e também redução nos impostos sobre a importação. Seu maior crescimento pode acontecer em longo prazo.

Dentre as fontes analisadas, o menor custo de implantação é das termelétricas a gás natural, devido à indústria nacional ser capaz de fornecer seus equipamentos, inclusive para localização e extração do combustível. Todavia, a rede de gasodutos

do país é deficiente, o que limita a construção de usinas e torna a extração pouco viável economicamente. Essa limitação é visível no preço que a energia é negociada, sendo a segunda mais cara. As usinas a gás natural também apresentam o melhor fator de capacidade, devido à precisão no controle do abastecimento. O que pesa contra o uso desse combustível é o fato de ser o único não renovável nessa lista, e o que mais emite gases poluentes. É um bom combustível de *backup* para socorrer a matriz energética nacional em períodos secos.

As usinas a biomassa se mostram competitivas, pois a indústria nacional está preparada, e isto se reflete nos custos de implantação, sendo a segunda com menor investimento. O preço do MWh é médio, pois a geração termelétrica costuma ser mais cara. A questão ambiental é favorável, apresentando um balanço zero de emissões. Porém, essas usinas apresentam um baixo fator de capacidade, pois dependem diretamente da colheita da cana-de-açúcar. A biomassa, assim como a eólica, apresenta um aspecto complementar à fonte hídrica.

As PCHs, apesar de bastante comuns, apresentaram um desempenho médio perante as outras fontes. A indústria brasileira possui o domínio da tecnologia necessária para fornecer os equipamentos para essas usinas, porém as tecnologias estão um pouco ultrapassadas. Aliado a isso, a obra necessária para construir uma PCH é alto se comparada às outras fontes analisadas, o que encarece muito o custo de implantação, sendo a geração com maior investimento dentre as energias analisadas. Os impactos ambientais também estão entre os maiores. O que mais favorece as PCHs é o seu fator de capacidade, que é da ordem de 50%. Esse tipo de geração deve continuar crescendo devido à geografia favorável do Brasil.

A geração eólica se mostrou competitiva em todos os aspectos, inclusive no fator de capacidade, que apesar de baixo, é maior que o da biomassa e da solar. Os investimentos estrangeiros no setor, aliados a exigência mínima de nacionalização de 70% dos equipamentos e ao grande potencial dos ventos no Brasil, fizeram com que a energia eólica fosse a que mais cresceu nos últimos anos. O preço do MWh é o menor entre as fontes analisadas, sendo comparável inclusive com o das usinas hidrelétricas. O fator ambiental também é muito favorável, os impactos são baixos e a geração de empregos é alta.

Com base na pesquisa realizada, foi elaborado um *ranking* para melhor visualizar o desempenho de cada tipo de usina dentro dos critérios avaliados.

Tabela 13 - Ranking com base nos critérios estudados

<b>Colocação</b>	<b>Domínio tecnológico</b>	<b>Investimento de implantação</b>	<b>Preço médio do MWh</b>	<b>Fator de capacidade</b>	<b>Impactos socioambientais</b>
<b>1º</b>	BIO	GN	EOL	GN	SOL
<b>2º</b>	EOL	BIO	PCH	PCH	EOL
<b>3º</b>	PCH	EOL	BIO	EOL	BIO
<b>4º</b>	GN	SOL	GN	BIO	PCH
<b>5º</b>	SOL	PCH	SOL	SOL	GN

Fonte: Elaborado pelo Autor

Através da Tabela 13 é possível visualizar que a energia eólica se mostrou eficiente em todos os aspectos quando comparado com as fontes de energia concorrentes.

O Brasil é um país de tamanho continental, e todas essas fontes tem espaço na sua matriz energética, devido a diversos fatores e peculiaridades locais. Com o aumento do consumo, é natural que todas tenham uma expansão nas próximas décadas em termos de capacidade instalada. Porém, devido ao retrospecto recente, e ao resultado dos critérios avaliados, a energia eólica deverá obter a maior expansão em termos de participação na matriz energética, o que indica que receberá grande incentivo financeiro privado e governamental.

## 5. FUNDAMENTOS DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Após comprovar a viabilidade eólica perante outras fontes de energia, este capítulo visa mostrar as políticas, custos e aspectos técnicos construtivos de sistemas eólicos, avaliando a indústria nacional e sua capacidade, assim como analisar o potencial eólico brasileiro, estudando algumas regiões propensas para expansão desta fonte de energia. Também são detalhados os impactos deste tipo de geração, com enfoque no Brasil.

### 5.1 POLÍTICAS E INCENTIVOS

Em mercados liberais, existe o problema da concorrência entre energia eólica diretamente com fontes poluidoras, pois os custos da produção eólica ainda são altos, e seu fator de capacidade é relativamente baixo. Por isso, uma forte política institucional de incentivos na área torna-se necessária. (GAVINO, 2011)

A energia elétrica, pela característica de infraestrutura econômica e por influenciar diretamente na qualidade de vida da sociedade, deve ser tratada como um bem de utilidade pública fundamental. A regulação deve promover o interesse comum e corrigir falhas do mercado através de ações governamentais. Em um país democrático, que promove a livre iniciativa, o Estado deve intervir em defesa do meio ambiente e da população, buscando desenvolvimento sustentável. Diante de tal desafio, o governo do Brasil tomou medidas para promover fontes renováveis não convencionais de energia, sendo a eólica a mais beneficiada.

A penetração eólica teve seu início em 2004, com a criação do PROINFA, que foi resultado do Novo Modelo do Setor Elétrico. Antes disso, a geração eólica era praticamente insignificante.

A primeira tentativa de promover a energia dos ventos foi a criação do Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), em 2001, que tinha o objetivo da implantação de 1,5 GW até 2003, com sistema *feed-in*. (GAVINO, 2011)

Tal sistema determina o preço mínimo que a concessionária deverá pagar pela energia fornecida pelos produtores, sendo geralmente acima do preço de mercado. Essa diferença acaba sendo paga pelo consumidor final, através da conta de luz. Esse sistema também foi utilizado com o PROINFA, e atualmente não é mais usual. (GAVINO, 2011)

O PROINFA fomentou as fontes eólica, biomassa, e PCHs, de modo a obter-se ganhos no aspecto tecnológico, ampliar a indústria, e se beneficiar dos baixos impactos ambientais. A energia produzida pelas usinas que se originaram desse programa é comprada pela Eletrobrás, com contratos de 20 anos. (WWF-BRASIL, 2012)

A segunda fase do PROINFA seria iniciada quando os 3,5 GW da primeira fase estivessem instalados. Porém devido à atrasos na entrega de projetos, que foram concluídos 5 anos depois do prazo, e ao sucesso do sistema de leilões, a nova fase não tem previsão e nem indícios de que possa ocorrer.

Em 2004 foi criado um ambiente regulado composto por leilões e processos de licitação por menor tarifa. E em 2009, a partir do primeiro leilão exclusivo para fonte eólica, este tipo de geração começou a ganhar espaço significativo na matriz energética brasileira. Entre 2010 e 2011, a fonte eólica já se mostrava mais competitiva que a biomassa e PCHs. E de 2012 em diante se consolidou como a segunda fonte mais competitiva nos leilões, com preço do MWh comparável ao das grandes hidrelétricas. (LAGE E PROCESSI, 2013)

De modo a incentivar o incremento da energia eólica, o governo federal zerou o Imposto de Importação sobre a compra de aerogeradores. Essa medida causou dois impactos distintos, por um lado facilitou o desenvolvimento da fonte eólica, mas por outro inibiu o crescimento da cadeia nacional de subfornecedores, pois era mais barato adquirir o aerogerador inteiro do exterior. Foi uma ação importante na fase inicial do PROINFA, e perdurou até 2009. (LAGE E PROCESSI, 2013)

Para amenizar os efeitos na cadeia nacional, o Ministério da Fazenda aprovou a isenção permanente do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para aerogeradores, o que representava 7,5% do valor total do equipamento. Outra medida, adotada pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), através do Convênio 101/97, isentou o segmento eólico do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Esse convênio foi prorrogado diversas vezes e está em vigor até 2021 (LAGE E PROCESSI, 2013)

O Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) reduziu para zero a cobrança de PIS e COFINS para diversos setores de infraestrutura, incluindo o de energia, beneficiando o segmento da geração eólica. (LAGE E PROCESSI, 2013). Porém o REIDI não era aplicado a toda cadeia produtiva dos aerogeradores, e somente em 2014 passou a beneficiar toda indústria eólica.

O BNDES se destaca como o grande indutor do desenvolvimento da cadeia produtiva de energia eólica. Os leilões não estabelecem requisitos de fabricação nacional dos equipamentos, mas grande parte dos parques eólicos é financiada pelo BNDES, que somente fornece crédito para aquisição de componentes credenciados no FINAME, estimulando o desenvolvimento da indústria nacional. (LAGE E PROCESSI, 2013)

Sem essas ações governamentais, provavelmente a energia eólica no Brasil pouco evoluiria, e continuaria com capacidade instalada semelhante a de 1999, com apenas alguns parques em áreas isoladas, e poucos investimentos privados nos setores, visto que o custo benefício seria pouco compensador, sendo mais atrativo investir em outras fontes de energia.

Além dos leilões, o Brasil também conta com um sistema de *net metering* desde 2012, que regula a geração distribuída, ou seja, a troca de energia entre concessionária e consumidores que possuam sistemas de microgeração conectados à rede. Créditos são acumulados com as concessionárias quando a geração supera o consumo local, e débitos são acumulados quando o inverso ocorre. Isso gerou mais uma possibilidade de exploração da energia dos ventos no país. (LAGE E PROCESSI, 2013)

### **5.1.1 IMPORTÂNCIA DO BNDES**

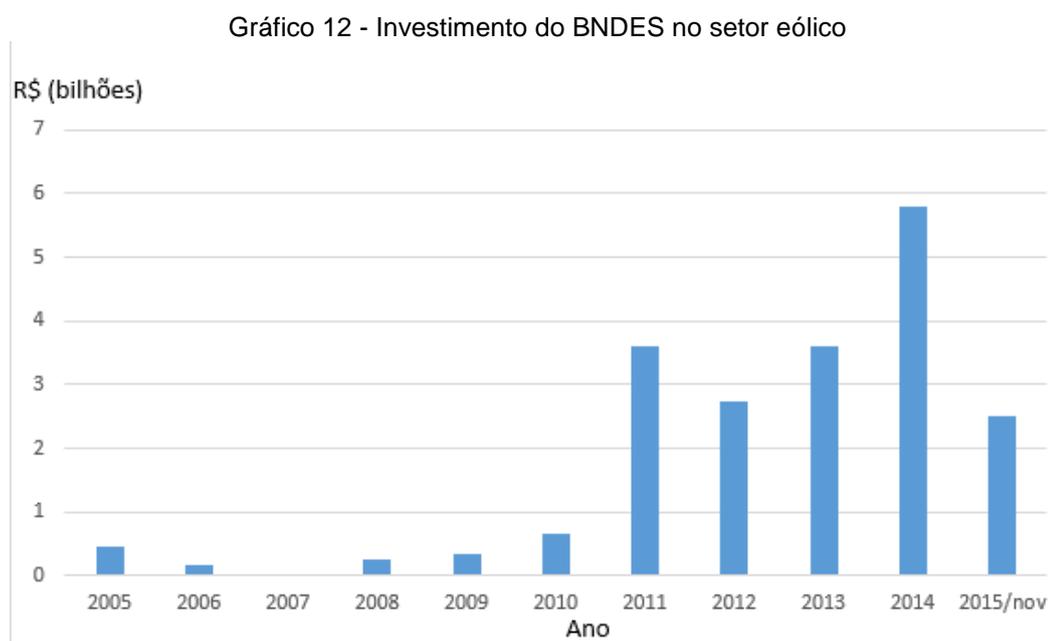
O BNDES tem papel fundamental na expansão de fontes não convencionais de energia, sendo a principal instituição financiadora. E a energia eólica foi a que mais se beneficiou em termos de aumento de capacidade proporcionada por este banco, recebendo mais de R\$ 20 bilhões desde 2005.

Logo no início do PROINFA, o BNDES já era o grande apoiador das fontes alternativas, disponibilizando linhas especiais para investimentos. Foram disponibilizados inicialmente R\$ 5,5 bilhões para financiamento de PCHs, usinas à biomassa e usinas eólicas até 2005, podendo representar até 80% do investimento total de um empreendimento.

O prazo para entrega das obras contratadas pelo PROINFA inicialmente era 30 de dezembro de 2006, mas esse prazo foi estendido para 31 de dezembro de 2011, devido a diversos atrasos ocorridos. (SIMAS, 2012)

O PROINFA foi responsável pela contratação de 54 usinas eólicas, com potência instalada de 1,4 GW, representando 43% do total instalado pelo projeto, e abriu espaço para consolidação da indústria do setor no Brasil. (SIMAS, 2012)

Com a criação dos leilões de energia, e o fortalecimento da indústria nacional, o BNDES aumentou significativamente sua contribuição, passando a ser anualmente na casa dos bilhões. O Gráfico 12 foi elaborado com base em dados do portal BNDES transparência, e mostra o valor da contribuição do BNDES a cada ano.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Um exemplo da contribuição deste banco é o complexo eólico de Osório (RS), no qual 69% do investimento de R\$ 670 milhões foram financiados pelo BNDES, sendo R\$ 105 milhões diretamente, e R\$ 360 milhões por um consórcio entre outros bancos como o Banco do Brasil e Santander. O capital restante foi aportado pelo grupo Privado Elecnor. (VENTOS DO SUL ENERGIA, 2009)

Os investimentos do BNDES em fontes não convencionais de energia fomentaram diversos setores da indústria, e permitiram expansão de PCHs, usinas à biomassa e usinas eólicas, diversificando a matriz energética, e levando desenvolvimento a regiões pobres do país. A intervenção do estado na economia permitiu um ambiente de investimentos produtivos, progresso tecnológico e desenvolvimento sustentável.

Segundo o BNDES (2014), a previsão de investimentos no Setor Elétrico Brasileiro até 2017 é de R\$ 191,7 bilhões, sendo a maior parte em usinas

hidrelétricas, R\$ 54,5 bilhões, 28,4%. Os parques eólicos vêm em segundo lugar, com R\$ 43 bilhões, 22,4% do total. A recente desaceleração na economia brasileira deve tornar esses valores menores, mesmo assim, é importante destacar a fonte eólica como a segunda mais requisitada para investimentos.

## **5.1.2 POLÍTICAS E INCENTIVOS PELO MUNDO**

A experiência internacional na inserção eólica é uma importante indicação sobre os rumos e futuro no Brasil.

Países pioneiros como a Alemanha, Dinamarca e Estados Unidos, tiveram que lidar com uma inovação radical, com a criação de uma nova indústria, investindo pesado em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Os países seguintes como Espanha, Portugal e China tiveram que tomar medidas de caráter seletivo, adequadas a trajetória tecnológica em questão, inicialmente importando equipamentos.

### **5.1.2.1 POLÍTICAS ALEMÃS**

Os investimentos em energia eólica na Alemanha começaram na década de 1980, com programas de pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D), visando o aprimoramento de turbinas. (GAVINO, 2011)

Em 1989, foi criado o Programa 100/250 MW, no qual os geradores recebiam concessões em dinheiro para instalação e operação de aerogeradores, ou então um subsídio por KWh produzido. (GAVINO, 2011)

A partir de 1991 foi adotado o sistema *feed-in*, com tarifas fixas para todos os geradores de energia renovável, que define o preço do MWh a ser pago nos próximos 20 anos, diminuindo o risco de empreendimentos eólicos. Desse modo, as tarifas baixaram significativamente como forma de estimular eficiência e são revisadas periodicamente para que os novos projetos obtenham ganhos tecnológicos. (RICOSTI, 2011)

### **5.1.2.2 POLÍTICAS DINAMARQUESAS**

Assim como no caso alemão, a Dinamarca também investiu em programas de P&D após a crise do petróleo na década de 70.

A primeira grande ação governamental foi a cobertura de 30% dos custos de parques eólicos na década de 1980. Depois passou a fornecer garantias de empréstimos para projetos de exportação de turbinas eólicas. Além disso, a partir de 1979 implantou a obrigação da compra de toda produção eólica por parte dos operadores da rede, por meio do mercado de eletricidade. (GAVINO, 2011)

A partir da década de 1990 o país também passou a adotar o sistema *feed-in*, que exerceu um papel importante para crescimento do setor. Na década de 2000, com a liberação do setor elétrico, esse sistema foi substituído por um prêmio dado ao produtor, em cima do preço de mercado. (GAVINO, 2011)

### **5.1.2.3 POLÍTICAS NORTE-AMERICANAS**

Os incentivos federais nos Estados Unidos se dão por meio de créditos para geração eólica. O governo disponibiliza 1,9 centavos de dólares como crédito por KWh gerado nos primeiros 10 anos de operação de uma usina. Para qualificar um projeto, ele deve estar completo e gerar energia enquanto o crédito vigora. (RICOSTI, 2011). Em primeira vista, 1,9 centavos de dólares por KWh gerado pode parecer pouco, mas uma usina com 30 MW instalados, e fator de capacidade de 30%, recebe cerca de \$ 1,5 milhão por ano em forma de crédito. Esse dinheiro pode ser utilizado para obter descontos em impostos, e pode até ser adiantado como 30% do valor total do investimento.

Em termos estaduais, várias políticas são adotadas, podendo destacar o estado de Ontario, que foi o primeiro a adotar o sistema *feed-in*.

### **5.1.2.4 POLÍTICAS BRITÂNICAS**

O Reino Unido foi um dos poucos países europeus a adotar o sistema de leilões de energia renovável, nos anos 1990, porém os investimentos ficaram abaixo do esperado. Após cinco leilões, apenas um terço dos projetos se materializaram, sendo que muitos contratos foram fechados a preços irrealisticamente baixos, que sequer cobriam os preços de geração (COSTA et al, 2008 ; DUTRA e SZKLO, 2008), pois havia uma expectativa de que os preços dos equipamentos diminuiria, o que acabou não ocorrendo. Outro problema foi a inexperiência dos empreendedores nesse setor, exacerbada pela preção dos leilões por menores preços. (MOLLY, 2009)

Regras novas implantadas em 2000-2002 decretaram a taxaço sobre energia não renovável e fixaram uma meta de que fontes renováveis gerassem 3% da energia elétrica consumida em 2003, e 10% em 2010. Geradores de energia renovável passaram a receber “certificados verdes” para cada MWh gerado (*Renewables Obligation Certificates - ROCs*), e a vendê-los para os distribuidores. Ou seja, um parque no Reino Unido   sensível aos preços de mercado de energia, onde comercializa sua gera o, mas recebe receita adicional por isso devido aos “certificados verdes” (DALBEM, 2010). As metas de 2003 e 2010 foram atingidas com alguns anos de atraso.

Em 2009, o país publicou seu *Low Carbon Transition Plan*, onde deixa claro que o novo foco são as eólicas *offshore*, de maior potencial. Eólicas em terra de pequeno porte, menores de 5 MW, passaram a participar do sistema *feed-in*, com tarifas fixas. (DALBEM, 2010)

#### **5.1.2.5 POLÍTICAS ESPANHOLAS**

O crescimento da energia eólica na Espanha foi possível graças aos incentivos governamentais às fontes não convencionais e   fabrica o local de equipamentos. A exigência da fabrica o locais para financiamento fomentou uma indústria local forte, empresas multinacionais surgiram e vieram inclusive para o Brasil, como a Gamesa.

A Espanha adotava o sistema *feed-in*, ou de tarifas fixas, até 2004. Depois os empreendedores de parques eólicos passaram a poder optar, a cada 12 meses, ou pela tarifa fixa, ou pelo pr mio fixo, a ser somado ao preço do mercado livre de eletricidade. (KLESSMANN et al, 2008)

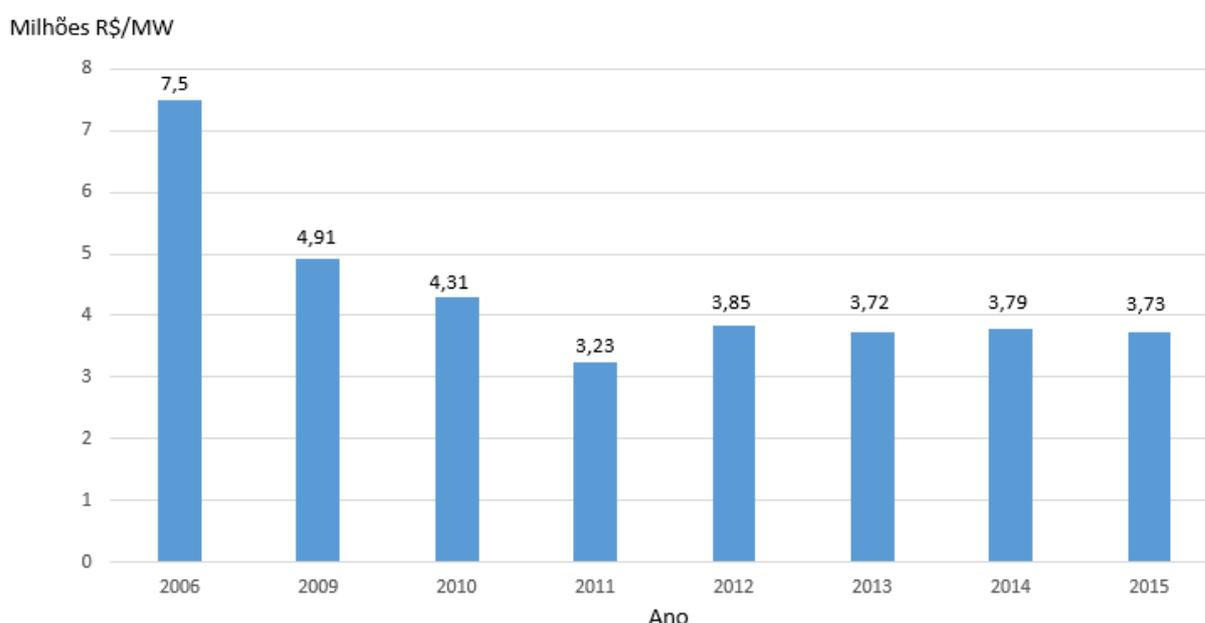
No sistema de pr mio fixo, os parques tem que entregar previsões da gera o, como qualquer outra fonte de gera o participante do mesmo sistema. O preço pago pelos desvios varia de acordo com o mercado de energia. (KLESSMANN et al, 2008)

A grande maioria dos empreendedores optou pelo pr mio fixo, e os preços subiram muito entre 2005 e 2006, gerando lucros considerados excessivos. Então, a partir de 2007 a op o pelo pr mio fixo passou a ter um teto de preços (KLESSMANN et al, 2008). Essa medida fez com que as tarifas fixas fossem novamente as mais escolhidas pelos produtores.

