

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

LEANDRO DUARTE CABRAL DE MELO

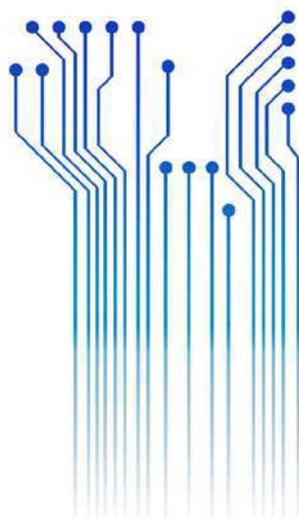


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ESTUDO SOBRE MERCADO E GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2016

LEANDRO DUARTE CABRAL DE MELO

ESTUDO SOBRE MERCADO E GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande
2016

LEANDRO DUARTE CABRAL DE MELO

ESTUDO SOBRE MERCADO E GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria Sinforosa e José Everaldo, pelo investimento suporte e amor.

A minha irmã, Luciana, por todo incentivo dado.

Ao professor Leimar de Oliveira, meu orientador, pela compreensão e por me acolher num momento de dificuldade, possibilitando minha formação.

Aos meus amigos de longa data e colegas de curso pelo apoio, principalmente a Heitor e Aquiles que me acompanharam por todo percurso, e a Marconi pelo auxílio, lendo e apontando erros na confecção deste trabalho.

A Adail, Tchaikowsky e aos professores Damásio e Soahd por acreditarem na minha competência e torcerem por mim.

RESUMO

Este trabalho apresenta um panorama dos recursos eólicos do Brasil, por região, a partir das condições climáticas e sazonalidades que ilustram a complementaridade entre o potencial eólico e o hídrico brasileiro. É evidenciada a excelente qualidade e potencia dos ventos no Brasil através do mapeamento do regime dos ventos, bem como o potencial eólico do país, também por região. São analisadas questões de mercado mundial nos últimos anos e os fatores e políticas que incentivam a geração de energia eólica, com foco principal no Brasil, onde se observa um grande crescimento da capacidade eólica instalada. No âmbito nacional, é descrito também o cenário da geração no que diz respeito aos incentivos fiscais e econômicos concedidos pelo governo para promover o desenvolvimento interno da energia eólica. Foi analisado o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétricas (PROINFA), relacionado aos leilões realizados nos anos de 2014 e 2015, comparando os preços da energia eólica contratada em ambos os casos.

Palavras-chave: ventos, energia eólica, mercado eólico, geração de energia.

ABSTRACT

This paper presents an overview of wind resources in Brazil, divided by region, based on climate conditions and seasonality as way of illustrate complementarity between the Brazilian wind and hydrous potential. It is highlighted the excellent quality and power of the winds in Brazil through the winds regime mapping, as well as the Eolic potential of the country, also by region. Global market issues in recent years are analyzed as well as the factors and policies that encourage wind energy generation, worth noticing the large growth in this kind of industry. This paper also describes the scenery of wind power generation in relation to tax and economic incentives granted by the government to promote domestic development. The Program to Alternative Sources of Electric Energy (PROINFA) was analyzed, relating the auctions conducted in the years 2014 and 2015, comparing the prices of wind energy contracted in both cases.

Keywords: wind, wind power, wind market, power generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formação dos ventos devido ao deslocamento de massa.	14
Figura 2 – Comportamento do vento sob a influência das características do terreno.	16
Figura 3 – Escoamento na zona que envolve o obstáculo.	16
Figura 4 – Efeito de esteira.	17
Figura 5 – Configuração das turbinas em um parque eólico.	17
Figura 6 – Médias climatológicas sazonais de temperatura, precipitação e velocidade de vento sobre o Brasil.	19
Figura 7 – Regimes de vento e fluxo de potência eólica no Brasil.	22
Figura 8 – Representação do potencial eólico disponível no Brasil.	24
Figura 9 – Capacidade eólica total instalada 2012-2016.	29
Figura 10 – MW contratados.	35
Figura 11 – Preço médio (R\$/MWh).	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potência instalável por faixas de velocidades do vento por região.....	23
Tabela 2 – Estimativo do potencial eólico disponível no Brasil.....	24
Tabela 3 – Classificação dos mercados eólicos.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
LEE	Leilão de Energia Existente
LEN	Leilão de Energia Nova
LER	Leilão de Energia de Reserva
LFA	Leilão de Fontes Alternativas
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RPS	Renewable Portfolio Standard
WWEA	World Wind Energy Association

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
Abstract	vii
Lista de Ilustrações.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas	x
Sumário	xi
1 Introdução.....	12
2 Recurso Eólico	14
2.1 Geração dos ventos	14
2.2 Fatores que influenciam o regime dos ventos	15
2.2.1 Obstáculos	16
2.2.2 Efeitos de esteira.....	17
2.2.3 Vento no mar	17
2.2.4 Clima e sazonalidade no Brasil.....	18
2.3 Regimes de ventos sobre o Brasil	19
2.4 Potencial eólico brasileiro.....	21
3 Mercado de energia eólica.....	26
3.1 Panorama mundial	26
3.2 Políticas e incentivos.....	29
4 Geração de energia eólica no Brasil	32
4.1 PROEÓLICA	33
4.2 PROINFA	33
4.3 Leilões para energia eólica.....	34
5 Conclusão	36
Referências	37

1 INTRODUÇÃO

A inserção de fontes renováveis complementares na matriz energética de um país é um tópico de grande importância na atualidade. O crescimento da demanda de energia elétrica mundial traz preocupação com aspectos essenciais para o planejamento energético como, por exemplo, a segurança no suprimento de energia e os custos ambientais para atender o aumento no consumo de energia.

A segurança no suprimento de energia está associada ao esgotamento das reservas de petróleo e ao aumento no preço dos combustíveis fósseis. Fatores ambientais também podem reduzir a segurança energética: grandes períodos de estiagem afetam a produção de biomassa e a geração hidroelétrica.

A disponibilidade energética deveria se manter compatível com o aumento do consumo, ao mesmo tempo em que as fontes tradicionais de geração de energia elétrica teriam que ser substituídas por alternativas menos agressivas ao meio ambiente, ou seja, reduzir o impacto ambiental sem comprometer o crescimento econômico.

Existem muitas controvérsias acerca do impacto da atividade humana sobre o aumento da temperatura do planeta, motivadas pelo fato de que o planeta possui ciclos naturais de aquecimento e resfriamento. No entanto, pesquisas recentes confirmam, que apesar das variações naturais do clima, o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE), causadas pela atividade humana, está alterando significativamente o clima terrestre (IPCC, 2007).

A principal fonte de emissão dos GEE é a queima de combustíveis fósseis e a busca por alternativas que atenuem esse problema se faz necessária. O foco no tocante a produção de energia elétrica é atingir a diversificação, bem como, uma matriz energética limpa.

A adoção de fontes renováveis complementares minimiza os impactos causados por crises no mercado de combustíveis fósseis ou por instabilidades climáticas e promove o desenvolvimento sustentável.

Dentre as fontes renováveis, a energia eólica é aquela obtida a partir do movimento (energia cinética) gerado pela migração das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta.

