



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ALBERTO DIAS VASCONCELOS NETO

**ANÁLISE E PERSPECTIVA DO SETOR DE ENERGIA EÓLICA NO
CENÁRIO ESTADUAL**

MOSSORÓ

2016

ALBERTO DIAS VASCONCELOS NETO

**ANÁLISE E PERSPECTIVA DO SETOR DE ENERGIA EÓLICA NO
CENÁRIO ESTADUAL**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof^o. Dr^a. Jusciane da Costa e Silva – UFERSA.

MOSSORÓ

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N469a Neto, Alberto Dias Vasconcelos.
Análise e Perspectiva do Setor de Energia
Eólica no Cenário Estadual / Alberto Dias
Vasconcelos Neto. - 2016.
53 f. : il.

Orientadora: Jusciane da Costa e Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Energia Eólica. 2. Matriz Energética. 3.
Ventos. 4. Aeroogeradores. 5. Renovável. I. Silva,
Jusciane da Costa e, orient. II. Título.

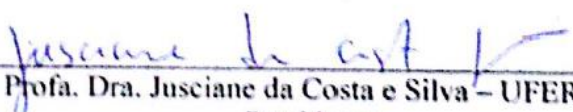
ALBERTO DIAS VASCONCELOS NETO

**ANÁLISE E PERSPECTIVA DO SETOR DE ENERGIA EÓLICA NO CENÁRIO
ESTADUAL**

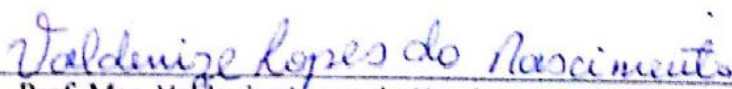
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 08 / Novembro / 2016.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Jusciane da Costa e Silva – UFERSA
Presidente



Prof. Msc. Valdenize Lopes do Nascimento – UFERSA
Primeiro Membro



Dr. Taciano Amaral Sorrentino – UFERSA
Segundo Membro

Dedico esse trabalho a Maria das Graças e Genilce Celes Dias (in memoriam), minha tia e vó paterna respectivamente, que durante seus tempos de vida sempre foram motivo de orgulho e alegria, deixando grandes saudades e boas lembranças.

A dedicatória vai também para meus pais, Alvimar Celes Dias e Teka da Silva Dias, que sempre estiveram ao meu lado, acreditando em mim e guiando meus passos dado durante minha formação profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a Deus por guiar todos os meus passos, desde o início desta graduação até esta última etapa. Mais do que gratidão, é o sentimento em relação aos meus pais, Alvimar Dias e Teka Dias, que sempre estiveram presentes, não só em questões financeiras, mas principalmente dando exemplo de caráter aos quais me orgulho em seguir.

Papai, se eu pudesse te definir em apenas uma palavra, sem dúvida alguma seria honestidade, pois foi te observando que aprendi não só o significado da palavra, mas o quão grande ela nos torna se colocada diante de todas as nossas atitudes; então cara legal, é por esse e outros infinitos motivos que sou seu fã número um.

Mamãe, impossível descrever tudo que eu gostaria de te agradecer, mas para tentar te definir, sem dúvida alguma eu teria que fazer uso da palavra guerreira. Quando digo guerreira, não me refiro apenas a brilhante profissional que você é, mas sim por um conjunto de fatores. Uma das lições que levo por viver ao teu lado é que independente de quantas vezes nos caímos, devemos nos levantar de cabeça erguida; e quantas foram as vezes que eu caí ou fraquejei, mas você sempre esteve ao meu lado estendendo a mão. Portanto, nessas entrelinhas fica meus singelo obrigado e eterna admiração a você minha gordinha.

À minha irmã, Juliana Dias Carvalho, principalmente pela cumplicidade, mais que irmãos sempre fomos amigos, tanto para dividir alegrias quanto angustias. Sou grato também por todo o carinho e parceira do meu cunhado Rogério Carvalho e sobrinho Mateus Dias Carvalho.

À minha namorada, Renata Dantas, por todo o amor e companheirismo dedicado a mim durante essa jornada. Sempre dando forças nos momentos difíceis, mas acima de tudo nunca deixando faltar carinho. Obrigado também por acreditar em mim e me permitir ter o privilégio de crescer e te ver crescer ao meu lado.

Aos meus avós, Silvia e Passos, meu avô, de serenidade infinita e coração grandioso e minha avó que sempre me ajudou sem medir esforços. Agradeço aos meus tios Bomfim e Chiquita, não só por me acolher em sua casa, mas por toda atenção que me foi dada durante esse período.

À companheiros de universidade, composto pela turma do “rancho PDF”, “Whiskyatório”, “turma 2012.02” e “Galera do Ivan”. Todos foram essenciais durante

essa luta e cada um com suas particularidades sempre serão lembrados por mim, então registro aqui minha gratidão a vocês que compõem esses grupos.