## 5.2 CUSTOS DA GERAÇÃO EÓLICA

Para se obter uma relação mais completa dos custos de investimento nas usinas eólicas, foram retirados dados do trabalho de Ricosti (2011), e analisados todos os leilões de energia realizados a partir de 2011. O resultado pode ser visto no Gráfico 13.

Gráfico 13 - Evolução dos custos por MW instalado



Fonte: Adaptado de Ricosti (2011)

Percebe-se que desde 2006 os custos de investimento sofreram um grande decréscimo. Isso se deve principalmente as políticas adotadas pelo governo brasileiro como o PROINFA, desenvolvimento tecnológico nacional e a necessidade de investimentos em fontes alternativas. Em 2011, a média do preço por MW foi a mais baixa até o momento. Nos últimos quatro anos, os custos se mantiveram praticamente constantes, o que ainda é muito considerável, visto que a inflação média no mesmo período foi de aproximadamente 6,5% ao ano.

O investimento na construção de uma usina eólica está dividido de forma simplificada em custos com o projeto, infraestrutura, equipamentos, financeiros e com linhas de transmissão, conforme indica a Tabela 14

Tabela 14 - Decomposição dos custos de usinas eólicas

<b>Custos</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Milhões R\$/MW</b>
<b>Projeto</b>	5,0	0,19
<b>Infraestrutura</b>	15,0	0,56
<b>Financeiros</b>	13,0	0,49
<b>Linhas de transmissão</b>	7,0	0,26
<b>Equipamentos</b>	60,0	2,24
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>3,74</b>

Fonte: Adaptado de Braciani (2011)

### 5.2.1 CUSTOS DE PROJETO

Segundo Custódio (2009), os parâmetros necessários ao projeto de um parque eólico são:

- Estudo do terreno e sua influência no comportamento do vento;
- Estudo do vento;
- Estudo da disposição dos aerogeradores na fazenda eólica
- Estudo da conexão da fazenda eólica na rede elétrica;

Um caminho correto no projeto pode acarretar em economia de dinheiro. Caso contrário, má escolha do local de estudo, ou mau dimensionamento dos componentes pode causar um grande prejuízo de tempo e dinheiro.

### 5.2.2 CUSTOS COM INFRAESTRUTURA

Os custos com infraestrutura são os gastos basicamente com as estradas de acesso e as obras civis para base dos aerogeradores, que são fundações em concreto armado. Esses custos podem ser definidos na fase de projeto. (BRACIANI, 2011)

### 5.2.3 CUSTOS FINANCEIROS

Os custos financeiros representam de certa forma o custo de oportunidade do capital, referente ao que está sendo investido, e varia conforme o cronograma de desembolso do investimento. (BRACIANI, 2011)

O custo de oportunidade do capital é definido como os gastos de acordo com as escolhas feitas, em relação aos possíveis gastos com as opções deixadas para trás.

Dependendo da origem dos recursos, os custos financeiros variam. A forma mais comum de investimento é através de financiamentos junto ao BNDES. As condições mais comuns de financiamento são: (BRACIANI, 2011)

- Capital próprio: mínimo 20% do investimento;
- Capital de terceiro: máximo 70% do investimento;
- Prazo do financiamento: 17 anos;
- Carência do financiamento: 1 ano após a operação comercial;
- Remuneração básica do BNDES: 1,0% a.a.;

#### **5.2.4 CUSTOS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Muitos empreendimentos eólicos localizam-se distantes da rede básica de energia. Por isso o custo com as linhas de transmissão é muito importante, pois ele pode ser decisivo na viabilidade do projeto, visto que as construções de grandes extensões de linhas de transmissão e de subestações podem tornar o investimento pouco atrativo. (CUSTÓDIO, 2009)

#### **5.2.5 CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS**

Devido ao grande porte dos componentes de um aerogerador, e a tecnologia empregada, o maior custo de um parque eólico está na aquisição dos equipamentos. Segundo ABDI (2014), as partes mais caras do aerogerador são:

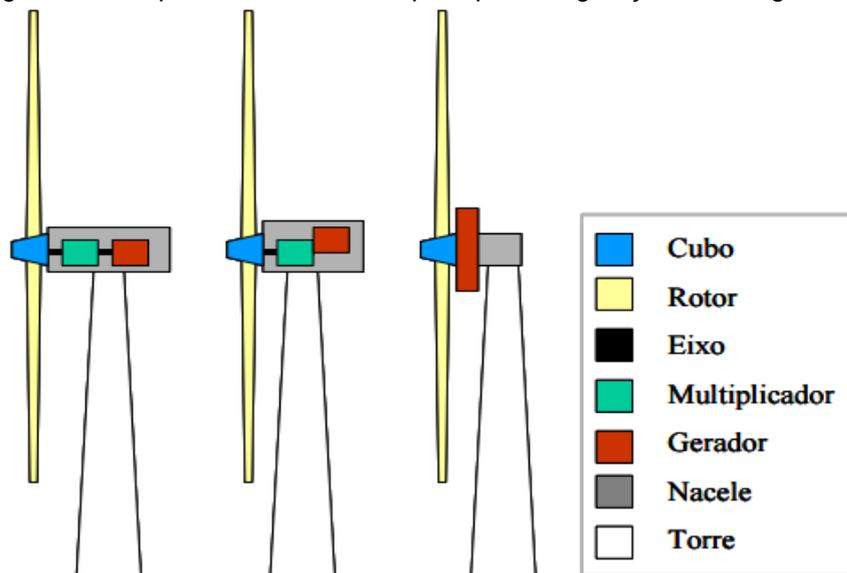
- Torre (20% a 25% do preço);
- Pás e cubo (20% a 30% do preço)
- Nacele (35% a 50% do preço)

O desenvolvimento da indústria nacional, a concorrência, e políticas de incentivos do governo são fundamentais para diminuir os custos com equipamentos.

### 5.3 ASPECTOS TÉCNICOS DA GERAÇÃO EÓLICA E INDÚSTRIA NACIONAL

O aerogerador é o dispositivo destinado a converter a energia cinética do vento em energia elétrica. A configuração largamente mais utilizada é a com rotor de eixo horizontal do tipo hélice, com três pás. A Figura 2 indica os principais componentes dessa configuração.

Figura 2 - Componentes básicos da principal configuração de aerogeradores



Fonte: Dutra, 2007

Existem geradores disponíveis comercialmente com potência nominal de até 6 MW, com rotores de mais de 120 metros de diâmetro, estando previstas máquinas ainda maiores para os próximos anos. (GOLDEMBERG et al, 2012)

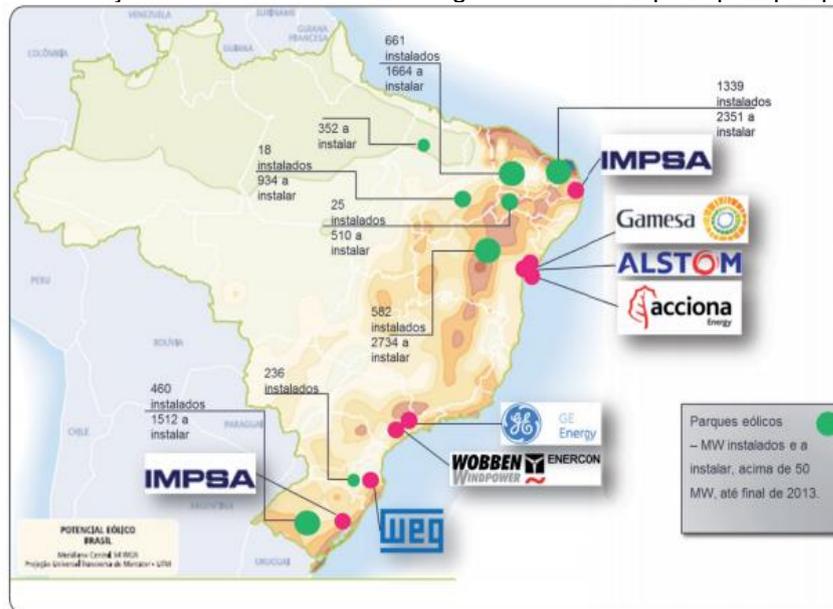
Os fornecedores de aerogeradores são, em sua essência, montadoras. Podem receber componentes de outras empresas e fazer a sua integração. A montagem ocorre somente no parque eólico, pois somente na usina que a torre, pás, cubo e nacelle são acoplados. (ABDI, 2014)

O BNDES estabelece metas físicas, divididas em etapas, que devem ser cumpridas pelos fabricantes de acordo com um cronograma previamente estabelecido. O objetivo é aumentar gradativamente o conteúdo local dos

aerogeradores. Sem isso, apenas a fabricação da torre e das pás já completava a exigência de 70% de componentes produzidos no Brasil. (ABDI, 2014)

As principais montadoras instaladas em território brasileiro são a Impsa, empresa argentina sediada em Suape (PE), que fabrica aerogeradores de 1,5 a 2,1 MW, a Wobben, multinacional alemã instalada em Sorocaba (SP), que produz aerogeradores de até 3,0 MW e a WEG, primeiro fabricante brasileiro, de Jaraguá do Sul, que monta turbinas eólicas de 2,1 MW.

Figura 3 - Localização das montadoras de aerogeradores e dos principais parques eólicos



Fonte: ABDI, 2014

### 5.3.1 Pás

O rotor é basicamente constituído pelas pás e pelo cubo que sustenta as mesmas.

As pás são perfis aerodinâmicos que interagem com o vento, transformando parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. São feitas em fibras de vidro, reforçadas com epóxi e/ou madeira. Possuem de 30 a 70 metros de comprimento. (CUSTÓDIO, 2009)

Figura 4 - Pá eólica moderna



Fonte: Amêndola, 2007

O BNDES exige que a fabricação das pás ocorra no Brasil. Como estas possuem dimensões significativas, são preferencialmente adquiridas de fabricantes locais. (ABDI, 2014)

Com isso, a maioria das fábricas se localiza no Nordeste, como a Wobben, que possui uma unidade em Pecém (CE), e a Aeris, fabricante brasileiro localizado na mesma cidade.

Figura 5 - Localização das fábricas de pás



Fonte: ABDI, 2014

### 5.3.2 CUBO

É a ponta do eixo da turbina, onde são fixadas as pás, por meio de flanges. É formado por aço ou liga metálica de alta resistência. Seu interior é dividido em várias partes compactas. (CUSTÓDIO, 2009)

Figura 6 - Cubo de uma turbina



Fonte: Amêndola, 2007

Devido a exigências do BNDES para financiamento, o cubo deve ser montado no Brasil. Alguns subcomponentes podem ser importados, como a carenagem. Gradativamente, todas as peças do cubo deverão ser fabricadas no Brasil. (ABDI, 2014)

Dentre as empresas montadoras de cubos, destacam-se a francesa Alstom, e as espanholas Gamesa e Acciona, todas instaladas na Bahia, no município de Camaçari. Esta última tem capacidade de produzir 135 cubos por ano.

### 5.3.3 NACELE

É a carcaça montada sobre a torre. Possui basicamente três funções: sustentar o cubo e as pás; abrigar todos os equipamentos necessários para conversão eólico-elétrica de energia; e minimizar a sombra de maneira a melhorar a eficiência da própria turbina e de suas vizinhas. (AMÊNDOLA, 2007)

A nacele possui diversos componentes, como eixo, gerador, caixa multiplicadora, transformador, mancais, freios, controle eletrônico, sistema hidráulico,

dentre outros, para conversão da força dos ventos em energia elétrica. Seus subcomponentes contém a maior tecnologia empregada em um aerogerador.

Figura 7- Nacele



Fonte: Amêndola, 2007

A montagem da nacele no Brasil também é uma exigência do BNDES para o financiamento dos aerogeradores. Uma parte dos subcomponentes também deve ter origem nacional de acordo com o BNDES. (ABDI, 2014)

A possibilidade de opção sobre quais itens serão produzidos no país, dá maior flexibilidade as montadoras, que podem defini-los de acordo com suas estratégias. (ABDI, 2014)

As montadoras de naceles também estão em sua maioria instaladas nas regiões de maior potencial eólico. Novamente destacam-se a francesa Alstom e a espanhola Gamesa, em Camaçari (BA). A empresa brasileira WEG monta naceles desde 2014, e tem capacidade de produzir 100 unidades por ano.

Figura 8 - Unidades de montagem de cubos e de naceles



Fonte: ABDI, 2014

### 5.3.4 TORRE

A torre é necessária para elevar e sustentar o rotor e a nacele a uma altura conveniente para o seu funcionamento. Esses componentes são muito pesados, podendo ter centenas de toneladas, o que leva a torre a ser extremamente resistente, e feita de metal tubular ou de concreto. Podem ou não ser sustentadas por cabos tensores. Também devem suportar os esforços dinâmicos repetitivos e vibrações, oriundos da ação do vento sobre as pás da turbina e da operação do maquinário interno da nacele. (AMÊNDOLA, 2007)

Figura 9 - Torres de aerogeradores



Fonte: Amêndola, 2007

Devido a sua grande dimensão e massa, as torres são preferencialmente adquiridas de fabricantes locais ou fabricadas localmente em unidades próprias das montadoras. O BNDES exige a fabricação de torres no país, com pelo menos 70% das chapas de aço fabricadas no Brasil ou concreto armado de procedência nacional. (ABDI, 2014)

A maior empresa fabricante de torres de aço instalada no Brasil é a espanhola Gestamp, no estado de Pernambuco, na cidade de Cabo de Santo Agostinho, com capacidade de produção de 450 torres por ano. A Alstom também se destaca, com unidades em Jacobina (BA) e Canoas (RS). Entre as empresas de origem nacional, a com maior capacidade de produção é a paulista Engebasa, com sede em Cubatão e filial em Guaíba (RS).

Para torres de concreto, a maior fabricante é a Wobben, com capacidade anual de produção de 500 torres. Outra empresa que se destaca é a espanhola Inneo, com fábricas móveis no Ceará, Bahia e Rio Grande do Sul. A empresa brasileira Eolicabrás, com sede em São Paulo, também utiliza o conceito de fábricas móveis.

Figura 10 - Fábricas de torres instaladas no Brasil



Fonte: ABDI, 2014

#### 5.4 LOCALIZAÇÃO DOS PARQUES EÓLICOS

Atualmente, segundo a ANEEL (2015), existem 274 parques eólicos em operação, 159 em construção e mais 301 aguardando início das obras.

A maioria dos empreendimentos se localiza na região Nordeste, principalmente nos estados da Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte. O Rio Grande do Sul é outro estado que possui boa parte dos parques eólicos. A Tabela 15 mostra a quantidade de usinas e capacidade instalada por estado.

Tabela 15 - Parques eólicos por estado

ESTADO	Nº parques eólicos	Potência instalada (MW)	Porcentagem (%)
Rio Grande do Norte	83	2300,55	34,14
Rio Grande do Sul	52	1343,58	19,94
Ceará	44	1233,23	18,30
Bahia	41	1046,59	15,53
Piauí	11	326,00	4,83
Santa Catarina	15	246,50	3,66
Pernambuco	9	106,65	1,58
Paraíba	13	69,00	1,02
Sergipe	1	34,50	0,51
Rio de Janeiro	1	28,05	0,42
Paraná	1	2,50	0,037
Minas Gerais	1	0,16	Próximo de 0
Maranhão	1	0,022	Próximo de 0
São Paulo	1	0,0022	Próximo de 0

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 5.4.1 NORDESTE

A região Nordeste possui 75,9% de toda potência instalada. A maior parte das usinas se localiza nos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará.

No Rio Grande do Norte, a maioria das usinas está nas regiões litorâneas ou próximas ao litoral. O maior destaque é para região conhecida como Mato Grande, que engloba todos os municípios das microrregiões da Baixa Verde e do Litoral Nordeste. Essa região possui a maior concentração de parques eólicos do país, principalmente nas cidades de João Câmara, Parazinho e Pedra Verde, com respectivamente, 22, 21 e 8 usinas cada, e capacidade instalada somada de 1328,56 MW.

No território cearense, as usinas se localizam majoritariamente nas regiões do litoral, em várias partes de sua extensão. A Mesorregião do Norte Cearense possui a maior parte delas, principalmente nas cidades de Trairi, com 13 parques eólicos, e Amontada, com 7. A soma de sua capacidade instalada é de 555,30 MW.

Na Bahia, as usinas se localizam no interior do estado, na região do Centro-sul Baiano, principalmente nas cidades de Caetité, com 17 parques eólicos, Guanambi, com 8, e Igaporã, com 7. A capacidade instalada somada chega a 780,50 MW.

O Piauí também possui algumas usinas no seu litoral, mais precisamente na cidade de Parnaíba. Mas a maior capacidade instalada fica na região do Vale dos Guaribas, sudeste do estado, nos municípios de Marcolândia e Caldeirão Grande do Piauí, com 203,10 MW de capacidade instalada.

Em Pernambuco, todas as 9 usinas eólicas estão instaladas no município de Tacaratu, na região de São Francisco Pernambucano, com capacidade instalada de 106,65 MW.

Assim como em Pernambuco, todas as 13 usinas da Paraíba estão em uma única cidade, em Mataraca, extremo norte do litoral do estado, com 69,00 MW de capacidade instalada.

Sergipe e Maranhão possuem apenas um parque eólico cada, nas cidades de Barra dos Coqueiros, 34,00 MW, e Cururupu, 0,022 MW, respectivamente. Através da Figura 11 fica mais claro a visualização da localização das usinas nordestinas.

Figura 11 -Parques eólicos na região Nordeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 5.4.2 SUL

A região Sul possui 23,6% da capacidade instalada no país, sendo a maior parte no Rio Grande do Sul.

Diversas cidades gaúchas espalhadas pelo estado possuem parques eólicos. No litoral sul, as cidades de Chuí, Santa Vitória do Palmar e Rio Grande possuem 6, 10 e 7 usinas eólicas, respectivamente, com capacidade somada de 574,00 MW. Mas o grande destaque do estado é o município de Osório, na Região Metropolitana de Porto Alegre, com capacidade instalada de 314,00 MW, em 9 usinas. Outras cidades importantes são Palmares do Sul, 177,50 MW, e Santana do Livramento, 191,70 MW.

No estado de Santa Catarina, o município de Água Doce, localizado no Meio Oeste Catarinense, possui o maior número de parques eólicos, 9, e maior capacidade instalada, 146,80 MW. Bom Jardim da Serra, no sul do estado, possui 118,20 MW instalados em 5 parques.

O município de Palmas, no Paraná, é o único no estado com esse tipo de geração, com 1 parque eólico de 2,50 MW. Na Figura 12 é possível visualizar a localização das usinas do Sul.

Figura 12 - Parques eólicos na região Sul



Fonte: Elaborado pelo Autor

### 5.4.3 SUDESTE

A região sudeste possui apenas 3 parques eólicos, representando menos de 0,5% da capacidade instalada total do Brasil. Dentre esses, a única usina de porte considerável é a de São Francisco de Itabapoana, norte do Rio de Janeiro, com 28,05 MW instalados. Nos municípios de Iturama, MG, e Boituva, SP, as usinas são de pequeno porte.