A energia eólica já é utilizada há anos para finalidades variadas. Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente com a crise internacional do petróleo, na década de 70, e posteriormente com o aumento da discussão sobre o aquecimento global, é que houve investimento suficiente para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de tecnologias em escala comercial.

No Brasil, a primeira turbina de energia eólica foi instalada em Fernando de Noronha, em 1992. Dez anos depois, o governo criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), incentivando a utilização de outras fontes, como eólica, solar, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).

Posteriormente, foi definido pela Lei nº 10.848/2004 que a contratação de energia elétrica para cobertura do consumo no ambiente regulado e para formação de lastro de reserva deverá ser feita através de leilões públicos específicos.

Deste modo, no presente trabalho será apresentado um estudo sobre o mercado e a geração de energia eólica no Brasil.

O trabalho se divide em quatro capítulos, sendo o Capítulo 1 a introdução.

O Capítulo 2 apresenta a análise do recurso eólico, mecanismos de geração e fatores que influenciam o regime dos ventos, bem como os regimes de ventos sobre o Brasil e seu potencial eólico.

O Capítulo 3 abrange as questões do mercado de energia eólica, políticas e incentivos fiscais e econômicos.

O Capítulo 4 apresenta como é realizada a geração de energia eólica no Brasil, bem como o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), o PROINFA e os novos leilões.

2 RECURSO EÓLICO

Os ventos são gerados por diferenças de pressão (aquecimento não uniforme) ao longo da superfície terrestre, devido à radiação solar recebida na Terra ser maior nas zonas equatoriais do que nas zonas polares. A energia eólica é, portanto, proveniente da radiação solar.

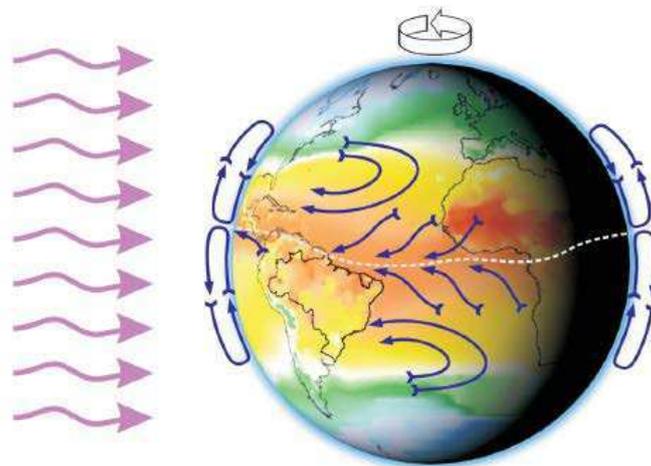
Os ventos são influenciados por diferentes aspectos como, por exemplo, a altura, a rugosidade, os obstáculos e o relevo.

Uma avaliação correta do potencial eólico para produção de energia elétrica tem que se basear em medidas de vento efetuadas especificamente para esse propósito, a seguir será descrito os mecanismos de geração dos ventos e os principais fatores de influência no regime dos ventos de uma região.

2.1 GERAÇÃO DOS VENTOS

A não uniformidade no aquecimento da atmosfera se deve, entre outros fatores, à orientação dos raios solares e ao movimento da Terra. O ar quente nas baixas altitudes das zonas equatoriais tende a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais fria que se desloca das zonas polares. Esse deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos, como é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Formação dos ventos devido ao deslocamento de massa.



Fonte: CEPEL, 2001.

Existem ventos que jamais cessam. Os mecanismos que os produzem (aquecimento no equador e resfriamento nos polos) estão sempre presentes na natureza. São chamados de ventos planetários ou constantes, e podem ser classificados em:

- Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes;
- Contra-Alísios: ventos que sopram do Equador para os polos, em altas altitudes;
- Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os polos;
- Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

Variações sazonais na distribuição de radiação solar recebida na Terra resultam em variações sazonais na intensidade e duração dos ventos, resultando em ventos continentais ou periódicos e compreendem as monções e as brisas, como segue:

- Monções: ventos periódicos que mudam de direção, aproximadamente, a cada seis meses. Geralmente, sopram em direções diferentes, dependendo da estação do ano;
- Brisas: ventos periódicos relacionados com a diferença de temperatura entre a terra e a água do mar, formando correntes de ar que sopram do mar para o continente (brisa marítima) e vice-versa (brisa terrestre).

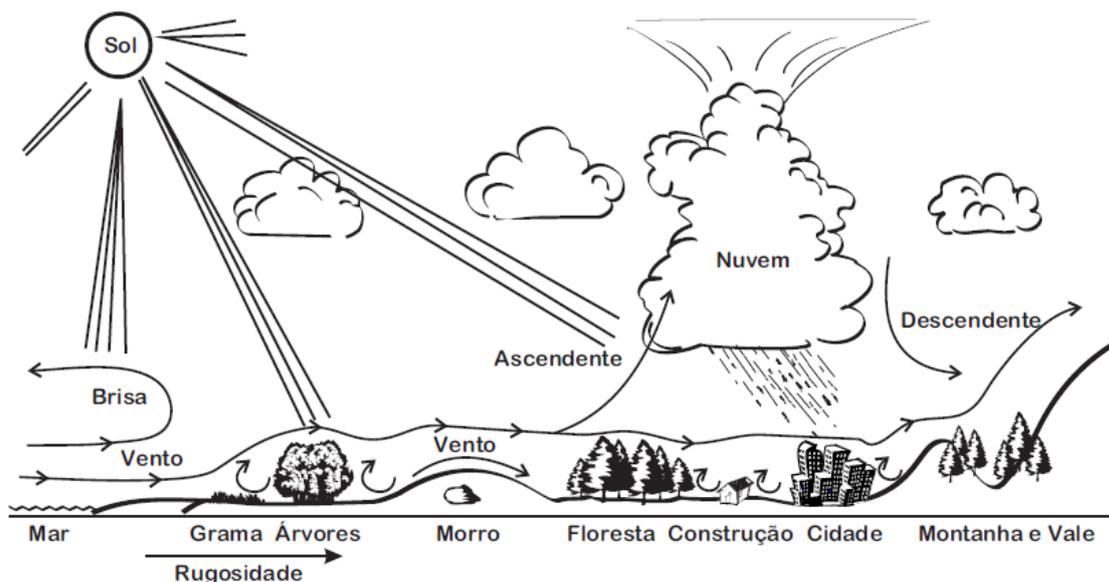
Ainda sobre a geração dos ventos, existem os *ventos locais*, que são originados por mecanismos específicos como, por exemplo, ventos observados em vales e montanhas resultantes das condições locais.

2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM O REGIME DOS VENTOS

O vento se comporta de maneira aleatória ao longo do dia, influenciado pela variação da velocidade e direção ao longo do tempo. As características topográficas de uma região e a rugosidade do solo também influenciam o comportamento dos ventos.

A Figura 2 ilustra, de forma genérica, como os ventos se comportam quando estão sob a influência das características da superfície do solo.

Figura 2 – Comportamento do vento sob a influência das características do terreno.



Fonte: CEPEL, 2001.

2.2.1 OBSTÁCULOS

Edifícios, árvores, formações rochosas têm uma influência significativa na diminuição da velocidade do vento, e são fontes de turbulência na sua vizinhança.

A Figura 3 ilustra o modo como o escoamento é afetado na área que envolve o obstáculo.