Por fim, e representando todos os servidores e professores desta instituição a qual me sinto honrado em fazer parte, gostaria de agradecer a minha orientadora, professora Jusciane da Costa e Silva, que dedicou bastante tempo, paciência e conhecimento para que fosse possível a construção deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	11
RESUMO.....	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA.....	16
2.1 MUNDO	16
2.2 BRASIL	23
2.3 NORDESTE	27
2.4 RIO GRANDE DO NORTE - RN	31
3. FUNCIONAMENTO DE USINAS EÓLICAS	35
3.1 TIPOS DE AEROGERADORES	35
3.1.1 ROTORES DE EIXO VERTICAL (TEEV).....	36
3.1.2 ROTORES DE EIXO HORIZONTAL (TEEH).....	37
3.2 COMPONENTES DO AEROGERDAOR	40
3.2.1 Nacelle ou Cabina.....	40
3.2.2 Cubo	40
3.2.3 Pás.....	41
3.2.4 Eixo.....	42
3.2.5 Caixa de Engrenagem	43
3.2.6 Unidade de Controle Eletrônico	44
3.2.7 Torre	45
3.2.8 Demais Componentes	46
4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA ENERGIA EÓLICA	47

4.1 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS.....	47
4.2 VANTAGENS.....	47
4.3 DESVANTAGENS.....	48
4.4 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira turbina eólica operada automaticamente para geração de energia	18
Figura 2 - Números do setor	20
Figura 3 - A capacidade total de energia produzida pelos ventos em todo o mundo	21
Figura 4 - Principais países produtores de energia eólica	22
Figura 5 - Mapa do potencial eólico do Brasil do ano de 2015.....	25
Figura 6 - Evolução da capacidade instalada da fonte eólica no Brasil	26
Figura 7 - Complexos eólicos campos neutrais	27
Figura 8 - Geração eólica do Nordeste 2014/2015	29
Figura 9 - Complexo Eólico de Areia Branca e VamCruz	33
Figura 10 - Funcionamento de uma turbina eólica	36
Figura 11 - (a) Rotor de eixo vertical-Darrieus e (b) Turbina Savonius	37
Figura 12 - Rotor de eixo horizontal	38
Figura 13 - Esquema (a) Upwind e (b) downwind	39
Figura 14 - Nacelle Parte externa	40
Figura 15 - Cubo.....	41
Figura 16 - Pás eólicas.....	42
Figura 17 - Eixo Eólico	43
Figura 18 - Caixa de Engrenagem	44
Figura 19 - Unidade de controle eletrônico	45
Figura 20 - Torre eólica em montagem	46

LISTA DE SIGLAS

MME	Ministério de Minas e Energia
CRESCEB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
GWEC	Global Wind Energy Council
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
WWEA	World Wind Energy Association
IEEFA	Institute for Energy Economics and Financial Analysis
CELPE	Companhia de Energia Elétrica do Pernambuco
PROINFA	Programa Alternativo de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PNP	Plano de Nacionalização Progressiva
ANEEL	Associação Nacional de Energia Elétrica

RESUMO

Diante da crescente dependência energética por parte da sociedade, aliada à racionalização elétrica decorrente de um possível esgotamento das fontes mais utilizadas, como: hidroelétricas e combustíveis fósseis, surgem oportunidades de expansão no uso de fontes alternativas. Nesse contexto, a energia eólica surge como uma alternativa para complementar as fontes convencionais, por ser uma fonte limpa e renovável, com uma matriz é infinita. Considerada uma energia relativamente nova, a mesma vem ganhando espaço no mercado internacional e nacional, permitindo avanços tecnológicos e econômicos no setor. Segundo o MME (Ministério de Minas e Energia) o Brasil tornou-se, em 2014, o 4º país no ranking mundial de expansão de potência na energia eólica, e subiu cinco posições no ranking mundial de capacidade instalada. Agora, ocupa o 10º lugar em geração, tendo sido o 15º em 2013. Os dados integram o boletim “Energia Eólica no Brasil e Mundo- ano de referência 2014”. Com destaque para a região Nordeste que detém 75% da capacidade total de produção do país e 85% da capacidade gerada. A localização geográfica da região, aliada aos investimentos privados e concessões governamentais são alguns dos fatores que justificam o desenvolvimento da região em relação a essa matriz energética. Dos estados que compõe a região Nordeste, destaca-se o Rio Grande do Norte que apresenta 81,6% da matriz elétrica formada por energia eólica, sendo esta a maior participação em todo o país. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise histórica e produtiva, considerando aspectos mundial, nacional e regional.

Palavras-chave: Energia eólica. Matriz energética. Ventos. Aerogeradores. Renovável.