Figura 13 - Parques eólicos na região Sudeste



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 5.4.4 USINAS EM CONSTRUÇÃO

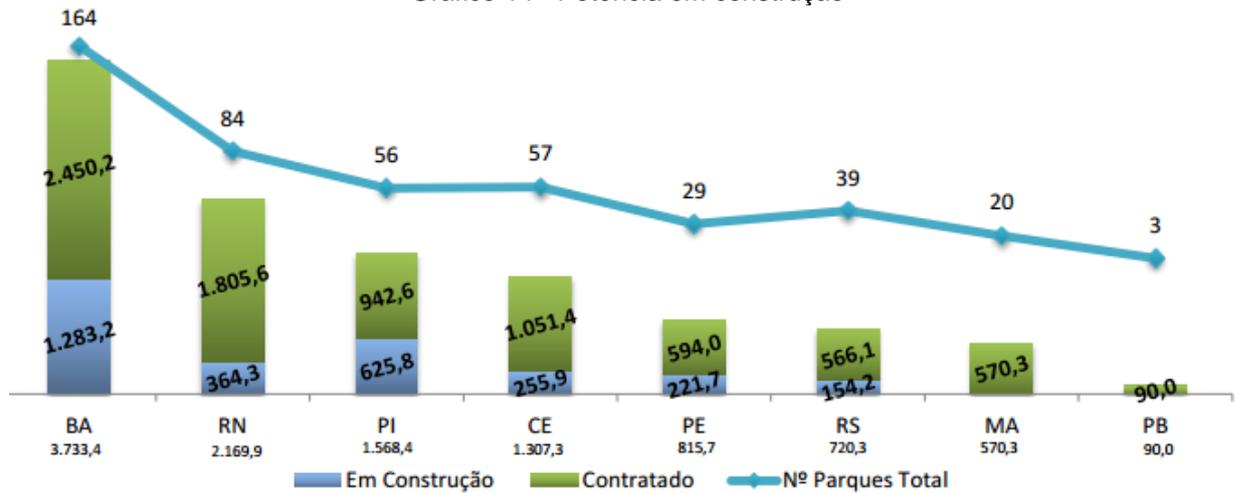
Os parques em construção são subdivididos em duas categorias: em construção e contratados. Serão pelo menos 10,97 GW incrementados na geração brasileira, mais do que dobrando a capacidade instalada. (ABEEólica, 2015)

Entre os parques eólicos que vão entrar em operação, 91,4% serão no Nordeste. O estado que terá o maior aumento em sua potência eólica é a Bahia, com 164 novas usinas, o que vai ocasionar um crescimento de 400% em sua capacidade instalada.

O Rio Grande do Norte vai quase dobrar sua capacidade, com 84 novas usinas, aumentando em 2169,90 MW. Vale destacar também o estado do Piauí, que vai aumentar em 5 vezes sua potência com os novos 56 parques, em 1567,00 MW.

Outros estados nordestinos com novas usinas são o Ceará, com 57, Pernambuco, 29, Maranhão, 20 e Paraíba, 3. No sul, o estado gaúcho vai receber 39 novos parques eólicos, aumento sua capacidade em mais de 60%.

Gráfico 14 - Potência em construção



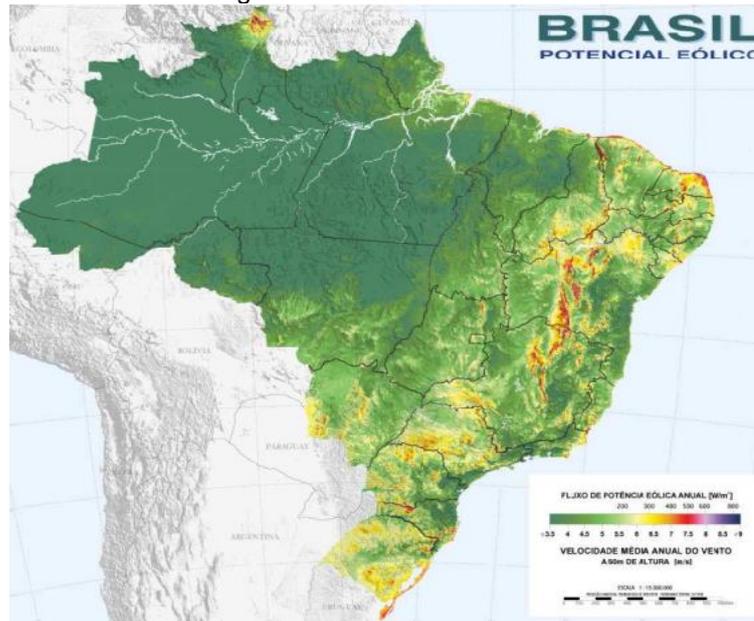
Fonte: ABEEólica, 2015

Estes dados sobre a potência em construção, indicados no Gráfico 14, reforçam a tendência de que a energia dos ventos vai continuar em ascensão, principalmente na região Nordeste.

## 5.5 POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO E COMPLEMENTARIDADE

Em 2001, o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL) elaborou um estudo que resultou em um mapa do potencial eólico brasileiro. Na época, a capacidade estimada foi de 143,47 GW. Este mapa é mostrado na sequência.

Figura 14 - Potencial eólico brasileiro

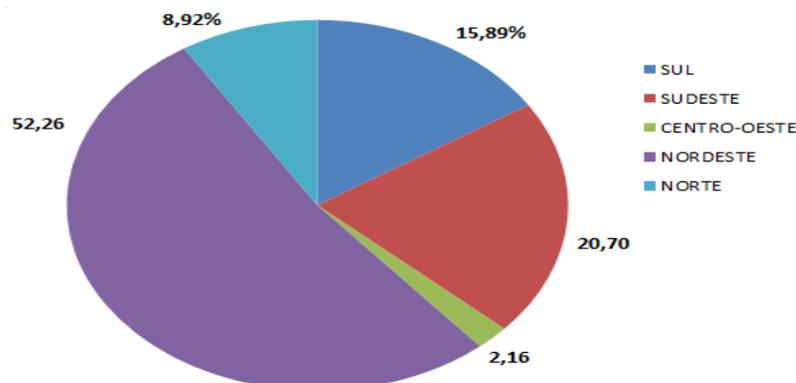


Fonte: CEPEL, 2001

É importante ressaltar que o estudo foi elaborado com base na tecnologia disponível na época. As turbinas tinham apenas cerca de 50 metros. Atualmente chegam a passar dos 100 metros, o que indica que o potencial deve ser mais elevado do que o valor obtido pelo CEPEL. A agência alemã DEWI prevê que o potencial seja de 500 GW com a tecnologia atual.

A velocidade média mínima do vento para utilização em larga escala com turbinas de grande porte necessita ser de, no mínimo, 6,5 m/s a 7,5 m/s. Para aplicações locais em sistemas isolados, uma média de 4 m/s pode ser o suficiente.

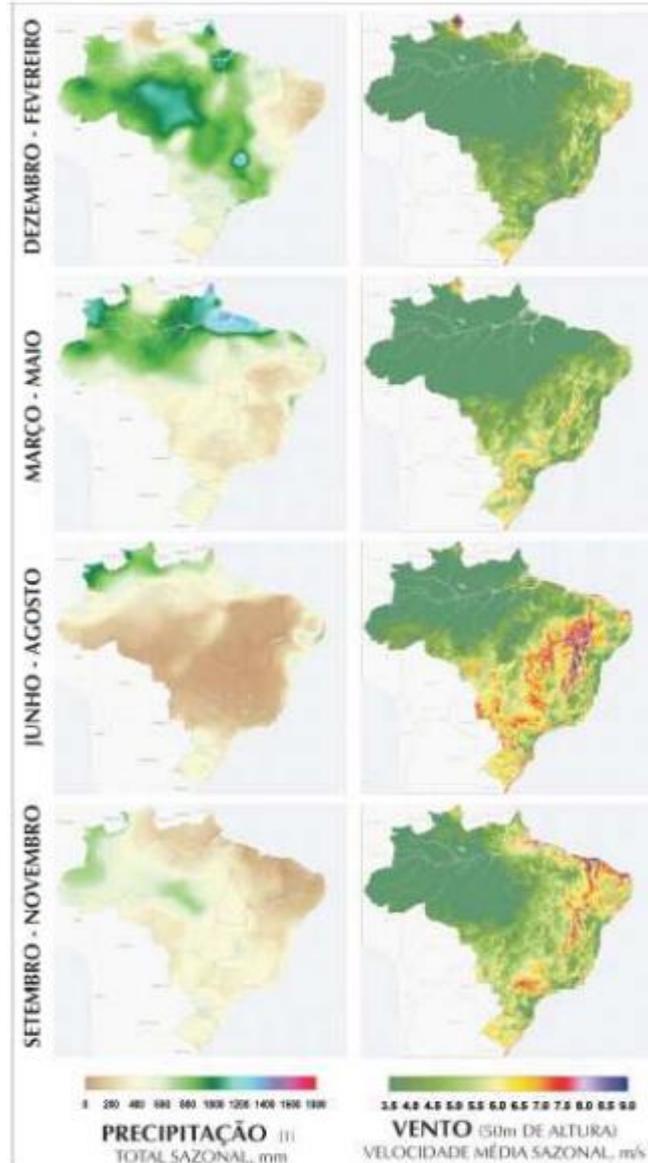
Gráfico 15 - Distribuição do potencial por região



Fonte: CEPEL, 2001

Além do expressivo potencial eólico no Brasil, é importante destacar a sua complementaridade natural com a hidroeletricidade, principal fonte energética do país. Os períodos de baixos índices pluviométricos coincidem com os de ventos mais intensos e vice-versa. Apesar da fonte eólica não possuir uma forma viável de armazenar energia, sua geração pode fazer com que os reservatórios das hidrelétricas tenham uma vazão menor, economizando água, e de certa forma, guardando energia. Através da Figura 15 é possível observar que os períodos mais chuvosos ocorrem entre dezembro e maio, e os com maiores ventos ocorre entrem entre junho e novembro. (MELO, 2012)

Figura 15 - Médias de precipitação e velocidade dos ventos



Fonte: CEPEL, 2001

## 5.6 LOCAIS PARA CONSTRUÇÃO DE NOVOS PARQUES

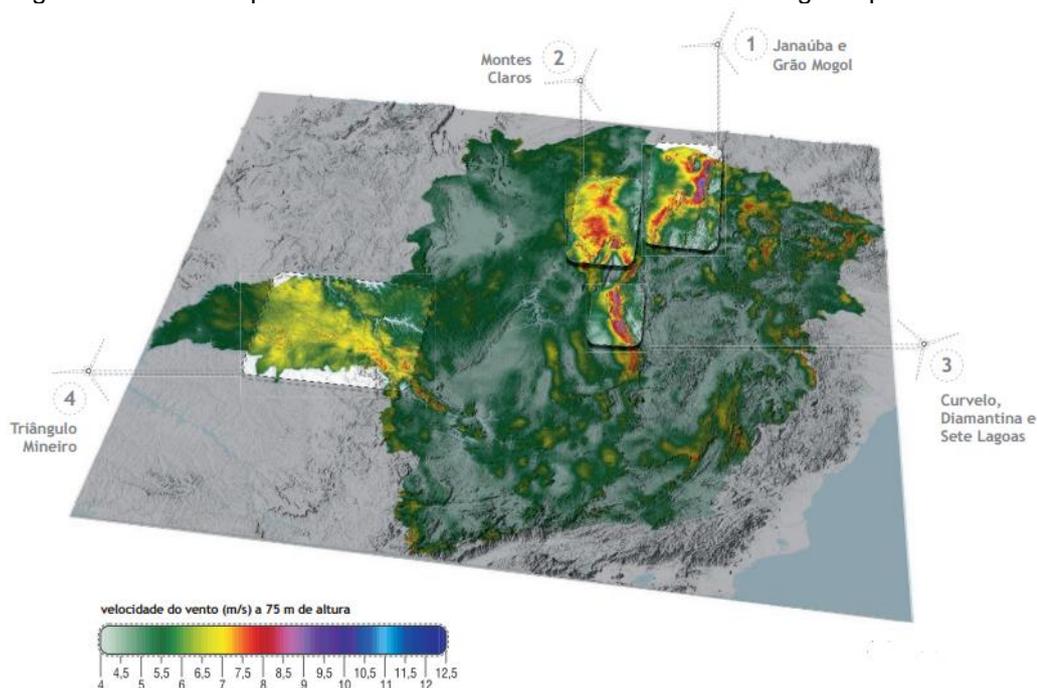
Após a análise das localidades das usinas, e do mapa do potencial eólico brasileiro, é possível uma análise sobre possíveis novos parques eólicos para expansão da energia dos ventos. Comparando a Figura 14 (potencial eólico brasileiro), com as Figuras 11, 12 e 13 (localização dos parques), percebe-se que existem locais promissores que ainda não contam com esse tipo de geração.

Mesmo nos estados que possuem parques, é possível aumentar a capacidade instalada, dentro das limitações físicas e econômicas. Devido à grande extensão do território nacional, o presente trabalho faz análise de apenas algumas das regiões que tem a prospecção de receber centrais eólicas, mas ainda não contam com uma potência instalada de peso. Por esse motivo, o Nordeste e o Rio Grande do Sul não serão avaliados.

### 5.6.1 MINAS GERAIS

O caso mineiro é peculiar, pelo mapa elaborado pelo CEPEL (2001), é possível perceber que o estado possui um grande potencial eólico, porém não possui uma capacidade instalada notável. Foi o primeiro estado a ter uma usina eólica conectada ao sistema nacional, no município de Gouveia, porém a mesma está desativada. Minas gerais possui um atlas do potencial eólico próprio, elaborado pela CEMIG, em 2010, o qual pode ser mais bem analisado.

Figura 16 - Atlas do potencial eólico mineiro a 75 metros e suas regiões promissoras



Fonte: CEMIG, 2010

Os estudos apontaram um potencial de 40 GW para torres de 100 metros, 25 GW para torres de 75m e 10 GW para torres de 50m. A melhor região está localizada ao longo da serra do Espinhaço, a norte de Belo Horizonte. A segunda melhor está no sudoeste do estado, no Triângulo mineiro. O fator de capacidade médio estipulado é de 0,25. (PINTO, 2013)

Minas Gerais não possui fábricas montadoras de aerogeradores, cubos, neceles, pás ou torres. Porém existem muitas indústrias do ramo instaladas nos estados vizinhos, Bahia e São Paulo, como a Alston, Acciona e Engebasa. Inclusive algumas usinas baianas estão muito próximas do norte mineiro. E como Minas Gerais possui várias rodovias, a chegada de componentes não seria um entrave.

#### 5.6.1.1 MICRORREGIÕES DE JANAÚBA E GRÃO MONGOL

Consiste em uma região extensa mais ao norte do estado. Os ventos mais intensos não ocorrem nas áreas mais elevadas, mas sim nas depressões a oeste da serra, sendo estas as áreas mais apropriadas para aproveitamentos eólicos, visto que são menos montanhosas, além de não possuírem restrições ambientais. As áreas mais propensas estão nos municípios de Espinosa, Gameleiras, Monte Azul, Mato

Verde, Porteirinha, Serranópolis de Minas, Riacho dos Machados e Francisco Sá. A média anual dos ventos supera facilmente 7,5 m/s a 75 metros. (CEMIG, 2010)

A região possui bons acessos, apesar das montanhas, através das rodovias federais: BR-122 e BR-251; e estaduais: MG-401 e MG-120; além da Ferrovia Centro-Atlântica (FCA). Também existem algumas linhas de transmissão próximas, de 69 KV, 138 KV e 345 KV. (CEMIG, 2010)

#### **5.6.1.2 MONTES CLAROS**

Nessa região, o relevo é um pouco mais suave, destacando-se a porção de chapada do rio São Francisco, nos municípios de Coração de Jesus, São João da Lagoa e Brasília de Minas. A média anual dos ventos da região fica entre 7 m/s e 8 m/s a 75m. (CEMIG, 2010)

As rodovias que atravessam a região são: MG-145, MG-402, MG-202, BR-251 e BR-365. Existem linhas de transmissão de 69 KV e 138 KV próximas a região. (CEMIG, 2010)

#### **5.6.1.3 CURVELO, DIAMANTINA E SETE LAGOAS**

Nesta área, os locais mais promissores para o aproveitamento da energia dos ventos situam-se nas proximidades de algumas áreas de conservação ambiental, o que pode dificultar a aprovação de projetos. Portanto, apesar de ter potencial, a região dificilmente receberá usinas. (CEMIG, 2010)

#### **5.6.1.4 TRIÂNGULO MINEIRO**

No Triângulo Mineiro, a média da velocidade dos ventos é menor do que nas regiões da Serra do Espinhaço citadas. Porém o relevo é bem menos montanhoso, o que pode tornar a implantação de projetos eólicos viável, visto que os custos com montagem dos aerogeradores e de transporte seriam menores. (CEMIG, 2010)

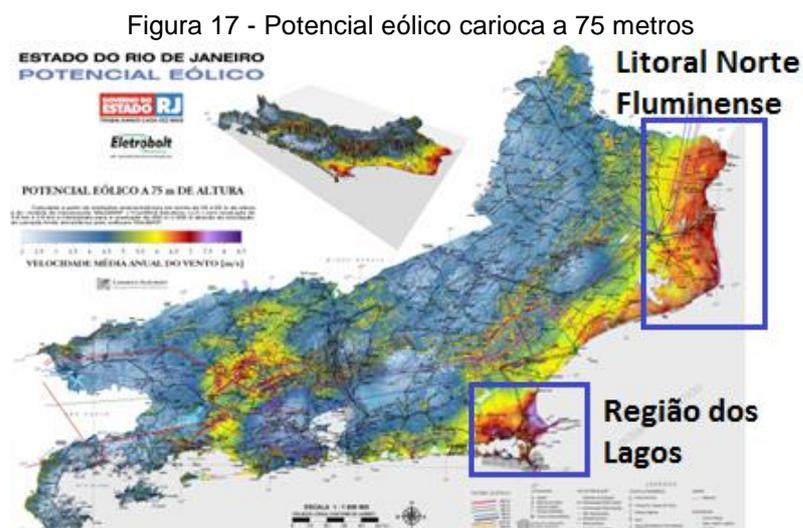
A região possui hidrelétricas, e por isso já conta com uma estrutura privilegiada de linhas de transmissão e de subestações, além de rodovias adequadas. (CEMIG, 2010)

## 5.6.2 RIO DE JANEIRO

O Rio de Janeiro é outro estado da região Sudeste no qual é possível notar um potencial eólico considerável, mas que possui apenas uma usina. Mas no caso carioca, a central geradora existente, de São Francisco de Itabapoana, é de grande porte, na ordem de 30 MW.

O estado carioca também não tem montadoras de aerogeradores e fabricantes de pás, cubo, torre ou nacelle em seus territórios. As principais indústrias do ramo próximas estão em São Paulo, como a Engebasa, Wobben e Tecsis.

Em 2002, o Governo do Estado do Rio de Janeiro elaborou um atlas do potencial eólico, no qual foi constatada uma capacidade máxima de 2,81 GW para torres de 100 metros, 1,52 GW para torres de 75 metros e 0,75 GW para torres de 50 metros.



Fonte: Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2002

### 5.6.2.1 LITORAL NORTE FLUMINENSE

Trata-se de uma extensa planície costeira, baixa rugosidade, com ventos médios de 6,5 m/s a 50 metros de altura nas melhores áreas. A densidade demográfica da área é relativamente baixa, e conseqüentemente, está distante das grandes subestações. Com isso, apenas grandes projetos, na casa das dezenas ou centenas de Megawatts, tornariam o empreendimento viável. (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2002)

Os principais acessos à região são através da BR-101 e da BR-356, além de algumas rodovias estaduais.

#### **5.6.2.2 REGIÃO DOS LAGOS**

Área litorânea com diversos acidentes geográficos, que possui uma densidade demográfica relativamente elevada, e está próxima de grandes subestações. A velocidade média dos ventos é superior a 7 m/s nas melhores áreas (para torres de 50 metros). A região possui vocação para grandes usinas eólicas, e tendência de maiores custos com o terreno, e menores com a interligação. (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2002)

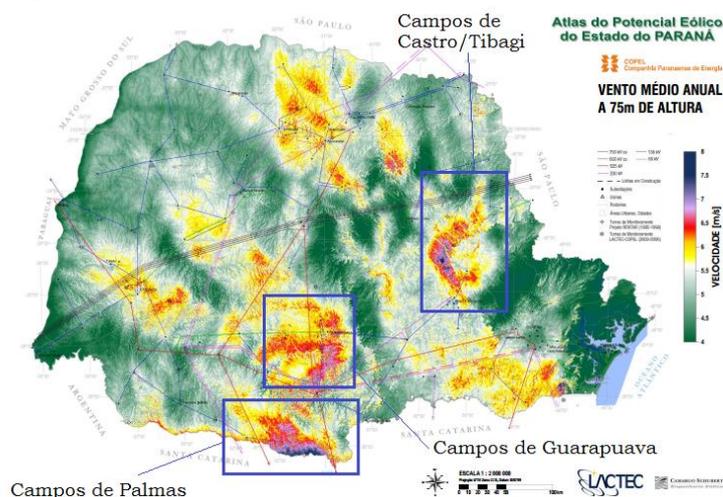
Várias rodovias estaduais atravessam a região, além da BR-101.