Fonte: <http://docplayer.com.br/docs-images/27/10518961/images/42-0.png>
Acessado em 26/10/2016.

Verifica-se que a zona turbulenta pode estender até cerca de três vezes a altura do obstáculo, sendo mais intensa na parte de trás do que na parte da frente do obstáculo.

Sempre que os obstáculos se encontrem a menos de 1 km medido segundo uma das direções predominantes, eles influenciam no projeto de instalação de turbinas.

2.2.2 EFEITOS DE ESTEIRA

Como a turbina eólica produz energia mecânica através da energia do vento incidente, na parte traseira da turbina forma-se uma esteira de vento turbulento e com velocidade reduzida. A Figura 4 ilustra a situação descrita.

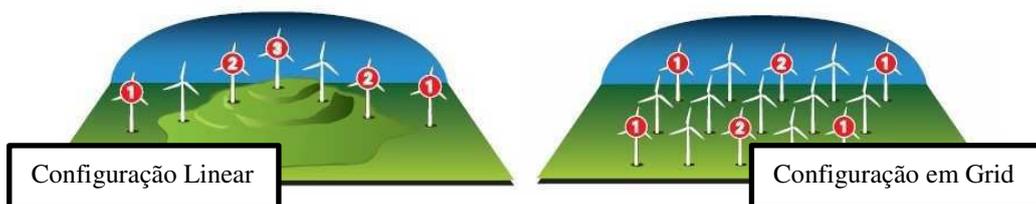
Figura 4 – Efeito de esteira.



Fonte: CASTRO, 2003.

É por esta razão que as turbinas em um parque eólico têm de ser dispostas de modo criterioso (Figura 5). É comum instalar as turbinas de uma distância entre cinco e nove diâmetros na direção preferencial do vento e entre três e cinco diâmetros na direção perpendicular (CASTRO, 2003). Entretanto, mesmo assim, a energia perdida devido ao efeito de esteira é de cerca de 5%.

Figura 5 – Configuração das turbinas em um parque eólico.



Fonte: Adaptação de <http://www.windpowerengineering.com/maintenance/safety/guidelines-obstruction-lighting-wind-farms/>
Acessado dia 26/10/2016.

2.2.3 VENTO NO MAR

O vento no mar (*offshore*) apresenta condições particulares. A rugosidade do mar apresenta baixos valores, fazendo com que a variação da velocidade do vento com a

altura seja pequena, bem como, o vento no mar é normalmente, menos turbulento do que em terra, o que torna a vida útil das turbinas mais longas. Entretanto, as instalações *offshore* têm maior custo de transporte, instalação e manutenção.

A indústria eólica tem investido no desenvolvimento tecnológico de turbinas eólicas convencionais para uso marítimo. Além do desenvolvimento tecnológico, os projetos *offshore* necessitam de estratégias especiais quanto ao tipo de transporte das máquinas, sua instalação e operação.

2.2.4 CLIMA E SAZONALIDADE NO BRASIL

Pela sua extensão em latitude, o Brasil apresenta diferentes climas que variam do equatorial (úmido e semiúmido), na região Norte, ao subtropical, na região Sul.

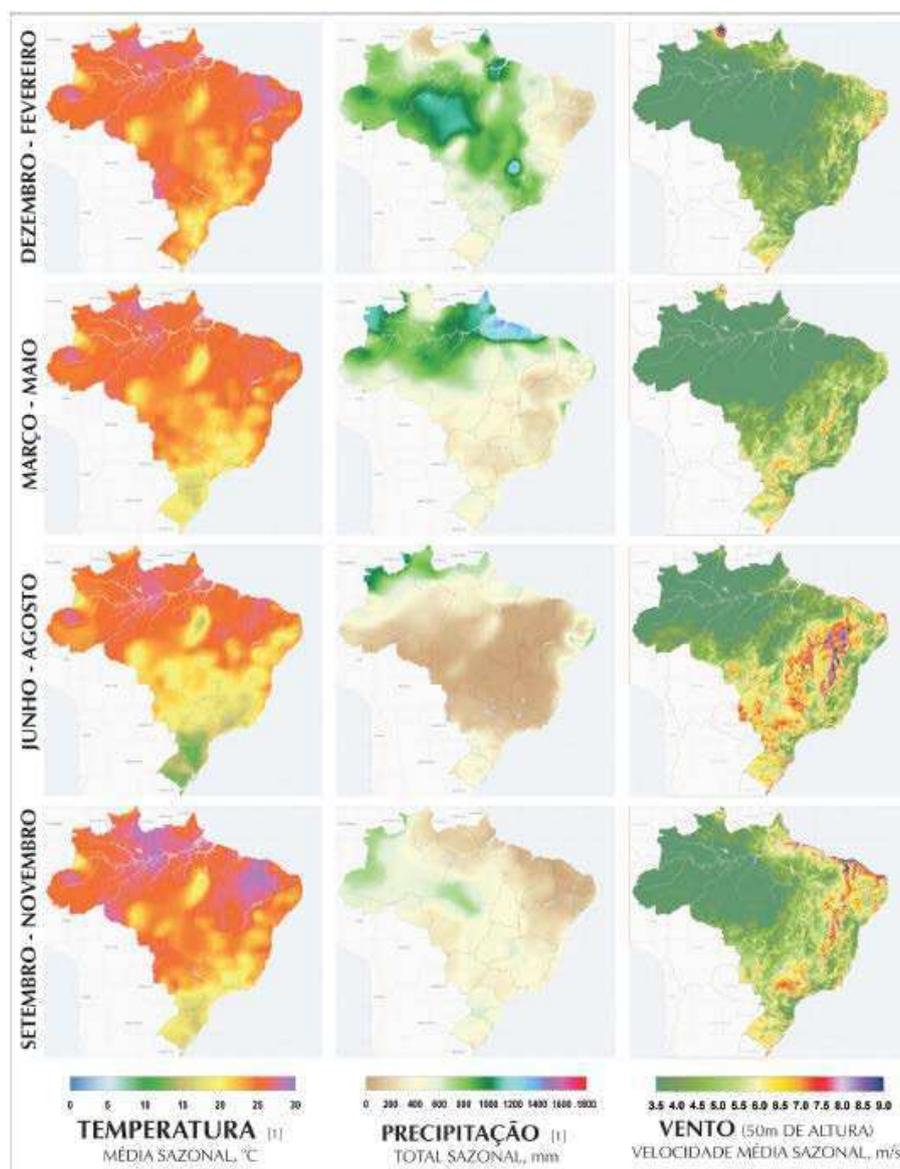
A Figura 6 ilustra as médias climatológicas sazonais de temperatura e precipitação. Elas demonstram os diferentes tipos de clima e suas sazonalidades em nosso país.

O Norte do Brasil é a região da Floresta Amazônica, dominado pelo clima equatorial úmido e onde ocorre a maior intensidade pluviométrica, para onde convergem os ventos de superfície gerados em dois hemisférios terrestres.

O clima tropical abrange desde o Maranhão até partes de São Paulo, incluindo Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, partes do Nordeste e estados como Goiás e Tocantins. É caracterizado por chuvas com sazonalidade bem definida e desempenha importante papel energético no sistema elétrico brasileiro, de geração predominantemente hidráulica, pois suas principais bacias de aproveitamento têm origem nessa região.

No Sertão nordestino destaca-se um enclave de clima semiárido com longas estiagens de mais de oito meses por ano, com temperaturas médias anuais elevadas. A região Sul é dominada pelo clima subtropical com temperaturas médias anuais baixas e chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

Figura 6 – Médias climatológicas sazonais de temperatura, precipitação e velocidade de vento sobre o Brasil.



Fonte: CEPEL, 2001

As velocidades médias sazonais de vento foram adicionadas à Figura 6 para ilustrar a complementaridade sazonal entre o potencial eólico e o hídrico, sendo este último fundamentalmente associado à precipitação pluviométrica.

2.3 REGIMES DE VENTOS SOBRE O BRASIL

A distribuição geral dos ventos sobre o Brasil é controlada pelos aspectos da circulação geral planetária da atmosfera próxima como, por exemplo, os sistemas de alta

pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Atlântico Norte e a faixa de baixas pressões da Depressão Equatorial.

Uma síntese das características em menores escalas sobre a distribuição dos regimes de vento é apresentada a seguir, organizada em sete regiões geográficas (adaptado de CEPEL, 2001):

- A Bacia Amazônica Ocidental e Central: as velocidades médias anuais de vento a 50 m de altura através dessa região são inferiores a 3,5 m/s. O escoamento atmosférico predominante de leste (alísios) sobre essa região é bastante reduzido pelo atrito de superfície associado à longa trajetória sobre florestas densas e pelos gradientes fracos de pressão associados à zona difusa de baixas pressões centrada nessa;
- A Bacia Amazônica Oriental: a Depressão Equatorial permanece geralmente próxima a essa região, a qual é dominada por ventos alísios de leste a nordeste, em sua porção norte, e leste a sudeste, em sua porção sul. O vento médio anual é geralmente inferior a 3,5 m/s devido à proximidade dos gradientes fracos de pressão associados à Depressão Equatorial e ao elevado atrito de superfície causado pela rugosidade da vegetação densa;
- A Zona Litorânea Norte-Nordeste: nessa região, os ventos são controlados primariamente pelos alísios de leste e brisas terrestres e marinhas. Essa combinação das brisas diurnas com os alísios de leste resulta em ventos médios anuais entre 5 m/s e 7,5 m/s na parte norte dessa região (litorais do Amapá e Pará) e entre 6 m/s a 9 m/s em sua parte sul, que abrange os litorais do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte;
- A Zona Litorânea Nordeste-Sudeste: as velocidades médias anuais decrescem de 8-9 m/s na porção norte (Rio Grande do Norte) até 3,5 m/s a 6m/s sobre a maioria da costa que se estende até o Sudeste;
- As Elevações Nordeste-Sudeste: velocidades médias anuais de 6,5 m/s até 8 m/s devem ser encontradas nos cumes das maiores elevações da Chapada Diamantina e da Serra do Espinhaço. Essas áreas de maiores velocidades ocorrem em forma localizada;

- O Planalto Central: a velocidade média anual na região situa-se geralmente entre 4 m/s e 6 m/s;
- Os Planaltos do Sul: velocidades médias anuais de 5,5 m/s a 6,5 m/s sobre grandes áreas da região. Os ventos mais intensos estão entre 7 m/s e 8 m/s e ocorrem nas maiores elevações montanhosas do continente, bem como em planaltos de baixa rugosidade, como os Campos de Palmas.

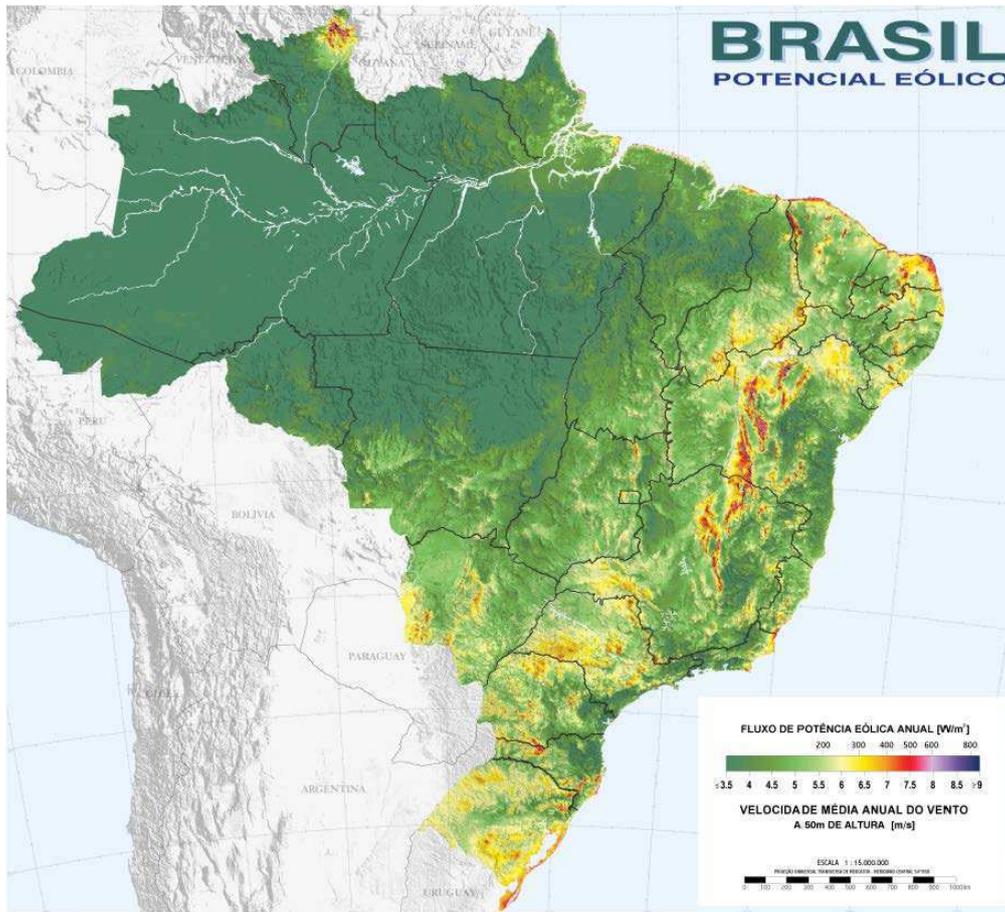
2.4 POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

Devido a grande extensão territorial do Brasil, o monitoramento do potencial eólico sempre foi uma questão de difícil solução. Não há estações meteorológicas suficientes para cobrir todo o território brasileiro e, além disso, os dados coletados para fins da avaliação do potencial eólico foram perdendo representatividade ao longo dos anos devido ao crescimento demográfico e às alterações na vegetação próximas.

Atualmente, o *MesoMap* é utilizado como um ferramenta que simula a dinâmica atmosférica dos regimes de vento e variáveis meteorológicas correlatas, a partir de amostragens representativas de dados validados de pressão atmosférica. O sistema inclui condicionantes geográficos como o relevo, rugosidade induzida por classes de vegetação e uso do solo, interações térmicas entre a superfície terrestre e a atmosfera, incluindo os efeitos do vapor de água (CEPEL, 2001).