#### **5.6.3 PARANÁ**

A região Sul é a terceira com maior potencial eólico constatado pelo CEPEL (2001), sendo próximo ao da região Sudeste. Por ser a menor região do país, isto é um fato considerável. O estado com menor número de usinas é o Paraná. Mesmo assim, possui um potencial a ser analisado e aproveitado, tanto que a COPEL, em 1999, já tinha elaborado um atlas do potencial eólico paranaense, que foi atualizado em 2007.

A empresa genuinamente brasileira BrasilSat, que fabrica torres de aço, está instalada em Curitiba, fato que pode tornar um pouco mais fácil a construção de novos parques. Várias empresas do ramo estão próximas, nos estados de São Paulo e no Rio Grande do Sul. Os acessos no estado não são um grande problema.

Figura 18 - Atlas do potencial eólico do Paraná a 75 metros



Fonte: COPEL, 2007

O estudo da COPEL indicou a existência de 3,7 GW de potência instalável para torres de 100 metros, com fator de capacidade de cerca de 35%. A região mais promissora é o Campos de Palmas, ao sul do estado. Outras áreas que se destacaram foram os Campos de Guarapuava, Campos de Castro/Tibagi.

### 5.6.3.1 CAMPOS DE PALMAS

É uma região com pastagens nativas, utilizadas para criação de gado, no sul do estado. Possui ventos com velocidade média de 7,5 m/s para 75 metros. É justamente nessa região que está a única usina eólica paranaense, de 2,5 MW. Na parte catarinense dos campos (Campos de Água Doce), estão instaladas 9 usinas com 146 MW de capacidade instalada. Isso também é um indicativo de que a parte paranaense tem ventos para expandir e muito a geração eólica na região.

A infraestrutura é propícia, tanto em termos de conexões elétricas, como de rodovias. Os acessos são pelas PR-280 e BR-153. (COPEL, 2007)

### 5.6.4 RORAIMA

Um caso interessante de se analisar é o de Roraima, o estado é o único da federação que não está interligado ao SIN, e importa energia da Venezuela, que por sua vez, tem uma matriz energética majoritariamente hídrica.

Apesar de não possuir um atlas do potencial eólico próprio, é possível perceber, através do atlas nacional, que o estado possui uma possível potência considerável, na região da Serra da Pacaraima. Porém, diferentemente da região Nordeste, o período de ventos mais intensos em Roraima coincidem com o período de maiores índices pluviométricos, não havendo complementaridade.

Existe um projeto de construção de uma linha de transmissão de 500 KV entre Manaus e Boa Vista, porém questões ambientais e econômicas ainda são um entrave para a obra. Por hora, o estado precisa continuar negociando energia com a Venezuela, que não cobra muito caro. Todavia, o país comandado por Nicolás Maduro é instável e vive uma crise, o que pode prejudicar o estado de Roraima.

O relevo da região também não é muito favorável, contendo grandes elevações, e poucos acessos viários, além de ser uma região de mata nativa. E as empresas do setor mais próximas estão apenas na região Nordeste.

Mesmo com esses fatores desfavoráveis, o potencial de Roraima ainda pode ser aproveitado, mas em pequena escala. Alguns estudos e medições vêm sendo realizados em alguns locais próximos de comunidades isoladas, que atualmente utilizam geradores a diesel em apenas algumas horas do dia. A instalação de torres locais aumentaria a oferta de energia.

## 5.7 POTENCIAL *OFFSHORE* BRASILEIRO

O termo eólico *offshore* se refere a produção de energia elétrica a partir de turbinas instaladas sob uma superfície aquática, sendo esta geralmente o mar.

Um estudo elaborado por Kampel e Ortiz (2011), para o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), mostra que a potência *offshore* chega a incríveis 3,5 TW, caso fosse aproveitada toda a ZEE (Zona Econômica Exclusiva) brasileira. Considerando apenas áreas com profundidade de até 100 metros, o potencial de geração alcança 636 GW, cinco vezes maior que o potencial em terra divulgado pelo CEPEL em 2001.

O cálculo desse estudo foi feito a partir de dados coletados via satélite. As áreas com maiores ventos são: costa de Sergipe e Alagoas; Ceará e Rio Grande do Norte; Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Esse tipo de tecnologia envolve projetos mais complicados e maiores custos. Esse acréscimo ocorre devido a um maior custo na infraestrutura da turbina,

fundações, linhas de transmissão e manutenções. Geralmente, as turbinas *offshore* geram mais energia por hora do que as turbinas eólicas *onshore*. (PINTO, 2013)

Os parques *offshores* estão presentes principalmente no continente europeu, em vários países como a Alemanha, Dinamarca e Bélgica. O Brasil ainda não usufrui de tecnologia própria para construção desse tipo de usina e, por enquanto, não tem nenhum projeto em vista.

## 5.8 IMPACTOS DE SISTEMAS EÓLICOS

Conforme abordado no capítulo 4, item 4.4.5, do trabalho, os impactos causados por sistemas eólicos são abordados mais profundamente nesta Seção.

Apesar de ser uma fonte renovável e limpa, que não emite CO<sub>2</sub>, nem resíduos, e que também não causa alagamentos, as questões relacionadas ao meio ambiente causadas pelas centrais eólicas devem ser analisadas. Impactos sociais e técnicos também necessitam ser observados.

### 5.8.1 IMPACTO VISUAL

Os aerogeradores possuem pelo menos 40 metros de altura, com pás de 20 metros ou mais, e isso, conseqüentemente, resulta em uma alteração visual da paisagem. O impacto visual é complicado de se analisar, pois é subjetivo. Para minimizá-lo, é comum pintar os aerogeradores com cores da paisagem. (CUSTÓDIO, 2009)

No Reino Unido, alguns grupos intitulados antiparques eólicos, travam batalhas contra a instalação de unidades geradoras, alegando que o interior da Inglaterra faz parte da chamada “identidade nacional”, e que alterar a paisagem seria ferir uma tradição histórica. (PINTO, 2013)

Já no Brasil, a questão visual não é muito criticada. Inclusive, várias cidades, como por exemplo João Câmara (RN), Osório (RS) e Água Doce (SC), fazem propaganda turística em torno de seus parques, promovendo o visual e a paisagem.

O efeito cíclico da sombra das pás em movimento pode gerar desconforto para pessoas residentes em regiões próximas as turbinas. Alguns países como a Alemanha, possuem restrições sobre a distância mínima entre casas e

aerogeradores, no caso, de 500 metros. No Brasil, a grande maioria dos parques está situada em áreas não povoadas, sendo minimizado este impacto. (PINTO, 2013)

### 5.8.2 Ruídos

O ruído emitido pelas turbinas eólicas é provocado pelo funcionamento mecânico e pelo efeito aerodinâmico do vento sobre as pás. É em torno de 50 dB, junto ao gerador, e de 40 dB a uma distância de 300 metros. (CUSTÓDIO, 2009)

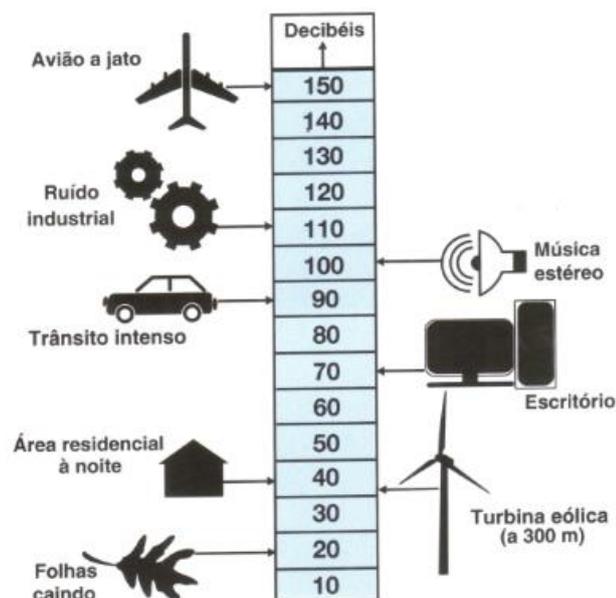
Ruídos a partir de 65 dB podem provocar efeitos fisiológicos, danos ao sistema auditivo, e prejuízos a diferentes funções orgânicas. Porém, a partir 30 dB, já podem causar efeitos psíquicos sobre o ser humano. (CUSTÓDIO, 2009)

É recomendado uma distância de moradias à parques eólicos de pelo menos 300 metros, para que o ruído máximo seja de no 40 dB. (CUSTÓDIO, 2009)

O fato de as usinas brasileiras estarem em regiões pouco ou não povoadas também ajuda a minimizar esse impacto.

Através da figura abaixo, é possível perceber que o ruído emitido por aerogerador é menor do que o ruído de um escritório ou de trânsito intenso. Ou seja, as pessoas estão expostas a sons mais altos no dia-a-dia.

Figura 19 - Nível de ruído sonoro de algumas fontes

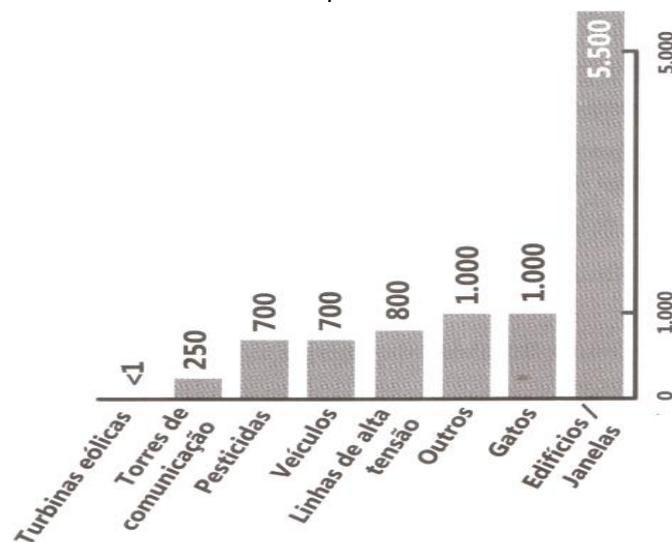


Fonte: Pinto, 2013

### 5.8.3 MORTE DE AVES

O impacto dos aerogeradores sobre pássaros, morcegos, insetos e outros animais é extremamente baixo, principalmente se comparado com outras construções e atividades, como indicado no Gráfico 16. Organizações não governamentais reconhecem as mudanças climáticas como principal ameaça a algumas espécies de pássaros, e ainda entendem que a geração eólica pode amenizar tais mudanças. (PINTO, 2013)

Gráfico 16 - Causa da morte de pássaros a cada 10000 fatalidades



Fonte: Erickson et al, 2002

Um estudo feito na Dinamarca, mostrou que os pássaros costumam mudar sua rota de voo, entre 100 e 200 metros, passando por cima ou ao redor dos aerogeradores. Esse comportamento foi observado tanto durante o dia, como durante a noite. (CUSTÓDIO, 2009)

No caso de rotas migratórias, verifica-se que os aerogeradores não constituem, geralmente, um grande problema, visto que são instalados a uma altura em torno de 100 metros, enquanto as aves migram a grandes alturas, na casa de centenas de metros. A maior atenção deve ocorrer no caso da instalação de parques eólicos em regiões densamente povoadas por pássaros. (CUSTÓDIO, 2009)

O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), elabora um relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil. Esse estudo, em 2014, mostrou que a maioria dos parques eólicos não está em áreas

importantes para avifauna migratória, como pode ser visto na figura a seguir. As principais regiões conflituosas ocorrem no interior do Nordeste.

Figura 20 - Áreas importantes para avifauna no Brasil



Fonte: ICMBio, 2014

#### 5.8.4 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

A interferência eletromagnética ocorre quando a turbina eólica é instalada entre receptores e transmissores de ondas de rádio, televisão ou micro-ondas. As pás da turbina podem refletir parte da radiação eletromagnética em uma direção que possa interferir no sinal original que chegaria no receptor. Essa interferência depende do material que são feitas as pás, e do seu formato. (DOS REIS, 2011)

Para evitar esse impacto, faz-se necessário um estudo preliminar. Geralmente algumas medidas sem alto custo podem diluir o problema. Por exemplo, não se deve construir usinas eólicas muito próximas de aeroportos, para não ocorrer problemas na comunicação aeronáutica. No Brasil, não há registros de falhas graves ocasionadas por sistemas eólicos.

### **5.8.5 GERAÇÃO DE EMPREGOS**

Assim como citado no capítulo 4, a geração eólica cria muitos empregos, pois substitui despesas com combustíveis fósseis ou nucleares por capacidade de trabalho humano. A expansão eólica fomenta o desenvolvimento local e regional, além de progresso e inovação tecnológica.

Diversas indústrias multinacionais se instalaram no território brasileiro nos últimos anos devido ao crescimento da geração eólica. Assim como empresas nacionais surgiram, e outras já existentes criaram novos setores para fornecer equipamentos relacionados à energia eólica. Essas empresas contribuem para geração de empregos no país. Além dos empregos diretos, têm-se também os indiretos, considerando a indústria de insumos necessários para os aerogeradores, como aço, resinas, fibras de carbono, dentre outros.

Um estudo feito por Pacca e Simas (2013), apresenta que a instalação e operação de parques eólicos irão gerar mais de 195 mil postos de trabalho no período entre 2010 e 2020, sendo a maioria na construção da usina e de seus principais componentes. Locais com baixo desenvolvimento econômico, como a Bahia e o Rio Grande do Norte, serão muito beneficiados.

### **5.8.6 IMPACTOS NO SISTEMA ELÉTRICO**

A potência elétrica gerada em uma usina eólica varia em função da velocidade do vento que, por sua vez, não é constante. Essas variações na potência injetada podem trazer dificuldades nos controles de tensão e frequência e, conseqüentemente, na operação do sistema elétrico interligado. (CUSTÓDIO, 2009)

Segundo Henke (2011), as principais causas de distúrbios na rede elétrica conseqüentes da conexão de parques eólicos com geradores síncronos, que podem afetar significativamente a qualidade da energia fornecida são:

- Consumo excessivo de potência reativa;
- Injeção de harmônicos;
- Flutuações de tensão;

Esses problemas podem ser solucionados através de ações como: forma de operação dos geradores; alterações nos componentes da rede elétrica; seleção do tipo de conexão; seleção da tecnologia dos sistemas eólicos a ser utilizadas; dentre outros. (HENKE, 2011)

Estudos são necessários para avaliar o impacto da instalação de usinas eólicas sobre a rede elétrica e garantir que o sistema funcione de maneira efetiva, sem prejuízo na qualidade de energia fornecida aos consumidores. Existem alguns programas computacionais utilizados para esse fim, como o ANAREDE. (HENKE, 2011)

## 6. PROJEÇÕES DA GERAÇÃO EÓLICA

Este capítulo tem o objetivo de quantificar a máxima participação possível da fonte eólica na matriz energética brasileira, e quando isso pode ocorrer. Nas próximas décadas, a fonte hídrica proveniente das grandes hidrelétricas continuará sendo a grande fonte geradora do país. Porém, sua participação, poderá ser menor percentualmente, devido aos avanços das fontes alternativas. Como estudado no capítulo 4 do presente trabalho, as com maior potencial para ter um crescimento mais elevado são a biomassa e a eólica.

O MME e a EPE costumam fazer algumas projeções do sistema elétrico, com o Plano Decenal de Energia (PDE) e com o PNE (Plano Nacional de Energia). Os relatórios indicam informações técnicas e os rumos do setor elétrico. Abaixo é mostrado a tabela do PDE 2023 referente a capacidade instalada por fonte, elaborado em 2014.

Tabela 16 - Evolução da capacidade instalada por fonte

FORTE	2013 <sup>(d)</sup>	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	<b>MW</b>										
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>103.399</b>	<b>110.335</b>	<b>118.653</b>	<b>125.444</b>	<b>133.193</b>	<b>142.849</b>	<b>146.046</b>	<b>149.740</b>	<b>154.472</b>	<b>158.947</b>	<b>164.135</b>
HIDRO <sup>(a)</sup>	79.913	82.629	87.183	92.193	96.123	100.935	101.874	103.344	106.167	108.941	112.178
IMPORTAÇÃO <sup>(b)</sup>	6.120	6.032	5.935	5.829	5.712	5.583	5.441	5.285	5.114	4.925	4.716
OUTRAS	17.366	21.674	25.535	27.422	31.358	36.331	38.731	41.111	43.191	45.081	47.241
PCH	5.308	5.538	5.671	5.701	5.854	6.289	6.439	6.619	6.799	6.919	7.319
EÓLICA	2.191	5.452	9.019	10.816	14.099	17.439	18.439	19.439	20.439	21.439	22.439
BIOMASSA	9.867	10.684	10.845	10.905	10.905	11.603	12.353	13.053	13.453	13.723	13.983
SOLAR	0	0	0	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>21.397</b>	<b>22.224</b>	<b>22.843</b>	<b>22.843</b>	<b>22.843</b>	<b>24.248</b>	<b>24.748</b>	<b>26.248</b>	<b>27.748</b>	<b>29.248</b>	<b>31.748</b>
URÂNIO	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	3.395	3.395	3.395	3.395	3.395	3.395
GÁS NATURAL	10.666	11.442	12.169	12.169	12.516	12.516	13.016	14.516	16.016	17.516	20.016
CARVÃO	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210
ÓLEO COMBUSTÍVEL <sup>(d)</sup>	3.442	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493
ÓLEO DIESEL	1.402	1.402	1.294	1.294	947	947	947	947	947	947	947
GÁS DE PROCESSO	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687
<b>TOTAL</b>	<b>124.796</b>	<b>132.559</b>	<b>141.496</b>	<b>148.287</b>	<b>156.036</b>	<b>167.097</b>	<b>170.794</b>	<b>175.988</b>	<b>182.220</b>	<b>188.195</b>	<b>195.883</b>

Fonte: EPE e MME, 2014a

Além de o estudo apontar o maior crescimento percentual da energia eólica, cerca de 1000% entre 2013 e 2023, mostra uma estagnação da capacidade instalada das térmicas poluentes, com exceção do gás natural, a partir do final da década. Os PDEs anteriores também reforçam essa tendência.

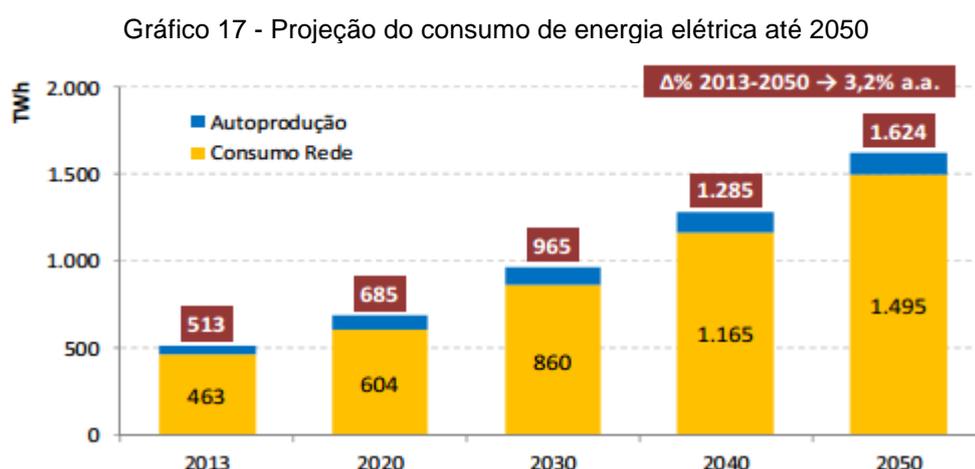
Porém, obviamente, a análise dos PDEs não possui 100% de certeza e pode apresentar falhas. Um exemplo disto é o PDE 2020, elaborado em 2011, que apontava uma capacidade instalada da fonte eólica de 11,5 GW no primeiro ano da próxima década. Já existem 8,1 GW instalados e com previsão de entrada no sistema de mais 10,5 GW antes mesmo do final da década, totalizado 18 GW, valor muito superior ao indicado pelo PDE 2020.

## 6.1 PROJEÇÃO DO CONSUMO

Em 2014, de acordo com o IBGE (2014), a população brasileira era de 202 milhões de pessoas. E segundo a EPE (2015), o total consumo de energia elétrica no mesmo ano foi de 473,4 TWh. Com estes dados, têm-se que o consumo populacional brasileiro é de 2,34 GWh por brasileiro e por ano.

Conforme projeção feita pelo IBGE em 2013, a população do país deve continuar crescendo até atingir o ápice, em 2042, quando serão cerca de 228,35 milhões de habitantes. A partir desse momento a população começará a regredir.

A projeção da demanda de energia elétrica feita pelo MEE e pela EPE, no documento PNE 2050, elaborado em 2014, indica que o consumo deve crescer em média de 3,2% ao ano, como mostrado no Gráfico 17. Isso quer dizer que a demanda irá triplicar nas próximas 3 décadas.



Fonte: EPE e MME, 2014b

O maior crescimento o consumo será no setor comercial e na parte residencial. Pois, segundo a EPE e MME (2014b), devido ao crescimento do PIB, o poder de consumo do brasileiro vai crescer, com mais pessoas saindo da pobreza e entrando

na classe média. Mas o setor industrial ainda vai continuar sendo o grande consumidor de energia elétrica.

Pela projeção, o consumo médio per capita no Brasil de energia elétrica em 2050 vai ser comparável ao consumo médio per capita da Itália e Espanha hoje.

A capacidade atual de geração de eletricidade, segundo a ANEEL (2015), é de 140 GW, e o sistema opera com uma pequena folga. Isto indica que, para 2050, serão necessários pelo menos cerca de 420 GW instalados. Este valor pode variar de acordo com os fatores de capacidade das usinas. 30 MW de uma PCH com FC de 50% geram aproximadamente 0,13 TWh/ano, enquanto uma eólica de mesmo porte, com FC de 30%, gera por volta de 0,079 TWh/ano.

## 6.2 MÁXIMA EXPANSÃO HIDRELÉTRICA

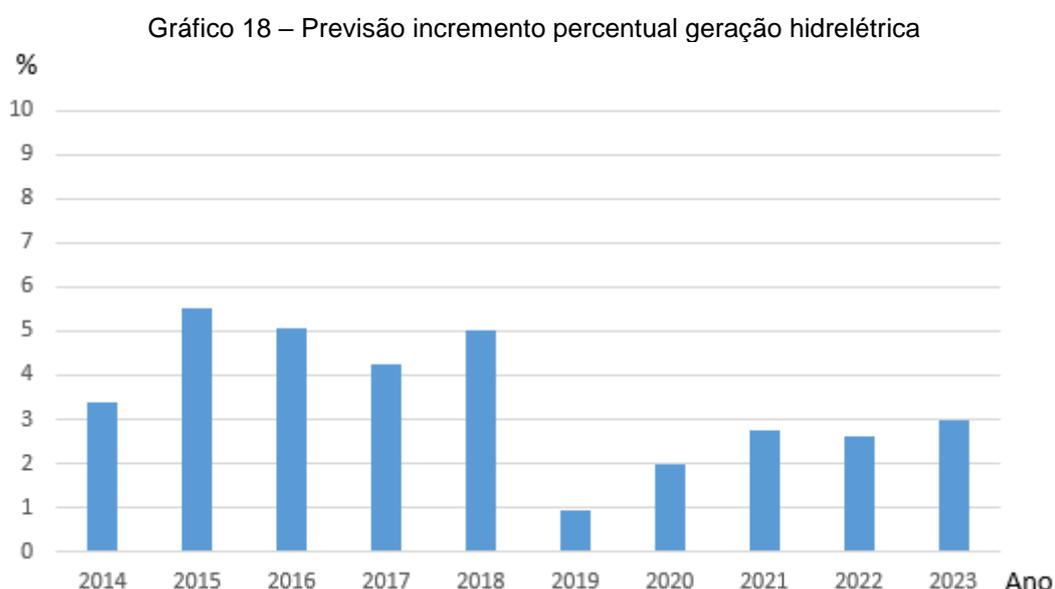
A matriz energética brasileira é uma das mais limpas e renováveis do planeta, principalmente pela grande disponibilidade hídrica. As grandes hidrelétricas, como Itaipu, no Paraná, Tucuruí, no Pará e Ilha Solteira, em São Paulo, são responsáveis pela maior parte da geração. Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) (2015), existem 198 usinas hidrelétricas, com capacidade instalada somada de 87,7 GW, represando 61,7 % da capacidade instalada nacional, e mais de 70% da energia gerada.

Existem também mais 15,75 GW em construção ou em espera. Dos quais, a maior parte é da controversa usina de Belo Monte, Pará, que será a segunda maior usina hidrelétrica do Brasil. Os demais empreendimentos também se concentram quase que na totalidade na região Norte. Um aspecto importante das novas usinas é o aumento do estoque de energia para fonte eólica.

Ainda assim, o Brasil possui um grande potencial dos rios disponível. A Eletrobrás estima uma capacidade de 247 GW, porém, uma boa parte se localiza na bacia amazônica, cerca de 40%. Com isso, as questões ambientais serão um grande entrave, pois muitos locais envolvem áreas de proteção ambiental, que são ricas em biodiversidade e possuem populações indígenas. A própria usina de Belo Monte dá indícios de como será cada vez mais complicado fazer grandes construções na Amazônia. A obra já se arrasta a mais de 30 anos, desde a fase de projeto, chegando inclusive a ser paralisada e remodelada. Diversos protestos de várias ONGs, como o Greenpeace, marcaram a construção.

Tendo em vista este cenário, devido à localização dos possíveis empreendimentos, é possível apostar que em algum momento a expansão das grandes UHEs pode ter um ritmo menor. A grande questão é saber quando. Devido aos empreendimentos já contratados, pelo menos na próxima década seu crescimento vai continuar considerável. Em termos de participação, é quase que indiscutível a questão de ter a maior capacidade de geração.

Pela análise da Tabela 16 (PDE 2023), é possível perceber que até 2018 o incremento médio é de 4,7% e, posteriormente, até 2023, é de apenas 2,2%.

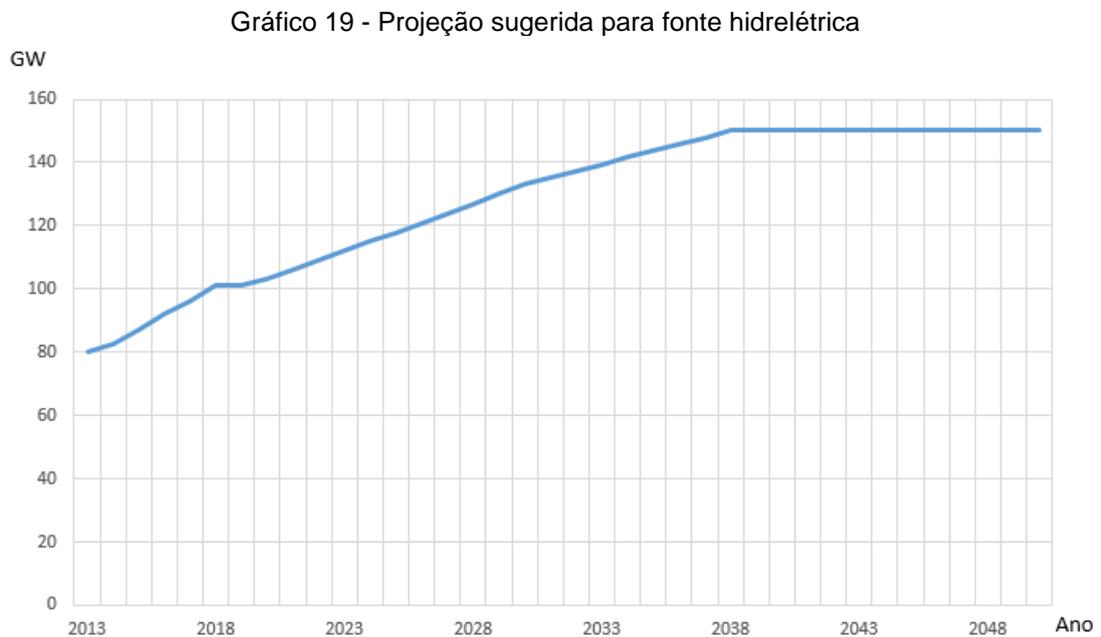


Fonte: Elaborado pelo Autor

Com base nas informações coletadas, em uma proposta otimista, considerando uma expansão média de 3% ao ano de 2023 a 2030, de 2,5% até 2040 e de 2% até 2050, obtém-se uma capacidade instalada de 215 GW em 2050. Porém tal cenário é muito improvável, visto que esse valor é próximo da disponibilidade total estimada, de 247 GW.

Desconsiderando potenciais localizados em áreas de preservação ambiental, terras indígenas, parques nacionais e reservas florestais, com a legislação atual, apenas cerca de 60% do potencial estimado poderá ser explorado, correspondendo a 150 GW. Inclusive, ultimamente, boa parte da população não têm sinalizado positivamente a construção de hidrelétricas de grande porte. Isso pode fazer com que nem sequer esse número seja atingido.

Corrigindo a proposta anterior para um crescimento médio de 2,5% de 2023 até 2030, e de 1,5% até 2040, pode-se sugerir que o limite de 150 GW seja atingido por volta de 2038.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Vale ressaltar que foi englobado um crescimento médio, e por este motivo que o Gráfico 19 cresce uniformemente. Porém, na prática, é muito mais provável que isto não ocorra. Como por exemplo, em um ano pode entrar em operação uma usina de grande porte, e no outro ano não entrar nenhuma.

Uma outra possibilidade é o limite ser atingido mais tarde, pois existem diversas variáveis complexas em um estudo assim. Grandes obras podem se arrastar por anos ou até décadas, tardando a previsão.

Considerando um fator de capacidade de 50%, as hidrelétricas corresponderiam a cerca de 44% da geração necessária em 2050. Não representando necessariamente a capacidade total instalada no país. Esse valor reforça ainda mais a necessidade do investimento em fontes alternativas de energia, pois com a previsão do consumo, a capacidade máxima das hidrelétricas não vai compor nem metade da capacidade mínima instalada necessária.

### 6.3 ESTAGNAÇÃO DAS TERMELÉTRICAS POLUENTES E NUCLEARES

Uma forte tendência que já vem sendo apresentada pelos Planos Decenais de Energia é a estagnação das usinas térmicas mais poluentes, que utilizam como combustível o carvão, óleo diesel, óleo combustível e gás de processo. Pela Tabela 16 (PDE 2023), percebe-se que ainda nesta década a capacidade instalada das termelétricas com os combustíveis citados vai chegar ao limite de 8,34 GW.

A forte concorrência com o gás natural, que é menos poluente e barato, e com as fontes renováveis alternativas, que cada vez apresentam preços mais competitivos, aliado as questões ambientais, são os fatores determinantes para ausência da expansão de termelétricas mais poluentes.

A geração nuclear vai ser ampliada somente com a finalização e entrada em operação de Angra III, provavelmente em 2018. A energia nuclear poderia ser mais explorada, como na Europa, e ser a segunda fonte mais participativa na matriz energética brasileira, porém, as preocupações com os efeitos devastadores em casos de acidentes, como em Chernobyl, na Ucrânia, e mais recentemente em Fukushima, no Japão, aliada a falta de tecnologia disponível no país, travam a expansão dessa fonte.

As usinas nucleares poderiam ser importantes no futuro, até para participarem como backup para uma matriz predominantemente hídrica e eólica. Mas os custos com energia nuclear são maiores do que com gás natural e biomassa, o que acarreta na falta de investimentos nesse tipo de tecnologia. Sua participação deve se manter em 3,4 GW instalados.

### 6.4 LIMITAÇÃO DA GERAÇÃO EÓLICA

Devido a característica intermitente dos ventos, e conseqüentemente da geração eólica, não é confiável que exista uma matriz energética dependente da mesma. Os impactos no sistema elétrico já citados também impedem que ocorra uma participação maciça da fonte no sistema elétrico brasileiro.

A Dinamarca é o país com maior participação eólica, com 30% de sua energia gerada. Nas melhores épocas, chega a suprir 100% do seu consumo e até exporta energia para países vizinhos. Outros países com participação significativa são

Portugal, Espanha e Irlanda, com cerca de 20%, e a Alemanha, com 15%. (ABEEólica, 2013)

Para não haver riscos à segurança energética, é importante que fontes não regulares, como eólica e solar, sejam complementares à fontes mais regulares, como a hídrica, térmica e nuclear.

É muito complicado definir uma participação máxima das fontes intermitentes, sem prejuízos a segurança energética. No futuro, modernos sistemas de baterias podem se tornar viáveis economicamente e permitir até que essas fontes sejam as principais de uma matriz energética. Mas por hora, para análise desse trabalho, não será considerado tal avanço tecnológico.

O percentual de participação eólica em um sistema de potência predominantemente hidráulico, como é o caso do SIN, depende diretamente da capacidade de armazenamento disponível neste sistema. Recentemente algumas hidrelétricas vêm sendo projetadas e construídas para operar no modo fio d'água, sem reservatórios.

O Ministério de Minas e Energia chegou a abrir uma licitação em 2013 para contratar um estudo sobre a incorporação máxima da energia eólica no SIN, porém tal projeto não foi adiante.

Um estudo realizado por Steinberger (2012), analisou a integração em larga escala de geração eólica em sistemas hidrotérmicos, através de um algoritmo de simulação que lida com a variabilidade do vento. Seu trabalho utilizou dados históricos reais e focou sobre a viabilidade da utilização de geração hidráulica para compensar a variabilidade da produção de energia eólica quando a última é implementada em larga escala. Algumas de suas conclusões foram:

- Os geradores hidráulicos (os térmicos também) podem ser assumidos como sendo fontes de potência (GW) capazes de compensar a variabilidade das eólicas (STEINBERGER 2012).
- É benéfico que os geradores térmicos participem do papel das hidráulicas regulando a variabilidade das usinas eólicas (STEINBERGER 2012).
- A atual (2007/2008) capacidade de armazenamento do SIN parece ser suficiente para compensar a variabilidade dos 140 GW de geração eólica (STEINBERGER 2012).
- A tendência atual de construir as novas usinas hidráulicas com grande capacidade de potência instalada em relação ao tamanho dos seus

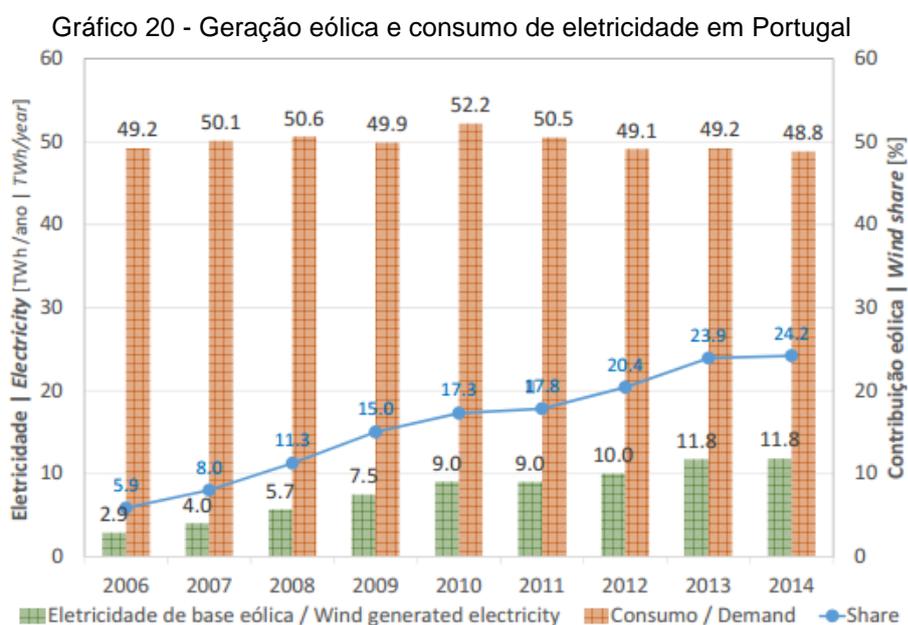
reservatórios, (usinas à fio d'água) quando considerada em conjunto com um programa de instalação de eólicas em larga escala, parece viável do ponto de vista de balanço energético e de potência (STEINBERGER 2012).

Mesmo com as conclusões promissoras apontadas por Steinberger (2012), a energia eólica não deve se expandir de forma tão ampla, apesar do sistema de armazenamento atual parecer suportar a variabilidade dos ventos para toda capacidade eólica. As limitações físicas e econômicas não permitirão uma expansão tão imensa a curto prazo. Os leilões de energia e as políticas do governo indicam um caminho para diversificação da matriz energética brasileira.

Para ter uma noção do nível em que a geração eólica pode chegar no Brasil, pode-se analisar países em que a tecnologia já está desenvolvida e a participação dessa fonte já se estabilizou em termos de participação na matriz energética. Os casos que mais se encaixam nessa descrição são o da Espanha, Portugal e Dinamarca.

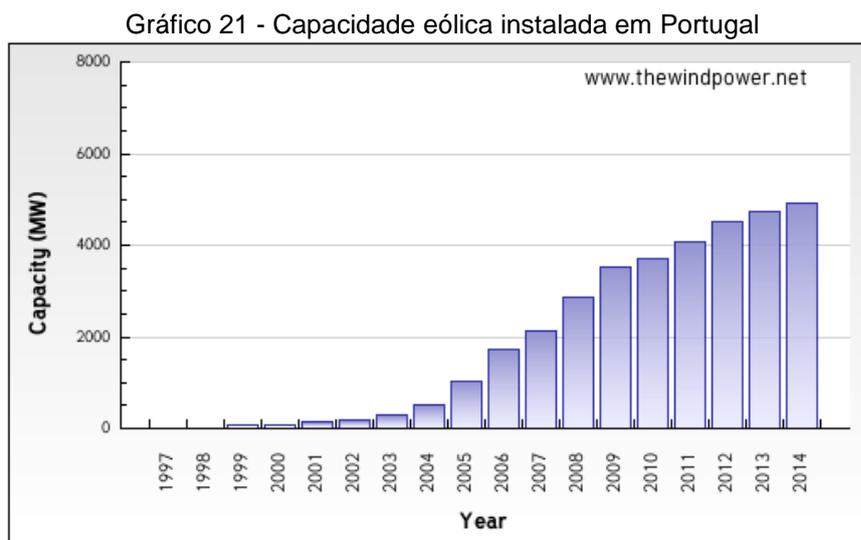
#### 6.4.1 PORTUGAL

Em Portugal, a população vem diminuindo pouco a pouco nos últimos 10 anos, e a demanda por energia elétrica vem se mantendo em níveis com poucas variações.



Fonte: APREN e INEGI, 2014

As usinas eólicas portuguesas tiveram sua maior evolução entre 2004 e 2012, crescendo em média 39% por ano em termos de capacidade instalada, e desde então vem se expandido em um ritmo menor, em torno de 4,3% ao ano, se mantendo pouco mais de 20% da energia consumida. Em 2014, a capacidade eólica instalada portuguesa era de 4,9 GW, apenas 0,8 GW maior que em 2011.

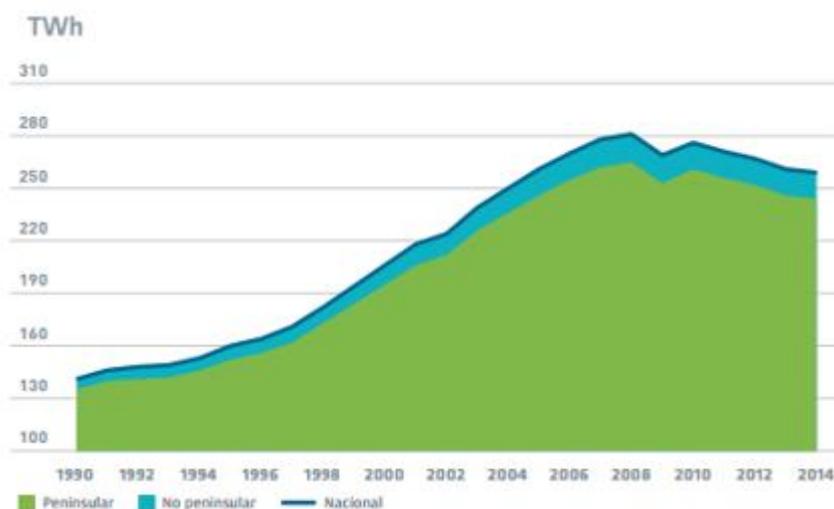


Fonte: The Wind Power, 2015

#### 6.4.2 ESPANHA

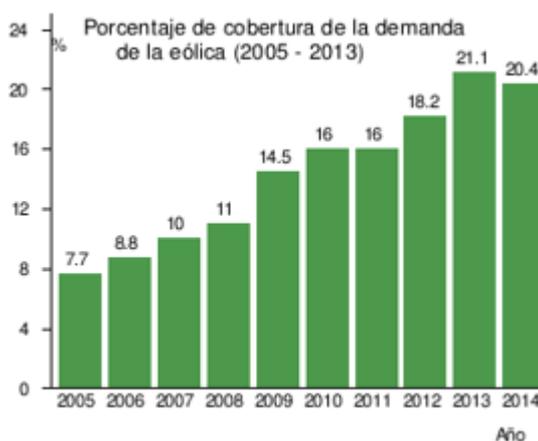
Na Espanha, desde o início da década, a população começou a diminuir, ainda que em ritmo pequeno. E desde 2006, apresenta uma estabilização no consumo, mas também com tendência recente de diminuir.