O resultado dessas simulações é apresentado na Figura 7 por código de cores, representando os regimes de vento e fluxo de potência eólica em uma altura de 50 metros.

Figura 7 – Regimes de vento e fluxo de potência eólica no Brasil.



Fonte: CEPEL, 2001.

Por meio da integração dos mapas digitais, utilizando-se recursos de geoprocessamento e cálculos de desempenho e produção de energia elétrica a partir de curvas de potência de turbinas eólicas existentes no mercado, chegou-se aos valores listados na Tabela 1 (CEPEL, 2001).

Tabela 1 – Potência instalável por faixas de velocidades do vento por região.

Região	Integração por faixas de velocidades				
	Vento [m/s]	Área [km ²]	Potência instalável [GW]	Fator de capacidade	Energia anual [TWh/ano]
Norte	6 – 6,5	11460	22,92	0,13	25,58
	6,5 – 7	6326	12,65	0,17	18,46
	7 – 7,5	3300	6,60	0,20	11,33
	7,5 – 8	1666	3,33	0,25	7,15
	8 – 8,5	903	1,81	0,30	4,65
	> 8,5	551	1,10	0,35	3,31
Nordeste	6 – 6,5	146589	293,18	0,13	327,19
	6,5 – 7	60990	121,98	0,17	178,02
	7 – 7,5	24383	48,77	0,20	83,73
	7,5 – 8	9185	18,37	0,25	39,43
	8 – 8,5	30,88	6,18	0,30	15,91
	> 8,5	870	1,74	0,35	5,25
Centro-Oeste	6 – 6,5	41110	82,22	0,13	91,76
	6,5 – 7	8101	16,20	0,17	23,65
	7 – 7,5	1395	2,79	0,20	4,79
	7,5 – 8	140	0,28	0,25	0,60
	8 – 8,5	6	0,01	0,30	0,03
	> 8,5	0	0,00	0,35	0,00
Sudeste	6 – 6,5	114688	229,38	0,13	255,99
	6,5 – 7	46302	92,60	0,17	135,15
	7 – 7,5	11545	23,09	0,20	39,64
	7,5 – 8	2433	4,87	0,25	10,44
	8 – 8,5	594	1,19	0,30	3,06
	> 8,5	297	0,59	0,35	1,78
Sul	6 – 6,5	121798	243,60	0,13	271,86
	6,5 – 7	38292	76,58	0,17	111,77
	7 – 7,5	9436	18,87	0,20	32,40
	7,5 – 8	1573	3,15	0,25	6,75
	8 – 8,5	313	0,63	0,30	1,61
	> 8,5	57	0,11	0,35	0,34

Fonte: CEPEL, 2001.

A partir desses resultados, estimou-se um potencial disponível da ordem de 143 GW, conforme é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativo do potencial eólico disponível no Brasil.

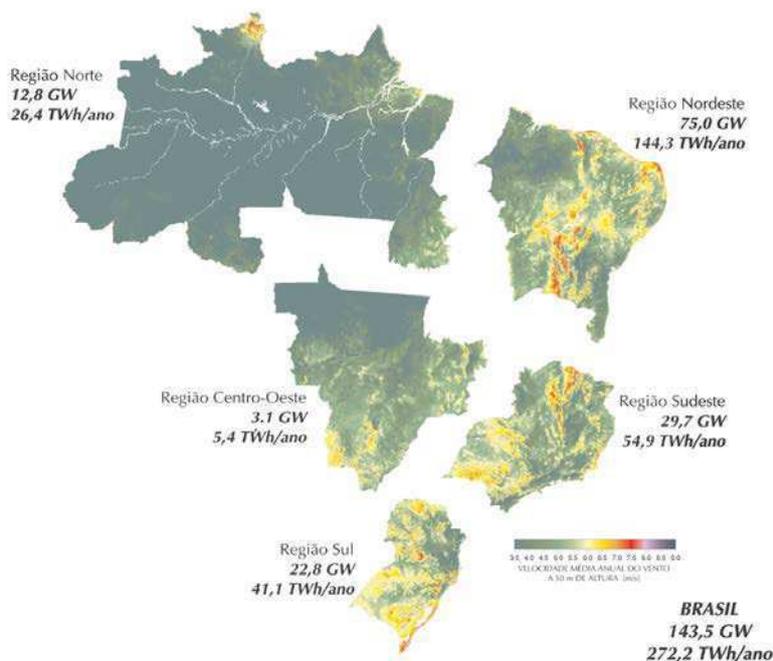
Região	Integração cumulativa			
	Vento [m/s]	Área [km ²]	Potência instalável [GW]	Energia anual [TWh/ano]
Norte	> 7	6420	12,84	26,45
Nordeste	> 7	37526	75,05	144,29
Centro-Oeste	> 7	1541	3,08	5,42
Sudeste	> 7	14869	29,74	54,93
Sul	> 7	11379	22,76	41,11
TOTAL	> 7	71735	143,47	272,20

Fonte: Adaptação de CEPEL, 2001.

É importante notar que o potencial eólico no Nordeste é elevado, com 52,3% da potência instalável.

Os resultados da Tabela 2 podem ser visualizados, também, a partir da Figura 8.

Figura 8 – Representação do potencial eólico disponível no Brasil.



Fonte: CEPEL, 2001.

A excelente qualidade e potência dos ventos, principalmente na costa do Nordeste, associado com as políticas de incentivo por parte do governo, fazem com que o Brasil desperte interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com a energia eólica.

3 MERCADO DE ENERGIA EÓLICA

As crises financeiras dos últimos anos representaram um grande desafio para o setor de geração de energias renováveis, principalmente para eólica. A crise afeta o mercado de energia eólica diminuindo os custos na maioria dos setores, incluindo tecnologia *onshore*, porém os custos de financiamento aumentam e o investimento no setor diminui.

As instituições públicas desempenham papel importante na recuperação do setor. Com acesso ao capital em condições favoráveis e empréstimos com baixas taxas de juros, bancos ajudaram a financiar investimentos e projetos em energias renováveis.

Outros fatores que auxiliaram na mudança do cenário foram os estímulos dos governos com aprovações de leis e políticas incentivando as tecnologias para geração de energia limpa.

3.1 PANORAMA MUNDIAL

Apesar da crise econômica mundial, as novas instalações de energia eólica no primeiro semestre de 2016 chegaram a 21.714 MW, quase 22 GW, com uma capacidade total instalada de 456.486 MW. Esses dados podem ser observados através da Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos mercados eólicos.

Posição	País/Região	Capacidade					
		Adic. primeiro semestre 2014 [MW]	Total (fim 2014) [MW]	Adic. primeiro semestre 2015 [MW]	Total (fim 2015) [MW]	Adic. primeiro semestre 2016 [MW]	Total (junho 2016) [MW]
1	China	7.175	114.763	10.101	148.000	10.000	158.000
2	Estados Unidos	835	65.754	1.994	73.867	830	74.696
3	Alemanha	1.830	40.468	1.991	45.192	2.389	47.420
4	Índia	1.112	22.465	1.297	24.759	2.392	27.151
5	Espanha	-	22.987	-	22.987	-	22.987
6	Reino Unido	649	12.440	872	13.614	320	13.940
7	Canadá	723	9.694	510	11.205	109	11.298
8	França	338	9.296	523	10.293	568	10.861
9	Brasil	1.301	5.962	838	8.715	1.095	9.810
10	Itália	30	8.663	124	8.958	143	9.101
11	Suécia	354	5.425	157	6.029	309	6.338
12	Polônia	337	3.834	283	5.100	200	5.300
13	Turquia	466	3.763	431	4.718	428	5.146
14	Dinamarca	83	4.883	76	5.064	25	5.089
15	Portugal	105	4.953	-	5.034	6	5.040
	Resto do Mundo	2.275	35.968	2.600	41.409	2.900	44.309
	TOTAL	17.613	371.317	21.678	434.944	21.714	456.486

Fonte: Adaptação de WWEA, 2016.