Gráfico 22 - Consumo de eletricidade na Espanha



Fonte: Red Eléctrica de España, 2015

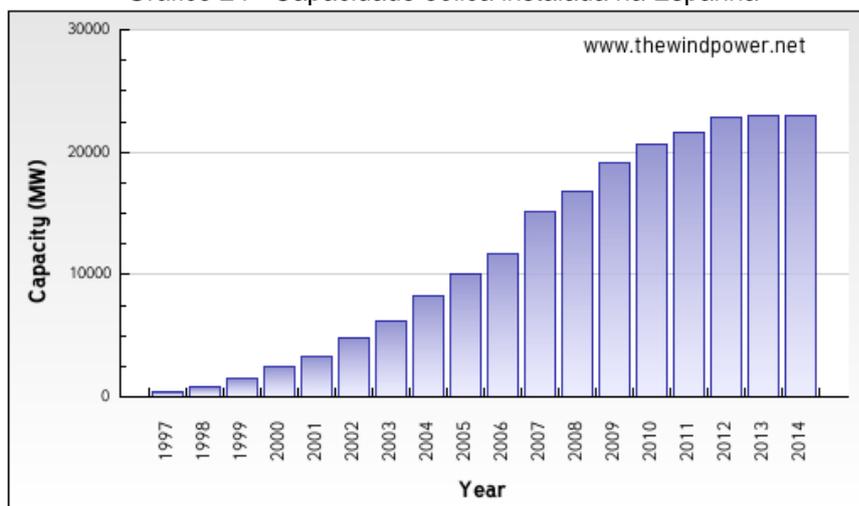
Gráfico 23 - Participação eólica na Espanha



Fonte: Red Eléctrica de España, 2015

O maior crescimento eólico espanhol ocorreu entre 2000 e 2009, crescendo em média 29,5% ao ano no quesito de capacidade instalada. A partir de 2012, o consumo de energia eólica se estabilizou em torno de 20% do total, assim como em Portugal, e desde então poucos novos parques foram construídos. A capacidade instalada em 2014 era de 22,9 GW, praticamente a mesma de 2012.

Gráfico 24 - Capacidade eólica instalada na Espanha

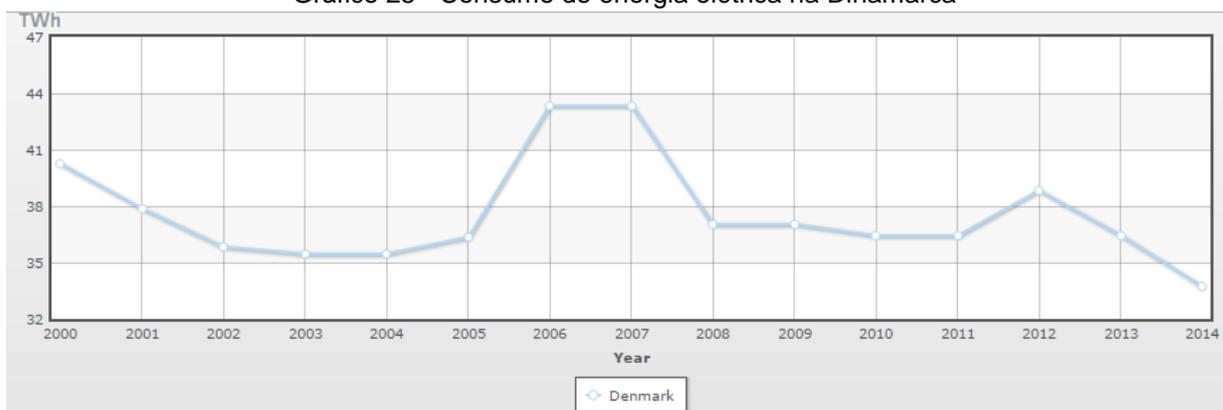


Fonte: The Wind Power, 2015

### 6.4.3 DINAMARCA

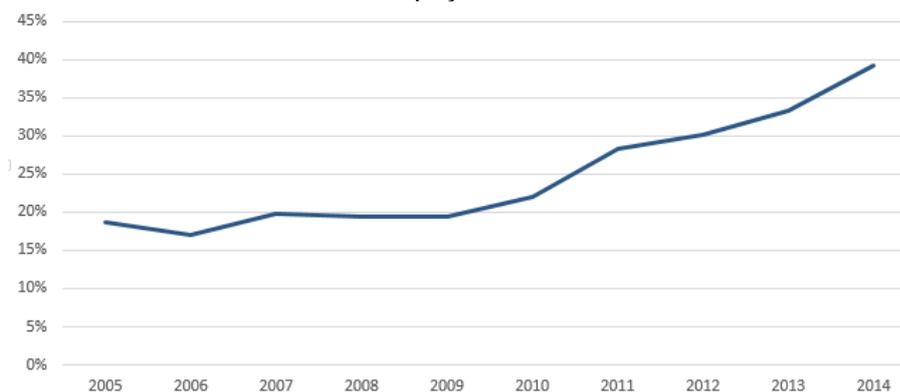
Já na Dinamarca, a população continua crescendo, principalmente devido a chegada de imigrantes, mas o consumo per capita diminuiu nos últimos anos, o que fez com que o consumo total também diminuísse.

Gráfico 25 - Consumo de energia elétrica na Dinamarca



Fonte: CIA, 2015

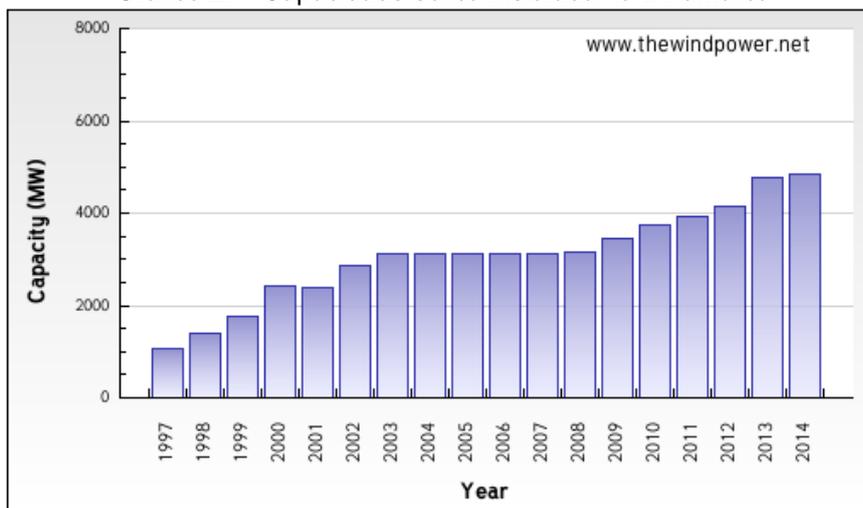
Gráfico 26 - Participação eólica na Dinamarca



Fonte: Danish Wind Industry Association, 2015

O avanço da energia eólica na Dinamarca pode ser dividido em duas partes, entre 1997 e 2002, período em que houve grande crescimento de usinas *onshore*, cerca de 22,8% por ano, e entre 2009 e 2013, com instalação de usinas *offshore*. Entre esses dois períodos, ocorreu uma estabilização, tanto em termos de capacidade instalada, 3,1 MW, como em termos de participação, que ficou em torno de 20%. Com a entrada das usinas *offshore*, os dinamarqueses contam com 4,9 MW instalados, que geram mais de 30% da energia elétrica total.

Gráfico 27 - Capacidade eólica instalada na Dinamarca



Fonte: The Wind Power, 2015

#### 6.4.4 ANÁLISE PARA O BRASIL

Baseado nas experiências internacionais abordadas, é possível apontar um máximo de geração eólica em torno de 20% da energia elétrica consumida no país. Foram próximos desse valor que Portugal e Espanha atingiram o ápice do aproveitamento dos ventos. A Dinamarca também atingiu essa porcentagem, até começar a expandir sua geração *offshore* e atingir valores maiores que 30%. Como o Brasil não tem em vista construções eólicas sobre a água, será considerado o máximo da expansão o valor de 20% da energia elétrica consumida. Em 2014, a energia eólica gerou aproximadamente 4% da energia consumida no país.

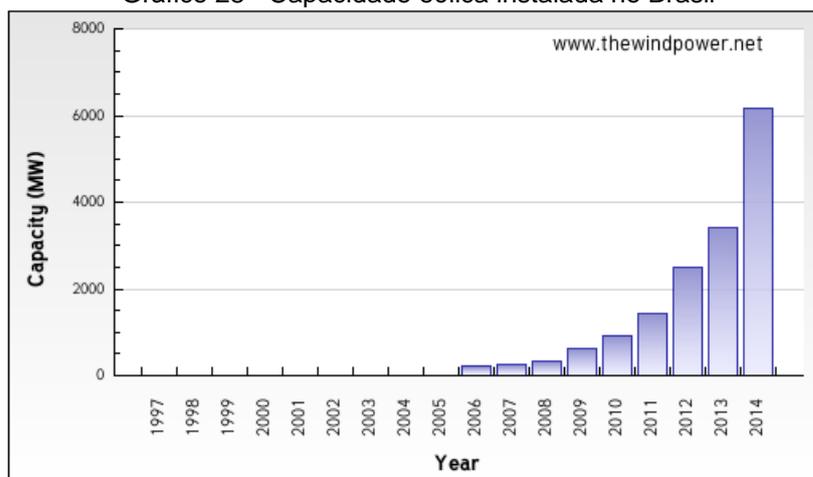
Uma diferença do Brasil em relação aos países analisados é que o consumo de eletricidade está em crescimento, e não estável. Documentos como o Plano Nacional de Energia 2050 indicam que a demanda por energia elétrica só poderá se estabilizar na segunda metade do século.

Considerando o potencial eólico brasileiro, o ritmo elevado de expansão, e que a capacidade de armazenamento do SIN pode suportar a variabilidade dos ventos, a energia eólica provavelmente vai atingir um quinto da energia elétrica consumida antes de 2050.

Dentre os países analisados, Portugal e Dinamarca consomem muito menos energia que o Brasil. E a Espanha, mesmo tendo uma população quatro vezes menor, tem um consumo apenas 50% mais baixo. Por gastarem menos eletricidade, atingiram um nível eólico máximo em pouco tempo, menos de uma década, com expansão aproximada de 30% por ano.

Desde 2009, quando houve o primeiro leilão exclusivo para fonte eólica, os preços se tornaram competitivos e o crescimento acelerado. Entre 2009 e 2014, a capacidade instalada foi de 339 MW para 6182 MW, com um crescimento médio anual de 63,3 %, e acréscimo médio de 1,1 GW.

Gráfico 28 - Capacidade eólica instalada no Brasil



Fonte: The Wind Power, 2015

De acordo com os últimos leilões realizados, já estão contratados mais 11,6 GW para entrar em operação até 2018, chegando a um valor próximo ao previsto no PDE 2023 para o mesmo ano. A Tabela 17 faz um comparativo entre os valores já contratados e os previstos pela EPE e MME (2014a):

Tabela 17 - Comparativo do PDE 2023 com a capacidade acumulada já contratada

<b>Ano</b>	<b>PDE 2023 (GW)</b>	<b>Capacidade acumulada já contratada (GW)</b>
<b>2015</b>	9,0	9,8
<b>2016</b>	10,8	12,6
<b>2017</b>	14,1	14,3
<b>2018</b>	17,4	17,3
<b>2019</b>	18,4	18,1

Fonte: Elaborado pelo Autor

O incremento médio do PDE 2023 até 2019 é de 19,92% ao ano, contra 16,73% da capacidade já contratada. É válido lembrar que podem ocorrer leilões com horizonte de 3 anos que podem aumentar a capacidade contratada. Mesmo assim é interessante se adotar o PDE 2023 como referência, visto que o mesmo apresenta valores muito próximos aos reais pelo menos nos próximos 4 anos.

Outro fator considerável, é que nem sempre a geração contratada entra em operação no ano previsto, devido a diversos empecilhos, sendo a falta da construção de linhas de transmissão o mais notável.

Com auxílio do *software* de simulação matemática MATLAB, e com base na Tabela 16, foram elaborados alguns cenários de crescimento da participação eólica. O Gráfico 17 – projeção do consumo até 2050 – foi utilizado como referencial do consumo. O fator de utilização das usinas eólicas foi considerado médio de 30%.

Para as décadas seguintes a metade do século, o consumo brasileiro deve começar a reduzir sua expansão até chegar em um nível estável. Uma base para essa informação é o comparativo com a Espanha, pois em 2050 o consumo de eletricidade per capita no Brasil vai ser da mesma ordem do consumo per capita atual espanhol. E o país ibérico, como já mencionado, consome aproximadamente a mesma quantidade de energia todo ano. Outro indicativo da estabilização é que a população vai começar a regredir, ou seja, o número de mortes será superior ao número de nascimentos.

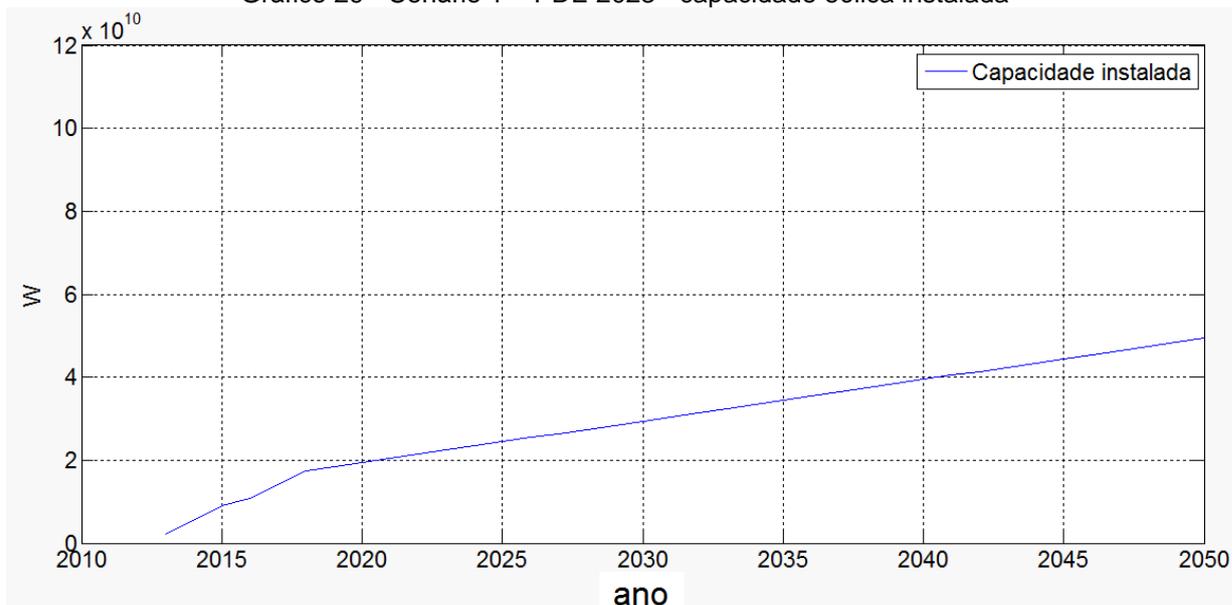
#### **6.4.5 CENÁRIO 1 – PDE 2023**

A partir de 2020, o Plano Decenal de Energia 2023 prevê um acréscimo de 1 GW por ano, desacelerando o ritmo de crescimento.

Caso realmente a expansão mantenha esse nível de crescimento constante para as décadas seguintes em termos de GW adicionados a matriz elétrica, a participação eólica não atingirá 20% até 2050, pois o ritmo do crescimento do consumo vai ser mais elevado que o ritmo do crescimento eólico.

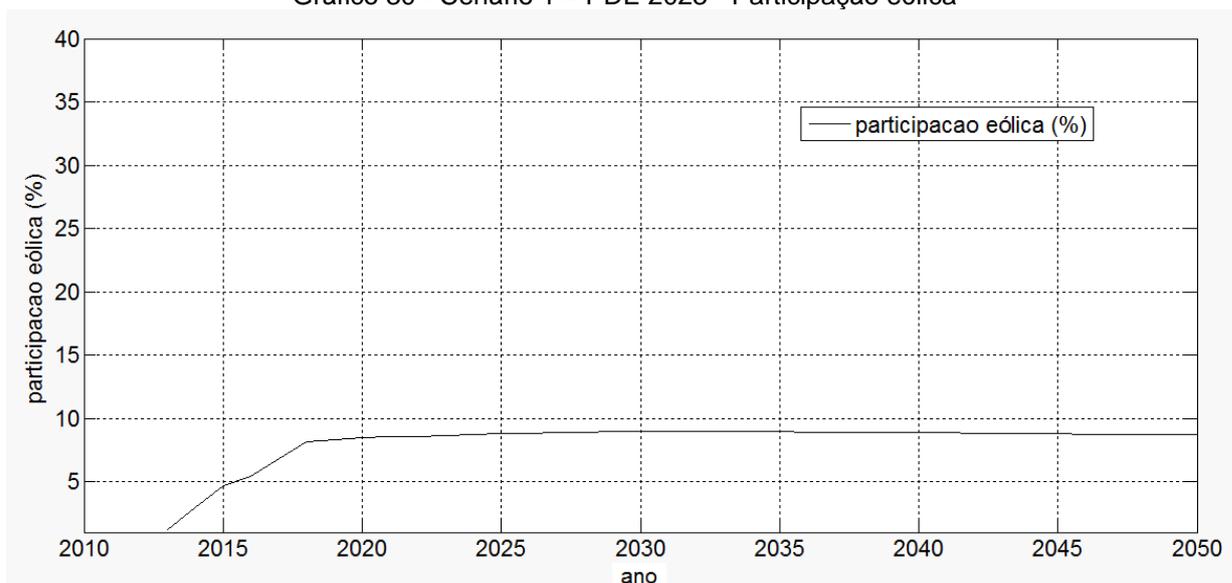
Neste cenário, a participação eólica atinge um máximo de 9% em 2030, e em sequência começa a decair. A potência instalada chegaria a 49,4 GW em 2050. O Gráfico 29 e o Gráfico 30 indicam a projeção da capacidade instalada eólica e a participação eólica na geração de eletricidade neste cenário.

Gráfico 29 - Cenário 1 – PDE 2023 - capacidade eólica instalada



Fonte: Elaborado pelo Autor

Gráfico 30 - Cenário 1 – PDE 2023 - Participação eólica



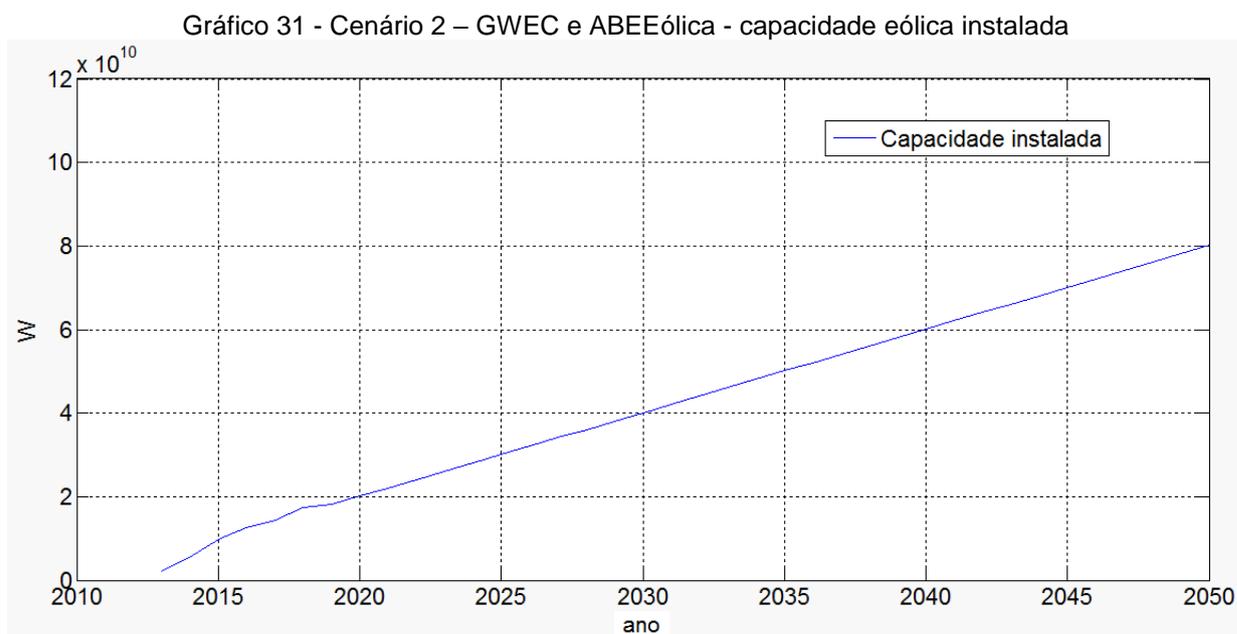
Fonte: Elaborado pelo Autor

Tal cenário aparenta ser improvável, pois a soma da projeção eólica com a hidrelétrica representaria 65% da energia produzida em 2040. E apenas 52% em 2050. Uma situação assim só seria possível com uma expansão térmica poluente, nuclear, ou então com energia solar.