China, EUA, Alemanha, Índia e Espanha representam 67% da capacidade eólica global. Em termos de nova capacidade instalada, EUA e Espanha tiveram uma participação muito pequena, uma vez que representam menos de 4% do mercado, enquanto que a Alemanha e Índia mostraram um aumento no número de novas instalações. As instalações na China foram semelhantes ao do ano anterior.

Apenas quatro países instalaram mais de 1 GW no primeiro semestre de 2016: China com 10 GW, Índia com 2,4 GW, Alemanha, também com 2,4 GW e Brasil, com 1,1 GW. Metade dos mercados tiveram um desempenho melhor que 2015, dentre eles, o

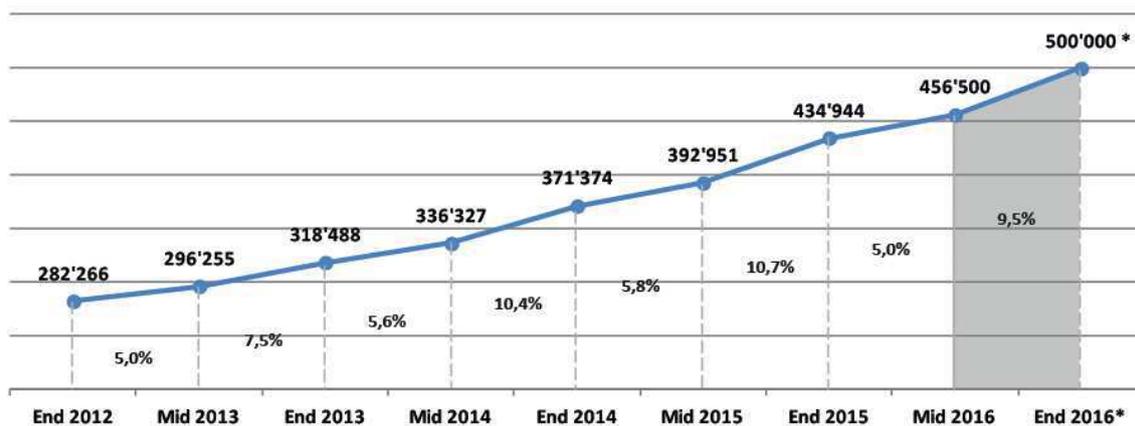
Brasil, sendo considerado o mercado que mais cresceu em 24 meses, com 106%, seguido da china com 60%.

De acordo com o relatório de 2016 da WWEA, a instalação de novas turbinas eólicas por região se encontra da seguinte forma:

- Europa: continua reduzindo sua participação mundial, com 33% no final de junho de 2016. Os mercados europeus mostraram um quadro semelhante ao do primeiro semestre de 2015: Alemanha, França e Itália aumentam pelo segundo ano consecutivo suas novas instalações enquanto que o Reino Unido diminui drasticamente de 872 MW para 320 MW. Um número recorde de instalações é esperado até o fim de 2016 na Alemanha, já que a partir de 2017 será introduzido um novo sistema de leilões, o que deverá levar uma queda no mercado pelos próximos anos;
- Ásia: China e Índia dominam o mercado. China tem sido, de longe, o maior mercado eólico do mundo, com uma capacidade instalada de 158 GW, o que corresponde 46% do mercado mundial. Índia praticamente dobrou sua capacidade instalada, de 1,3 GW no primeiro semestre de 2015, para 2,4 GW. Japão e Coreia continuam a crescer a taxas pequenas;
- América do Norte: o mercado americano teve uma metade de ano difícil, mas com a extensão do Crédito de Imposto de Produção (*Production Tax Credit*) no fim de 2015, existe mais de 12,5 GW de potencia eólica em construção. Canadá instalou, durante o primeiro semestre de 2016, apenas metade do que havia instalado no mesmo período em 2015, totalizando 109 MW;
- América Latina: O Brasil é o maior mercado dessa região e agora ocupa a 9ª posição em todo o mundo. Instalou 1,1 GW no primeiro semestre de 2016 e atingiu uma capacidade total de 9.810 GW, com uma taxa de crescimento de 12,5%. O Brasil deve permanecer como mercado líder na região, podendo alcançar a 6ª posição em todo o mundo antes de 2018.

A capacidade eólica global cresceu 5% em seis meses (após 5,8% no mesmo período em 2015 e 5,6% em 2014), como ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Capacidade eólica total instalada 2012-2016.



Fonte: WWEA, 2016.

Estima-se que no segundo semestre de 2016, uma capacidade adicional de 40 GW será instalada no mundo, o que traria novas instalações anuais de pelo menos 65 GW, adicionando apenas 1,5 GW a mais que no ano anterior. A capacidade eólica total instalada deverá atingir 500 GW até o final desse ano (WWEA, 2016).

3.2 POLÍTICAS E INCENTIVOS

Planos e incentivos fiscais e econômicos são necessários e fazem parte da política pública para impulsionar o desenvolvimento do mercado de energias renováveis. São ferramentas de extrema importância, podendo ser direcionadas para estimular tecnologias e impactar o mercado da maneira desejada. Os principais instrumentos destas políticas são:

- Sistema *Feed-in*: usado inicialmente na Europa e depois propagado pelo mundo, este sistema determina um preço mínimo que a concessionária irá pagar pela energia elétrica gerada pelo produtor, quando este conecta sua usina na rede. Em certas ocasiões ele pode ser também o valor total recebido pelo produtor incluindo subsídios e/ou taxas de reembolso ou prêmio pago adicionalmente ao preço de mercado da energia (DUTRA, 2007);
- Sistema de Cotas com Certificados Verdes: conhecido como *Renewable Portfolio Standard (RPS)* ou Meta de Energia Renovável (*Renewable Energy Targets*), está baseado na determinação de que uma cota de

geração de energia elétrica vendida deva ser gerada por fontes alternativas de energia. Esta obrigação é imposta normalmente sobre o consumo (frequentemente através das empresas distribuidoras de energia), mas a obrigação também pode ser aplicada sobre a produção. Os Certificados Verdes adquiridos com esse tipo de geração podem ser comercializados no mercado, promovendo assim receita adicional às vendas de energia (COSTA, 2006);

- Sistema de Leilão: é o mais competitivo, onde o regulador define uma quantidade de energia de geração de fontes renováveis para ser comprada e organiza um leilão para sua venda, de modo a gerar uma competição entre os produtores. As propostas são então classificadas em ordem crescente de custo até que se alcance o montante a ser contratado, e a concessionária de energia fica então obrigada, através de um contrato de longo prazo, a pagar aos produtores vencedores o montante previamente estipulado pelo valor resultante do leilão (DUTRA, 2007).