#### 6.4.6 CENÁRIO 2 – ABEEÓLICA E GWEC

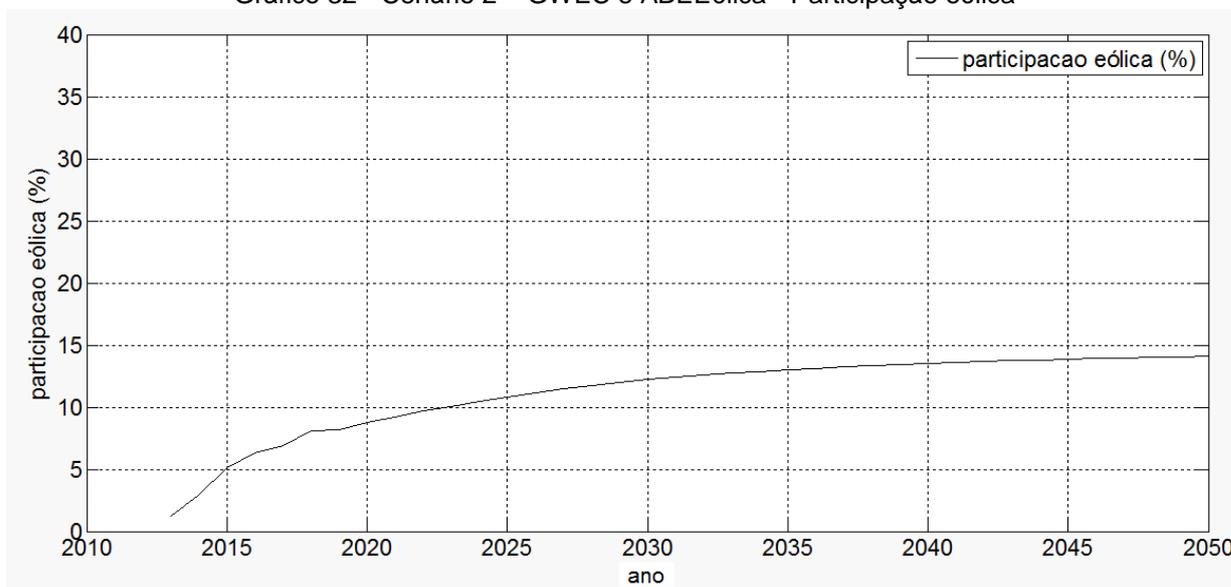
A agência internacional GWEC publica anualmente um relatório global de energia eólica (Global Wind Report), e em 2014, na seção referente ao Brasil, em parceria com a ABEEólica, salientou que a indústria eólica brasileira tem como objetivo de manter o crescimento de pelo menos 2 GW adicionados anualmente.

Mesmo com este ritmo de crescimento, a participação eólica na energia consumida também não atingirá 20%. Nessa simulação, nota-se uma tendência na estabilização em 14% da participação próximo de 2050, com previsão de 80 GW instalados. O Gráfico 31 e o Gráfico 32 indicam a projeção da capacidade instalada eólica e a participação eólica na geração de eletricidade neste cenário.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Gráfico 32 - Cenário 2 – GWEC e ABEEólica - Participação eólica



Fonte: Elaborado pelo Autor

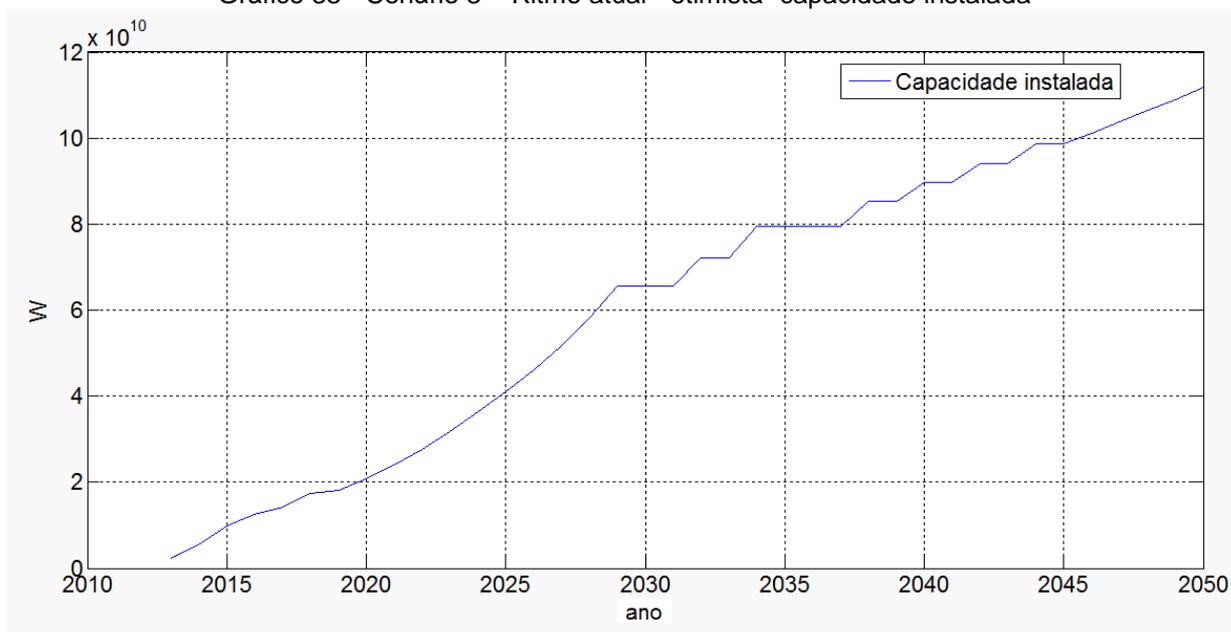
Esse cenário se mostra mais provável que o anterior, porque em 2040 as fontes hidrelétrica e eólica representariam 70% da energia gerada, e 58% em 2050. Mesmo assim ainda haveria a necessidade de expansão de outras fontes de energia.

#### 6.4.7 CENÁRIO 3 – RITMO ATUAL - MAIS OTIMISTA

O ritmo de crescimento eólico para os próximos anos vai ser de 16,63% de acordo com os resultados dos últimos leilões. Com o passar dos anos, continuar mantendo o aumento da capacidade instalada na mesma porcentagem é praticamente impossível, pois a cada vez mais a quantidade de GW adicionados seria maior. Nesse cenário, foi projetado um crescimento médio de 15% de 2020 até 2024, 12,5% de 2025 até 2029, e assim por diante, decaindo 2,5% a cada 5 anos até 2050.

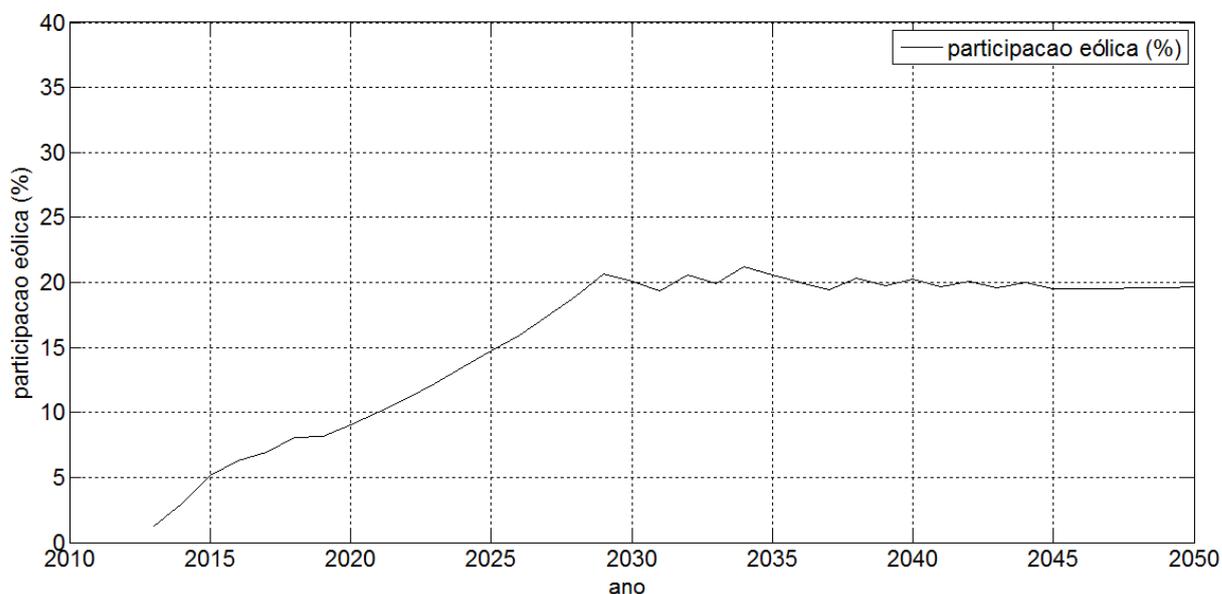
O crescimento seria muito rápido, em 2028 a geração de energia proveniente dos parques eólicos atingiria 20% do total do consumo, com 66 GW instalados. A partir desse momento cresceria apenas para manter a essa porcentagem no consumo total, chegando a 111 GW em 2050. O Gráfico 33 e o Gráfico 34 indicam a projeção da capacidade instalada eólica e a participação eólica na geração de eletricidade neste cenário.

Gráfico 33 - Cenário 3 – Ritmo atual - otimista- capacidade instalada



Fonte: Elaborado pelo Autor

Gráfico 34 - Cenário 3 – Ritmo atual - Otimista - Participação eólica



Fonte: Elaborado pelo Autor

Em 2040, a energia eólica e a hidrelétrica produziram 76,5% do consumo total, e em 2050, 63,4%.

Mesmo com todo investimento e incentivos, o cenário 3 é difícil de ser atingido, pois teria que ocorrer um acréscimo de 50 GW em apenas 10 anos na segunda

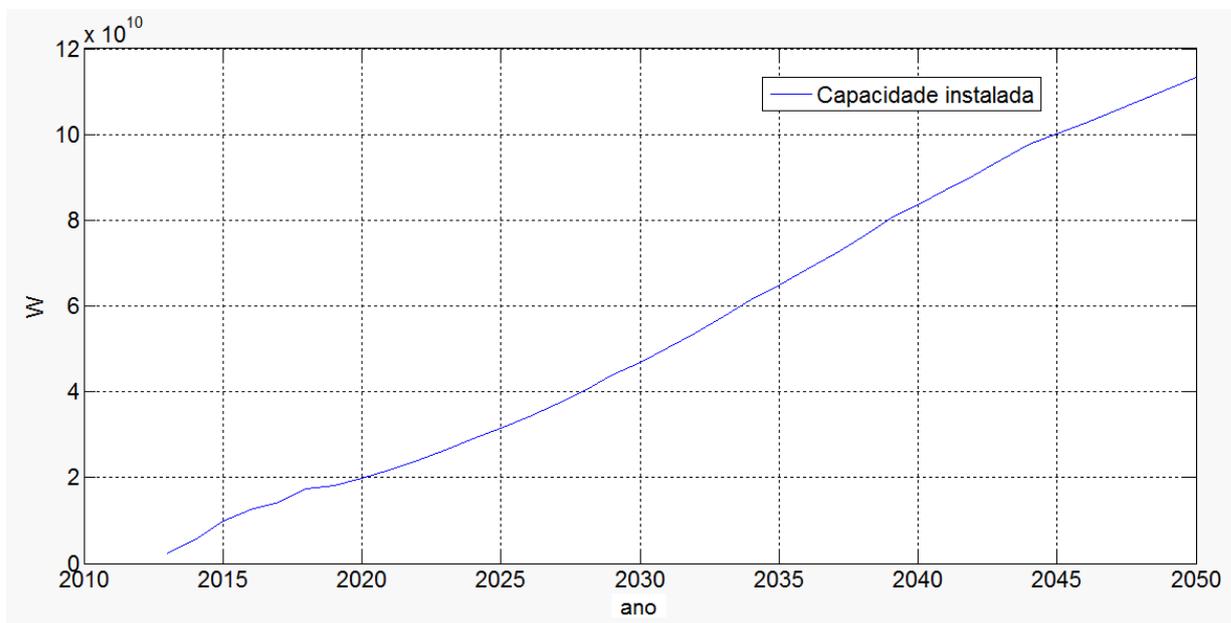
década deste século. Para isso acontecer, os investimentos seriam muito grandes, e a indústria teria que aumentar muito sua capacidade nos próximos 5 anos.

#### 6.4.8 CENÁRIO 4 – RITMO MAIS CONSERVADOR

Tendo em vista o cenário anterior, com o ritmo atual de expansão, mas com uma visão um pouco mais conservadora, atribui-se um crescimento de 10% de 2020 até 2024, 8,5% de 2025 até 2029, e assim por diante, decaindo 1,5% a cada 5 anos até 2050 para simular o cenário 4.

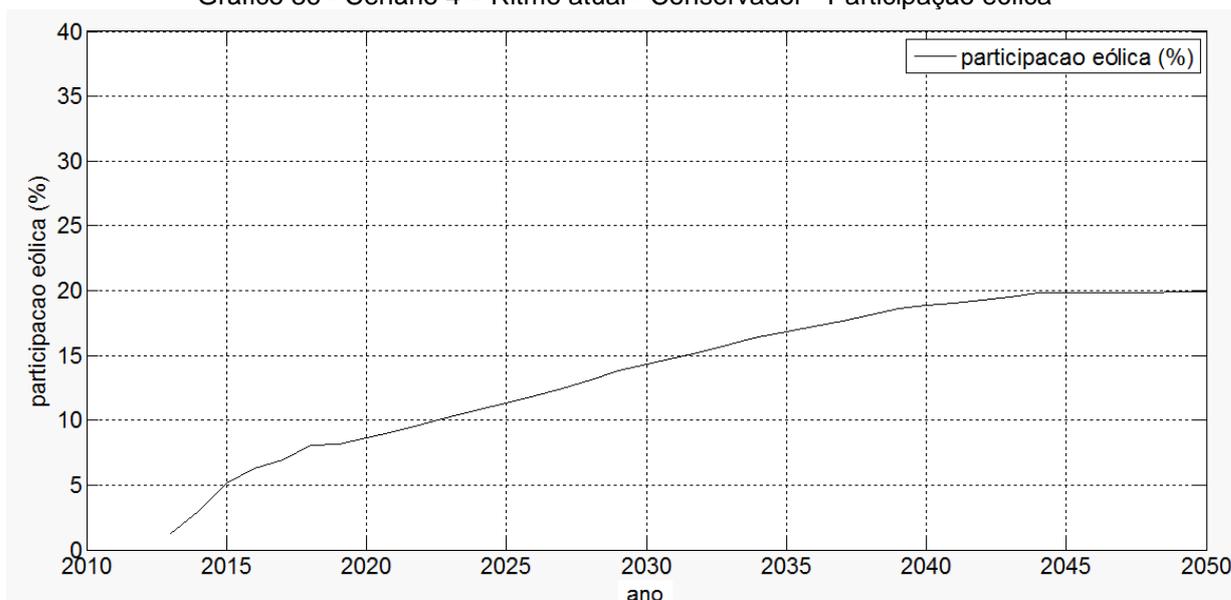
Em 2044 a geração eólica atingiria 20% do consumo total de energia elétrica, com 97,8 GW instalados. Continuará evoluindo sua participação para manter essa porcentagem atingindo 111 MW em 2050. O Gráfico 35 e o Gráfico 36 indicam a projeção da capacidade instalada eólica e a participação eólica na geração de eletricidade neste cenário.

Gráfico 35 - Cenário 4 – Ritmo atual - Conservador- capacidade instalada



Fonte: Elaborado pelo Autor

Gráfico 36 - Cenário 4 – Ritmo atual - Conservador - Participação eólica



Fonte: Elaborado pelo Autor

Este cenário é o com maior possibilidade de ocorrer, pois a capacidade instalada não aumentaria tão rapidamente, dando a possibilidade da indústria ser capaz de fornecer todos os equipamentos. O acréscimo de MW seria semelhante ao dos últimos anos.

Em 2040, a geração hídrica e eólica corresponderiam a 75,2% do consumo total. Como a capacidade instalada em 2050 seria a mesma do cenário 3, essas duas fontes também corresponderia a 63,5% da eletricidade consumida.

## 6.5 EQUILÍBRIO E SUSTENTABILIDADE: O PAPEL DO GÁS NATURAL, BIOMASSA, PCH E SOLAR

Devido a intermitência da energia eólica, o gás natural pode ser de extrema importância na matriz energética brasileira nas próximas décadas. O PDE 2023 prevê que esse tipo de geração dobre sua capacidade instalada em menos de 10 anos, atingindo 20 GW em 2023.

Com a tendência da diminuição de inauguração de grandes hidrelétricas, construção de hidrelétricas a fio d'água, que não tem armazenamento de água, e a estagnação das termelétricas mais poluentes e nucleares, a única saída para se ter uma confiabilidade energética alta é a expansão das usinas à gás natural. Mesmo que a capacidade instalada de usinas a gás natural seja muito menor que a de usinas eólicas, podem gerar uma quantidade significativa de energia elétrica, devido ao seu

alto fator de capacidade. Ou seja sua participação em termos de capacidade instalada total será menor que sua participação em termos de energia gerada.

Mesmo no cenário 3, mais otimista, a soma da geração hidrelétrica, eólica e das termelétricas poluentes chegaria a apenas 67,4% da energia elétrica total consumida projetada para 2050. Porém esse valor tem grande chance de ser menor ainda, o que reforça a necessidade da participação mais efetiva de outras fontes de energia, como a biomassa, PCH e solar.

A energia solar tem característica intermitente, e não causa grandes danos socioambientais, assim como a eólica. Por esse motivo, com um possível barateamento na aquisição dos módulos, pode concorrer e tirar um pouco do espaço da energia eólica projetada.

A geração que pode completar as necessidades de consumo nas próximas décadas, após a hidrelétrica, eólica e gás natural, deve ser proveniente da biomassa, visto que também possui significativas vantagens ambientais. O desenvolvimento da tecnologia para conservação do bagaço de cana, para amezinhar sua intermitência, é fundamental para sua expansão, e também para a matriz energética brasileira. Já as PCHs não devem ter um crescimento tão elevado, devido ao seu alto custo de implantação e impactos ambientais, mas também vão ser importantes para atender o sistema.

## 7. CONSIDERAÇÕES PERTINENTES

A energia eólica vem tendo um crescimento significativo nos últimos anos, principalmente desde 2004, com a criação do PROINFA, e acelerado em 2009 a partir do primeiro leilão exclusivo, devido aos seus baixos impactos ambientais e a necessidade de diversificação da matriz energética brasileira. A complementaridade com sistema hidrelétricos, predominantes no Brasil, e o abundante potencial eólico brasileiro, indicam que essa fonte ainda tem muito a se expandir. Das análises elaboradas, abordando diversos aspectos, e em face aos investimentos no setor permitiu-se constatar a confirmar a vitalidade deste energético, o que corresponde ao seu acelerado nível de crescimento na composição da matriz energética Brasileira - projetando cenários promissores de crescimento para as próximas décadas.

A eólica foi comparada com outras fontes que participam dos leilões de energia, gás natural, biomassa a bagaço de cana, PCH e solar, o que foi importante para testar a viabilidade eólica perante outras fontes em cinco aspectos: domínio da tecnologia; investimento na implantação; preço do MWh; fator de capacidade; e impactos socioambientais.

Competindo com esta fonte, naturalmente, qualquer outra, para poder vir a ser principal fonte complementar ao sistema predominante hidrelétrico brasileiro, as demais candidatas teriam que se apresentar igualmente competitivas, em todos os aspectos abordados.

A energia eólica se mostrou a mais equilibrada, ficando pelo menos entre as três melhores em todos os aspectos.

O custo índice do MWh, afóra o das hidrelétricas em geral, é o menor, sendo comparável ao de algumas hidrelétricas. Isso se deve ao fato de não haver gasto com combustível, ao contrário das térmicas a gás natural e biomassa – estas, atualmente, igualmente atraentes e competitivas. Porém, ressaltando-se que os custos de instalação e manutenção ainda são menores que o das PCHs e das usinas solares.

Na questão do domínio tecnológico, pelo que foi visto no trabalho, a fonte eólica foi a segunda melhor, perdendo apenas para a biomassa. Várias empresas multinacionais do setor eólico vieram para o Brasil, ainda que as condições de nacionalização de partes dos equipamento - indispensáveis para se obter investimentos do BNDES - não constituíram empecilhos. Empresas brasileiras

surgiram e outras criaram novos segmentos para atender a demanda, fazendo o país adquirir algum incremento tecnológico em um tempo relativamente curto.

Em termos de investimentos comparativos, os custos de instalação ainda são maiores maior que o das termelétricas à gás natural e à biomassa (VER CÁP. 4), e menor que das usinas solares e PCHs. As termelétricas beneficiam-se de poderem, geralmente, ser construídas próximas a linhas de transmissão, o que barateia seu custo. Já as usinas eólicas e PCHs precisam de locais específicos para sua instalação, que muitas vezes são lugares de difícil acesso. A fonte solar ainda é cara devido a necessidade de importação de toda sua tecnologia.

O aspecto dos impactos socioambientais pode ser relativo, e dentro desse âmbito a energia eólica perdeu para a solar, mas com praticamente um empate técnico. Enquanto a energia eólica pode ter problemas com pássaros, poluição sonora e visual, a energia solar pode gerar poluição na construção de seus painéis. A biomassa também apresentou impactos mínimos, principalmente se comparados as PCHs e ao gás natural.

Até na questão do fator de capacidade, a energia eólica foi a terceira melhor, tendo ganhado da biomassa e da solar. O FC médio eólico ficou em 36% em 2014.

Portanto, frente às fontes concorrentes, a eólica se mostrou a mais competitiva e a com a chance mais clara de ser a segunda principal fonte no sistema elétrico brasileiro. Dentro da análise, as usinas a biomassa também se mostraram competitivas na maioria dos aspectos, e pode ser a grande concorrente da energia eólica nas próximas décadas. Essa “rivalidade” tem tudo para ser ótima para o Brasil, que ganha geração limpa e renovável.

As ações institucionais foram fundamentais para o fortalecimento da energia dos ventos. Apesar de não ter prosperado como planejado, o PROINFA, que utilizava tarifas fixas, ou *feed-in*, foi o primeiro programa de sucesso no âmbito de políticas energéticas para fontes alternativas não convencionais, responsável por 1,4 GW instalados. Atrasos na entrega dos projetos devido a diversos fatores levaram o governo a apostar em leilões exclusivos para fontes não convencionais.

No começo a fonte eólica passava por dificuldades nos leilões devido ao seu alto preço do MWh. Mas a partir de 2009, com o primeiro leilão exclusivo, a energia dos ventos teve uma redução significativa nos custos e no valor cobrado pela energia gerada. Esse fato ocorreu principalmente por causa das condições de financiamento do BNDES citadas anteriormente, que possibilitaram uma indústria nacional forte, e

consequentemente barateamento nos custos de instalação e operação. Outras ações governamentais também contribuíram, como isenções em impostos como PIS, COFINS e ICMS.

Os valores financiados pelo BNDES já ultrapassaram R\$ 20 bilhões desde o começo do PROINFA, e esse banco continua sendo o principal agente financeiro do setor, com previsão de investimento de R\$ 43 bilhões para os próximos anos.

Um ponto interessante de se destacar, é que o sistema de leilões prosperou muito bem no Brasil, enquanto foi pouco utilizado em outros países, não tendo sucesso no Reino Unido. A grande diferença foi que os britânicos não forneceram outros incentivos para geração eólica, que na época muito mais cara que as concorrentes, não atraindo e nem fomentando uma indústria consolidada, ao contrário do que aconteceu em terras brasileiras.

Já o sistema de tarifas fixas, apesar de importante na época do PROINFA, não prosperou tão bem no Brasil como na Alemanha, Dinamarca e Espanha, provavelmente porque não existiam outros incentivos e isenções na primeira metade da década de 2000, e a indústria local praticamente inexistia.

Na era das mídias sociais, onde as discussões extremistas vigoram, o grande crescimento da energia eólica no Brasil é uma prova de que uma certa intervenção do estado na economia pode inclusive fomentar o setor privado, criando e atraindo investimentos privados, gerando empregos, e agindo em favor do desenvolvimento sustentável.

No capítulo 5, onde se tratou da comercialização, foi visto, através de análise do histórico dos leilões, que os custos de parques eólicos caíram de R\$ 7,5 milhões/MW em 2006, para R\$ 3,73 milhões/MW em 2015 - quantificando o resultado das ações institucionais.

A descrição dos principais componentes de aerogeradores: torre, pás, cubo e 'nacele'; foi realizada com o intuito de correlacionar a capacidade de cada unidade com as suas dimensões - assim como indicativos de dimensionamento como critérios de projeto, correspondentes às localizações dos parques eólicos existentes e em construção. Isto feito de forma a mapear o potencial eólico brasileiro e identificar possíveis locais para construção de novos parques. Quatro estados foram identificados com baixa ou nenhuma capacidade instalada: Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná e Roraima. No entanto, com perspectivas de projetos em andamento.

Foi possível considerar que um dos principais estados que deve receber novos parques, já nas próximas décadas, e assim contribuir para o incremento da geração eólica no país, é Minas Gerais. Estado que conta, apesar de situação interior, com surpreendente potencial - estimado de 40 GW para torres de 100 metros. Valendo ressaltar que possui bons acessos viários e indústrias do setor - localizadas próximas a estados vizinhos que contam, igualmente com consideráveis aptidões fabris neste setor. Da mesma forma, Rio de Janeiro e Paraná também devem contribuir, mas, em escala menos significativa. Já Roraima, apesar do aparente potencial, provavelmente apenas contará com geração local em comunidades isoladas - por causa das regiões serranas de difícil acesso, e falta de interligação com Sistema Elétrico Brasileiro.

No âmbito dos impactos causados por sistema eólicos, o principal são os problemas causados no sistema elétrico, como consumo de potência reativa, injeção de harmônicos e flutuações de tensão. Apesar do trabalho não ter entrado em maiores detalhes, esses impactos são significativos e merecem maior atenção - constatando-se que já existe considerável suporte tecnológico para isto. No quesito impactos no meio ambiente, não há registros de maiores problemas ocorridos no Brasil.

Foi permitido elaborar, também, no trabalho, algumas possíveis projeções para a geração eólica no país. Para se entender como a energia eólica pode aumentar sua participação na matriz energética brasileira viu-se que é indispensável avaliar a projeção de consumo para as próximas décadas e também, da projeção da produção da principal fonte atual do país, a hidrelétrica - e avaliar as outras fontes como um todo. Sendo necessário ressaltar que, devido aos elevados impactos socioambientais, as grandes hidrelétricas possuem um limite máximo. Apesar dos 247 GW estimados, a previsão é que de apenas 150 GW sejam aproveitados, valor que corresponderia apenas 44% da geração necessária em 2050.

Para entender qual pode ser a participação máxima da energia eólica na matriz elétrica brasileira, foi analisado as experiências de países em que essa fonte já parou de se expandir, em termos de participação na energia gerada, como em Portugal, Espanha e Dinamarca. Em todos esses países, as eólicas 'onshore' chegaram a um limite próximo de 20% da energia consumida - não por só limitações de potenciais, mas, também, devido a limites operacionais. Razão pela qual, aspectos destas limitações foram usadas como referência para estimativas, no caso brasileiro.

Tendo o máximo de geração hidrelétrica e a máxima participação eólica, foram projetados 4 cenários para as próximas décadas, baseados em diferentes abordagens. No cenário considerado mais próximo da realidade, cenário 4, foi previsto um crescimento de 10% ao ano até 2020, e decaindo 1,5% a cada cinco anos. A energia eólica pode atingir 20% da geração de energia no ano de 2040, com cerca de 80 GW instalados, e atingir 111 GW em 2050.

## 8. CONCLUSÃO

Foi possível constatar, através da abordagem elaborada sobre o tema da energia eólica no Brasil, que este energético tem grande chance de ser o segundo na ordem dos itens que compõe a capacidade instalada, nas próximas décadas. Verificou-se, também, que a prevalência da participação combinada “hidroeólica” na matriz brasileira, ainda que atualmente e ao longo das próximas décadas, seja promissora e significativa, é limitada. Sendo impossível e inviável o seu crescimento continuado, para além de 2050 – segundo os moldes atuais de exploração destes potenciais. Isto devido a que a atual configuração matricial energética não poderá se reproduzir muito além – vez que, por volta de 2050, mesmo nas previsões mais otimistas, a soma das gerações hidrelétrica e eólica corresponderia - no limite ou teto máximo de disponibilização dos potenciais prospectados - de não mais que 63,5% da eletricidade consumida. Tal resultado já indica, a longo prazo, a necessidade da evolução de outras fontes, como as analisadas na primeira parte do trabalho. Da mesma forma, do que foi levantado, verificou-se que é possível asseverar que energia eólica, sozinha, não é a solução para o abastecimento elétrico. E, a partir de um cenário de projeções para além de 2050, nem mesmo em conjunto com as grandes hidrelétricas. O país deve apostar em uma matriz elétrica diversificada e limpa, buscando equilíbrio e sustentabilidade, com a energia solar, PCHs, biomassa e inclusive o gás natural, que será importante para segurança energética.

Pelo que, permitiu-se concluir, a energia eólica, por diversas razões, deve ser a fonte que mais vai se expandir nas próximas décadas. Por ser a mais vantajosa – disponibilidade de potencial, tecnologia madura, parque fabril instalado, além de opções de importação de equipamentos competitivos – porém limitada. O que indica que, no Brasil, políticas que orientem investimentos devem buscar apresentar os melhores resultados e propiciar diversas formas de composição e consórcios de investidores, face ao imenso e diversificado potencial a ser explorado – em termos de alternativas, composições ou complementações entre energéticos. Que poderão ser alavancados pelas políticas institucionais, como vem sendo adotadas para o setor.

Com essas constatações, pode-se considerar que o objetivo proposto neste trabalho foi atingido plenamente. A avaliação criteriosa da energia eólica no país, elaborada pela metodologia proposta, verificou-se satisfatória, assim como o recurso de comparação com outras fontes em projeções. Pelo que, é possível afirmar, o

estudo mostrou-se proficiente em balizar ou orientar a tomada de decisão no campo da geração de energia, em sistemas eólicos na atualidade, no Brasil.

Cabe ainda, como forma de dar continuidade a estudos iniciados, sugerir algumas propostas para trabalhos futuros.

Um estudo utilizando abordagens similares à que foi apresentada, mas, orientado para a fonte biomassa - com combustível bagaço de cana - seria interessante, pois a mesma também possui aspecto complementar aos regimes hídricos, além de que, mostrou-se competitiva em vários quesitos: é renovável, menos poluente que as térmicas convencionais e pode evoluir de forma acelerada nos próximos anos.

Analisar os investimentos em energia solar, ou a falta deles, também seria um trabalho proveitoso, como forma de buscar entender quais motivos levam essa fonte a ainda não ter políticas específicas e, conseqüentemente, não ter participação significativa na matriz energética.

Por fim, do que trabalho permitiu apontar, um estudo de usinas eólicas de grande porte, conectadas a rede elétrica, juntamente com uma avaliação dos possíveis aproveitamentos de pequeno porte em locais isolados e, também em residências, na dimensão da microgeração merecem alguma prioridade – o que também seria algo válido como tema para estudos futuros.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI. **Mapeamento da Cadeira Produtiva da Indústria Eólica no Brasil.** Brasília, DF: 2014. Disponível em: <[http://www.abdi.com.br/Estudo\\_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeira%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeira%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf)>. Último acesso em 15 out. 2015.

ABEEÓLICA. **Nosso Setor: Dados.** São Paulo, SP: 2015. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/dados.html>>. Último Acesso em: 6 jun. 2015.

ABEEÓLICA. **Tempos de Rediscutir a Matriz Energética Nacional.** São Paulo, SP. 2013. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/artigos/1100-tempos-de-rediscutir-a-matriz-energ%C3%A9tica-nacional.html>>. Último acesso em: 10 mai. 2015.

AMÊNDOLA, C. A. M. **Contribuição ao Estudo de Aerogeradores de Velocidade e Passo Variáveis com Gerador Duplamente Alimentado e Sistema de Controle Difuso.** Tese de doutorado em Engenharia Elétrica para Universidade de São Paulo, 2007.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3. Ed. Brasília, DF: ANEEL, 2008. Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689)>. Último acesso em 5 mai. 2015.

ANEEL. **Banco de Informações de Geração.** Brasília, DF: 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm/>>. Último acesso em: 8 out. 2015.

APREN; e INEG. **Parques Eólicos em Portugal.** Porto, Portugal: Energias endógenas de Portugal, 2014.

BARRETO FILHO, A. A. **Proposta Metodológica Para a Avaliação da Matriz Energética Brasileira em Prol do Equilíbrio: Competitividade e Sustentabilidade.** Tese de doutorado em Engenharia Mecânica para Universidade Estadual Paulista, 2012.

BNDES. **BNDES Transparente.** Brasília, DF: 2015. Disponível em <<http://www.bndes.gov.br/bndestransparente>>. Último acesso em 18 nov. 2015.

BNDES. **Perspectivas do Investimento.** Brasília, DF: 2014. Disponível em <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/perspectivas\\_investimentos/boletim\\_perspectivas\\_maio2014.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/perspectivas_investimentos/boletim_perspectivas_maio2014.pdf)>. Último acesso em 18 nov. 2014.

BRACIANI, U. **Estrutura de Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil.** Trabalho de conclusão de curso em Ciências Econômicas para Universidade Federal de Santa Catarina.

BRAZILENERGY. **Brazil Winds.** Rio de Janeiro, RJ. 2012. Disponível em: <<http://brazilenergy.com.br/portfolio/brazil-wind/perfil-do-setor/>>. Último acesso em: 10 set. 2015.

CCEE. **Boletim de Operação das Usinas.** Brasília, DF. 2014. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/aceso\\_rapido\\_footer/biblioteca\\_virtual?tipo=Boletim&assunto=Resultado&\\_adf.ctrl-state=17x7ddxf7\\_4&\\_afLoop=1521826005429212](http://www.ccee.org.br/portal/faces/aceso_rapido_footer/biblioteca_virtual?tipo=Boletim&assunto=Resultado&_adf.ctrl-state=17x7ddxf7_4&_afLoop=1521826005429212)>. Último acesso em: 21 set. 2015.

CCEE. **Comercialização.** Brasília, DF. 2015. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/ondeatuamos/comercializacao?\\_afLoop=437064244340134#%40%3F\\_afLoop%3D437064244340134%26\\_adf.ctrl-state%3Dte0dglxy6\\_4](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/ondeatuamos/comercializacao?_afLoop=437064244340134#%40%3F_afLoop%3D437064244340134%26_adf.ctrl-state%3Dte0dglxy6_4)>. Último acesso 13 mai. 2015.

CEPEL. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.** Brasília, DF: MME/ELETROBRÁS, 2001.

CEMIG. **Alternativas Energéticas: Uma Visão da CEMIG**. 1. Ed. Belo Horizonte, MG: CEMIG, 2012.

CEMIG. **Atlas Eólico Minas Gerais**. 1. Ed. Belo Horizonte, MG: CEMIG, 2010.

CIA. **The World Factbook**. Langley, Estados Unidos da América: 2015. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>>. Último acesso em 2 nov. 2015.

COPEL. **Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná**. 2. Ed. Curitiba, PR: COPEL, 2007.

COSTA, C. V. et al. **Technological Innovation Policies to Promote Renewable Energies: Lessons from the European Experience for the Brazilian Case**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Eschborn, Alemanha, 2008.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, DF: MME, 2009

CUSTÓDIO, R. S. **Energia Eólica Para Produção de Energia Elétrica**. 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Eletrobrás, 2009.

DALBEM, M. C. **Análise de Investimentos em Energia Eólica no Brasil**. Tese de doutorado em Administração de Empresas para Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. **The Danish Market: Statistics os the Development of Wind Power in Denmark 2005-2014**. Frederiksberg, Dinamarca: 2014. Disponível em: <[http://www.windpower.org/en/knowledge/statistics/the\\_danish\\_market.html](http://www.windpower.org/en/knowledge/statistics/the_danish_market.html)>. Último acesso em 2 nov. 2015.

DOS REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica**. 2. ed. rev. aum. Barueri, SP: Manole, 2011.

DUTRA, R. M. **Propostas de Políticas Específicas Para Energia Eólica no Brasil Após a Primeira Fase do PROINFA**. Tese de doutorado em Ciências em Planejamento Energético para Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

DUTRA, R. SZKLO, A. **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. 2008

ELETROBRÁS. **Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro, RJ: 2014 Disponível em <<http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm>>. Último acesso em 26 out. 2015.

EPE. **Consumo de Energia Cresceu 2,2% em 2014**. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. 88. Vol. Rio de Janeiro, RJ: 2015.

EPE; e MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Rio de Janeiro, RJ: EPE e MME, 2011.

EPE; e MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Rio de Janeiro, RJ: EPE e MME, 2014a.

EPE; e MME. **Plano Nacional de Energia 2050: Estudos da Demanda de Energia**. Rio de Janeiro, RJ: EPE e MME, 2014b.

ERICKSON, W. P.; JOHNSON, G. D.; e YOUNG JR, D. P. **Summary of Anthropogenic Causes of Bird Mortality**. Proceedings of the 2002 International Partner's in Flight Conference. Monterrey, México: 2002.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia eólica**. 1. Ed. Barueri, SP: Manole, 2011.

FREIRE, A.; e RIBEIRO, C. P. **Energia Solar no Brasil: Alvorada ou Ocaso?**. O Setor Elétrico. 68. Vol. São Paulo, SP, 2011. Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/a-empresa/717-energia-solar-no-brasil-alvorada-ou-ocaso.html>>. Último acesso em 28 jun. 2015.

GAVINO, N. A. **Energia Eólica: Uma Análise dos Incentivos à Produção (2002 - 2009)**. Trabalho de conclusão de curso em Ciências Econômicas para Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

GOLDEMBERG, J. et al. **Energias Renováveis**. 1. Ed. São Paulo, SP: Blucher, 2012.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Estado do Rio de Janeiro: Atlas Eólico**. 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2002.

GWEC. **Global Wind Report: Annual Market Update 2014**. Bruxelas, Bélgica: GWEC, 2015.

HENKE, R. E. **Análise da Integração de Parques Eólicos ao Sistema Elétrico de Potência**. Trabalho de conclusão de curso para Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

HERZER, L. **Equivalência Entre Sistemas de Geração de Energia Elétrica: Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Eólicas**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Elétrica para Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014.

IBGE. **População Residente Segundo as Unidades da Federação**. Diário Oficial da União. 165. Vol. Rio de Janeiro, RJ: 2014.

IBGE. **Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 2000/2060**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2013.

ICMBIO. **Relatório Anual de Rotas e Áreas de Concentração de Aves Migratórias no Brasil**. 1. Ed. Brasília, DF: MMA, 2014.

KAMPEL, M.; e ORTIZ, G. P. **Potencial de Energia Eólica Offshore na Margem do Brasil**. V Simpósio Brasileiro de Oceanografia. Santos, SP: 2011

KLESSMANN,C; NABE,C.; BURGES,K. **Pros and cons of exposing renewable to electricity market risks – a comparison of the market integration approaches in Germany, Spain, and the UK**. Energy Policy, vol. 36, p.3646-3661, 2008.

LAJE, E. S.; e PROCESSI, L. D. **Panorama do Setor de Energia Eólica**. Revista do BNDES. 38. Vol. Rio de Janeiro, RJ: Web BNDES, 2013. P. 183 a p. 206.

LOPEZ, R. A. **Energia Eólica**. 2. Ed. São Paulo, SP: Artliber. 2012.

MELLO, A. O. P. B. **Os Investimentos no Setor Elétrico**. Dissertação de mestrado em Engenharia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

MELO, M. S. M. **Energia Eólica: Aspectos Técnicos e Econômicos**. Dissertação de mestrado em Planejamento Energético para Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

MME. **Proinfa**. Brasília, DF: 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>. Último acesso em: 8 mai. 2015.

MME. **Leilões de Energia**. Brasília, DF: 2013. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/programas/leiloes\\_de\\_energia/menu/inicio.html](http://www.mme.gov.br/programas/leiloes_de_energia/menu/inicio.html)>. Último acesso em 13 mai. 2015.

MOLLY, J. P. **Energia Eólica: Técnica, Planejamento, Economia e Riscos**. Seminário da DEWI. Rio de Janeiro, RJ: 2009.

NOGUEIRA, L. P. P. **Estado Atual e Perspectivas Futuras Para a Indústria Eólica no Brasil**. Dissertação de mestrado em Planejamento Energético para Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

PACCA, S.; e SIMAS, M. S. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável.** Estudos Avançados. 27. Vol. São Paulo, SP: SciELO, 2013. p. 99 a p. 115.

PINTO, L. **Aspectos do Licenciamento Ambiental Para Geração Eólica: Vantagens Ambientais da Geração Eólica.** Fórum ABEEólica, 2009.

PINTO, M. O. **Fundamentos de Energia Eólica.** 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2013.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. **El Sistema Eléctrico Español 2014.** Madrid, Espanha: Red Eléctrica de España, 2015.

RIBEIRO, L.S. **O Impacto do Gás Natural nas Emissões de Gases de Efeito Estufa: o Caso do Município do Rio de Janeiro.** Dissertação de mestrado em Planejamento Energético para Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

RICOSTI, J. F. C. **Inserção da Energia Eólica no Sistema Hidrotérmico Brasileiro.** Dissertação de mestrado em Energias para Universidade de São Paulo, 2011.

SALINO, P. J. **Energia Eólica no Brasil: Uma Comparação do PROINFA e dos Novos Leilões.** Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental para Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

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 em Ciências para Universidade de São Paulo, 2012.

STEINBERGER, J. M. **Integração em Larga Escala de Geração Eólica em Sistemas Hidrotérmicos.** Tese de doutorado em Engenharia Elétrica para Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

THE WIND POWER. **Online Access: Countries.** Tournefeuille, França: 2015. Disponível em <[http://www.thewindpower.net/country\\_list\\_en.php](http://www.thewindpower.net/country_list_en.php)>. Último acesso em 2 nov. 2015.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil.** 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2003.

TOLMASQUIM, M. T. **Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro.** 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Synergia; EPE: Brasília, 2011.

VENTOS DO SUL ENERGIA. **O Projeto.** Osório, RS: 2009. Disponível em <<http://www.ventosdosulenergia.com.br/highres.php>>. Último acesso em 18 nov. 2015.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações.** 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

WWF-BRASIL. **Além de Grandes Hidrelétricas.** Sumário para tomadores de decisão. Brasília, DF: 2012. Disponível em <[http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/alem\\_de\\_grandes\\_hidreletricas\\_sumario\\_para\\_tomadores\\_de\\_decisao.pdf](http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/alem_de_grandes_hidreletricas_sumario_para_tomadores_de_decisao.pdf)>. Último acesso em 12 nov. 2015.