Também são comuns outros tipos de incentivos fiscais e econômicos baseados no investimento inicial do projeto e/ou sua vida útil.

- Incentivos fiscais de investimento: créditos ou dedução de imposto para uma fração do investimento realizado ou no custo de equipamentos e instalação de sistemas;
- Incentivos fiscais de produção: crédito ou deduções de imposto a uma taxa definida por kW/h produzida por instalações de energia renovável;
- Redução de imposto sobre propriedade: proprietários de terrenos ou imóveis utilizados para produção de energias renováveis podem ter os impostos reduzidos ou eliminados;
- Redução do Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA): Reduz ou isenta imposto do valor acrescentado entre a compra de insumos e a venda de produtores de energias renováveis;
- Redução de impostos de importação: redução ou eliminação de impostos sobre produtos e materiais importados usados em usinas de energia renovável;

- Depreciação acelerada: permite investidores em plantas de energia renovável depreciar seus equipamentos em uma taxa mais rápida que a normal permitida, reduzindo o rendimento declarado para efeito de imposto de renda;
- Créditos para pesquisa, desenvolvimento e fabricação de equipamentos: créditos oferecidos para instituições de desenvolvimento em energia renovável, incluindo pesquisas e processo de fabricação;
- Investimento público, empréstimos ou doações: mecanismo de apoio financeiro que permite o desenvolvimento de projetos de infraestrutura através do uso de fundos, empréstimos e outras opções de financiamentos públicos;
- Imposto sobre combustíveis convencionais: imposto sobre o consumo de energias não renováveis como, por exemplo, combustíveis fósseis.

Estas políticas de incentivos fiscais e econômicos estimulam tanto o setor privado em investir e produzir energia eólica, quanto o consumidor final em consumi-la.

Condições econômicas, licenciamento ambiental, qualidade e disponibilidade de equipamentos e conhecimento técnico também são determinantes no desenvolvimento da energia eólica.

4 GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Com a finalidade de possibilitar a expansão da fonte eólica na matriz energética nacional, o governo procura estabelecer algumas ações visando desenvolver a tecnologia, como a internalização da tecnologia e consolidação da indústria eólica nacional de fornecimento de componentes e montagem; a participação da iniciativa privada; e o aprimoramento da legislação, do conhecimento da fonte primária e de sua interação energética com um parque gerador de base hidráulica (EPE, 2009).

Ainda que inúmeras iniciativas de aproveitamentos da energia eólica tenham sido implantadas no país nos últimos anos, a capacidade eólica instalada é reduzida em relação ao imenso potencial eólico brasileiro.

O segmento da geração de energia elétrica no Brasil pode ser classificado como um ambiente de competição controlada, onde um novo agente gerador necessita obter autorização ou concessão do poder público para entrar no sistema elétrico. Essas concessões geralmente são feitas através de licitações públicas, cujo critério preponderante de julgamento é o menor preço para energia destinada ao atendimento do consumidor regulado (CHAVES, 2010). O agente gerador pode comercializar sua energia em dois ambientes de mercado:

Ambiente de Contratação Regulada (ACR):

Garantem mais proteção aos consumidores de menor porte, com tarifas reguladas e modicidade tarifária, a contratação no ACR é realizada através de contratos bilaterais regulados entre os agentes vendedores e compradores, que participam dos leilões de compra e venda de energia.

A energia adquirida pelos agentes de distribuição neste ambiente pode ser proveniente dos leilões de compra de energia, de geração distribuída, usinas que produzem energia elétrica a partir de fontes renováveis contratadas na primeira etapa do PROINFA (eólicas, PCHs e biomassa) ou de Itaipu Binacional.

As concessionárias distribuidoras devem garantir o atendimento à totalidade de seu mercado, realizando licitações na modalidade de leilão, onde o critério de menor tarifa é utilizado pra definir os vencedores.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) poderá promover também leilões específicos para a contratação de ajustes pelos agentes distribuidores, a fim de

complementar o montante de energia necessário para atender a carga demandada, não excedendo 1% da carga total já contratada. Os Leilões de Ajuste têm prazo de início de suprimento de, no máximo, quatro meses e por períodos máximos de dois anos.

Ambiente de Contratação Livre (ACL):

Concebido para assegurar a concorrência e a liberdade efetiva dos consumidores livres, onde tem predominância os grandes consumidores. Ocorre a livre negociação entre os agentes geradores, comercializadores, consumidores livres, importadores e exportadores de energia. As transações são realizadas através de contratos bilaterais.

4.1 PROEÓLICA

Definido em Lei como um programa que prevê incentivos que asseguram por quinze anos a compra, pela Eletrobras, da energia produzida pelas Usinas Eólicas que entrassem em operação até dezembro de 2003. Objetivava, também, promover o aproveitamento dessa fonte de energia como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental através de ações que pudessem viabilizar, até dezembro de 2003, a implantação de 1.050 MW de geração de energia elétrica a partir da eólica (ALVES, 2009).

O PROEÓLICA não viabilizou a entrada emergencial de novos projetos eólicos, mas favoreceu a entrada de muitas empresas internacionais que atuam na promoção das fontes renováveis, gerando assim a necessidade da estruturação de uma legislação para efetivar o desenvolvimento do mercado de energias renováveis no Brasil.

4.2 PROINFA

O PROINFA conta com o suporte do BNDES, que criou um programa de apoio a investimentos em fontes alternativas renováveis de energia elétrica. A linha de crédito prevê financiamento de até 70% do investimento, excluindo apenas bens e serviços importados e a aquisição de terrenos. Os investidores terão que garantir 30% do projeto com capital próprio.

A Eletrobras, no contrato de compra de energia de longo prazo, assegurará ao empreendedor uma receita mínima de 70% da energia contratada durante o período de financiamento e proteção integral quanto aos riscos de exposição do mercado de curto

prazo. Os contratos têm duração de vinte anos e tomam como base a energia de referência de cada central geradora, sendo que os pagamentos aos produtores de energia elétrica serão feitos em contrapartida à energia efetivamente gerada.

O preço da energia contratada da central eólica no PROINFA tem como base o valor econômico correspondente à tecnologia específica da sua fonte, tendo como piso 90% da Tarifa Média Nacional de Fornecimento ao Consumidor Final nos últimos doze meses. O valor econômico correspondente à tecnologia específica da fonte é o valor da venda de energia elétrica para a Eletrobras que viabiliza econômica e financeiramente um projeto-padrão utilizando esta fonte num período de 20 anos.

A ANEEL aprovou as quotas de energia e de custeio do PROINFA para 2015. A previsão de geração de energia das usinas integrantes do PROINFA é de 11,1 milhões de MWh, com redução de 0,44%, em relação a 2014; e o valor total de custeio é estimado R\$ 2,7 bilhões, 4,28% menor que o deste ano.

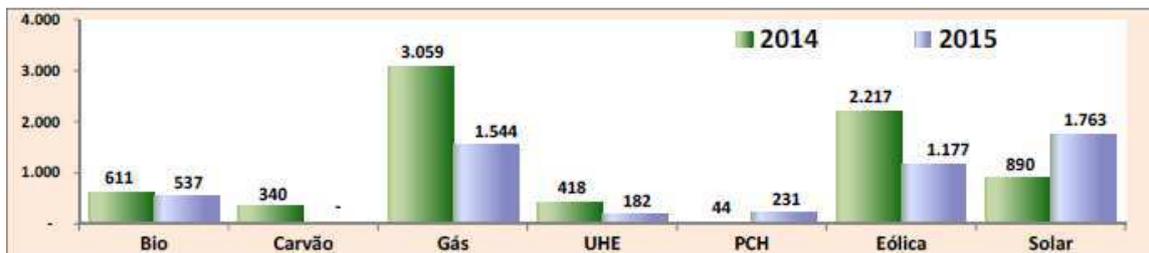
O valor médio da energia por fonte foi calculado em R\$ 263,30 por MWh, considerando o preço de R\$ 222,10/MWh para PCHs, de R\$ 371,65/MWh para eólicas e R\$ 175,51/MWh para biomassa. Em razão da aplicação da parcela de ajuste, o preço médio caiu, porém, para R\$ 241,85/MWh. No ano passado, o PAP de 2014 incluiu nas despesas do programa um saldo negativo de R\$ 64,5 milhões, herdado de 2013, e a previsão de uma parcela de ajuste de R\$ 35,3 milhões.

O intuito de um programa desses é promover a diversificação da Matriz Energética do Brasil, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, como discutido no Capítulo 1.

4.3 LEILÕES PARA ENERGIA EÓLICA

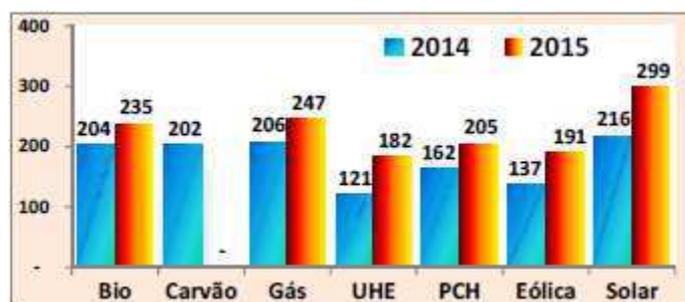
De acordo com a Resenha Energética Brasileira, em 2015, foram realizados o 3º LFA (Fontes Alternativas), os 21º e 22º LEN (Energia Nova), os 7º e 8º LER (Energia de Reserva) e o 15º LEE (Energia Existente). Ao todo, foram contratados 5.433 MW de novos empreendimentos (8.585 MW com o LEE). O preço médio, ponderado por fonte, excluindo o LEE, foi de R\$ 246/MWh. Em 2014, foram contratados 7.609 MW de novos empreendimentos, ao preço médio, ponderado por fonte, de R\$ 161/MWh. Este fato pode ser visualizado na Figura 10 e 11.

Figura 10 – MW contratados.



Fonte: Resenha Energética Brasileira 2016.

Figura 11 – Preço médio (R\$/MWh).



Fonte: Resenha Energética Brasileira 2016.

Um problema recorrente do PROINFA é o atraso de cronograma que se deu por conta das diversas dificuldades encontradas pelos empreendedores, uma delas é atender as exigências estabelecidas pelo BNDES para a obtenção do financiamento. Um dos fatores que contribui para essa situação é a definição dada pela lei para os produtores independentes de energia, que restringe o acesso de empresas que poderiam aportar grandes volumes de capital nos empreendimentos. Eles argumentam que isso tem gerado algumas dificuldades para se levantar o aporte inicial de recursos necessários (COSTA, 2006).

Outra grande dificuldade é a exigência de se atingir o índice de 60% de nacionalização dos empreendimentos, onde o baixo número de fabricantes de aerogeradores no Brasil não conseguiria atender a demanda por equipamento.

Entretanto, o preço médio, ponderado por fonte, dos últimos leilões onde foram contratadas usinas de energia eólica (R\$ 246/MWh), se comparado ao preço fixado pelo PROINFA para eólicas (R\$ 371,65/MWh), fica bem abaixo.

5 CONCLUSÃO

Conforme apresentado no decorrer deste trabalho, o Brasil vem demonstrando um grande interesse na expansão do uso de energia eólica, basicamente devido à segurança no suprimento de energia, associada ao esgotamento das reservas de petróleo e ao aumento no preço dos combustíveis fósseis, e os custos ambientais para atender o aumento no consumo de energia.

O clima no Brasil favorece ventos de excelente qualidade e potencia. Aliado ao fato da energia eólica ter baixos impactos ambientais e a queda dos custos de instalação e operação, a energia eólica tem se tornado cada vez mais competitiva. Além disso, a complementaridade sazonal entre o potencial eólico e o hídrico implica que os períodos em que os índices pluviométricos estão baixos coincidam com as maiores intensidades dos ventos, garantindo a segurança no suprimento de energia, uma vez que a geração hidráulica poderá ser complementada pela energia eólica.

Pela análise do mercado mundial de energia eólica, constata-se que o Brasil é o maior mercado da América Latina, ocupando a 9ª posição em todo o mundo. Atingiu uma taxa de crescimento de 12,5% em novas instalações de energia eólica em 2016, sendo considerado o mercado que mais cresceu nos últimos dois anos.

Todos esses fatos aliados a políticas de incentivos fiscais e econômicos como, por exemplo, o PROINFA estimulam tanto o setor privado em investir e produzir energia eólica, quanto o consumidor final em consumi-la. Com relação a isso, verificou-se que apesar das facilidades dos últimos leilões comparadas às dificuldades apresentadas pelo PROINFA, o preço da energia eólica contratada por este último é melhor.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. A. (2009). *Análise regional da energia eólica no Brasil*. UEPB/GERN.
- CEPEL. (2001). *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. CEPEL/MME.
- CHAVES, C. (2010). *Inserção dos consumidores livres no setor elétrico brasileiro: desafios e oportunidades*. UFRJ/COPPE.
- COSTA. (2006). *Políticas de promoção de fontes novas e renováveis para geração de energia elétrica: lições da experiência européia para o caso brasileiro*. UFRJ/COPPE.
- DUTRA, R. (2007). *Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA*. UFRJ/COPPE.
- DUTRA, R. (2007). *Energia eólica: Princípios e Tecnologias*. UFRJ/COPPE.
- ELETROBRAS. (2015). *Plano Anual do PROINFA 2016*. Eletrobras.
- EPE. (2009). *Nota Técnica PRE 01/2009-r0, Proposta para a Expansão da Geração Eólica no Brasil*. Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética.
- IPCC. (2007). *Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade*. Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.
- MARTINS, F. R., GUARNIERI, R. A. e PEREIRA, E. B. (2007). *O aproveitamento da energia eólica*. CP-TEC/INPE.
- SALINO, P. J. (2011). *Energia eólica no Brasil: uma comparação do PROINFA e dos novos leilões*. UFRJ/Escola Politécnica.
- WINDPOWERENGINEERING. (2016). Acesso em 26 de 10 de 2016, disponível em:
<http://www.windpowerengineering.com/maintenance/safety/guidelines-obstruction-lighting-wind-farms/>.
- WWEA. (2016). *WWEA Half-year Report 2016*. World Wind Energy Association (WWEA).