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios que a sociedade enfrenta atualmente é a demanda energética, já que a maior parte da energia usada é de origem não renovável, ou seja, não pode ser reposta em prazo útil. O homem precisa de energia não só para o conforto, como também para manutenção de sua sobrevivência. Em decorrência dessa necessidade, a sociedade vem buscando meios de otimizar o uso, a produção e a transmissão de energia. Sabe-se ainda que não atingiu um nível satisfatório na utilização da mesma, visto que as principais matrizes energéticas são oriundas de fontes não renováveis. Alia-se a isto a preocupação com o meio ambiente, e a preocupação com o esgotamento das matrizes energéticas atuais. Nesse contexto, como uma das possíveis soluções, surgem as fontes de energia renovável (MENDONÇA, 2014).

Energia renovável é o termo aplicado para fontes naturais que tem a capacidade de se renovar rapidamente, ou seja, sua produção não se esgota, pois se encontram em constante regeneração, ao contrário das não renováveis, que pode sim se regenerar, porém em uma quantidade muito inferior ao seu uso, causando assim o esgotamento da mesma. Outro fator relevante às energias renováveis é que as mesmas são consideradas energia limpa, isto é, poluem pouco ou nada, reduzindo os danos causados ao meio ambiente.

Investir em fontes renováveis com o intuito de aumentar a contribuição das mesmas em relação à energia consumida, está se tornando uma perspectiva plausível. Dentre as fontes de energia renováveis existentes, é possível destacar a energia eólica, que é uma forma que transforma a energia cinética dos ventos em energia útil, ou seja, faz se uso do movimento incessante das massas de ar para obtenção de energia elétrica, sendo assim uma alternativa mais limpa que uso de combustíveis fósseis ou outras fontes não renováveis (GIRARDET e MENDONÇA, 2009).

Não há informações precisas do primeiro momento que se iniciou a utilização da energia proveniente dos ventos, no entanto, é possível destacar alguns períodos de maior incidência do uso dessa energia. Os primeiros relatos remetem a utilização da força do vento pelos egípcios, por volta do ano de 2800 a.C onde colocavam-se

velas nos barcos para auxiliar os escravos na força aplicada nos remos (ZEBRAL et al., 2012). Outro registro histórico foi à utilização dos persas, que direcionavam a força dos ventos através de velas para girar moinhos, auxiliando na moagem de grãos (ZEBRAL et al., 2012). Uma utilização mais recente é o uso da energia proveniente dos ventos para gerar energia elétrica.

O primeiro moinho produzido para gerar energia elétrica foi construído pelo engenheiro James Blyth em julho de 1887, ele utilizou tecidos para a fabricação das pás eólicas e a energia gerada era passada para acumuladores de carga que abasteciam sua residência (PINTO, 2013). Mas, segundo Mendonça (2014) *apud* Pinto (2013), foi Poul la Cour (1891), inventor dinamarquês, que marcou o ponto de transição entre os moinhos de vento e a moderna tecnologia de geração eólica, pois ao construir uma turbina eólica experimental que acionava um dínamo ele usou a corrente contínua gerada pela turbina para eletrólise e armazenou o hidrogênio então produzido para fornecer eletricidade às áreas rurais da Dinamarca.

Segundo a CRESEB, o Brasil ainda está longe de aproveitar o potencial que dispõe para utilização de energia eólica, visto que a maior parte da energia consumida no país é oriunda de usinas hidroelétricas, que também são fontes renováveis, porém de grande impacto ambiental e social. No entanto com crescimento da busca por sustentabilidade, a “energia limpa” vem ganhando espaço, fazendo com que países como o Brasil busquem conhecer seu potencial e implementem projetos para usufruir dos benefícios de uma fonte de energia renovável.

No Brasil quando se trata de produzir energia elétrica em escala comercial por meio da implementação de parque eólico, é no litoral nordestino onde se encontra o maior potencial para essas instalações, devido sua grande extensão e fortes ventos. Nesse contexto, pode-se apresentar mais especificamente o estado do Rio Grande do Norte, o qual vem ganhando destaque pelo crescente número de usinas eólicas. Mesmo sendo um estado de pequena extensão territorial apresenta um grande potencial energético e tem seu aproveitamento em pleno crescimento, visto que tem atraído empresas do setor para a região. Tal fato tem gerado reflexos econômicos e sociais, a partir do momento que esse crescimento vem gerando empregos direto e indireto.

Este trabalho será dividido em capítulos, no capítulo 2, será mostrado o histórico evolutivo da energia eólica numa visão global, nacional e regional. Será

feita uma análise da região nordeste em comparação com as demais regiões do país será feito e em seguida uma breve explanação da energia eólica no Estado do Rio Grande do Norte.

No capítulo 3, uma breve abordagem da parte física dos parques eólico será apresentada, modelos de equipamento, peças que compõe o maquinário e suas funções. Já o capítulo 4 apresentará as vantagens e desvantagens na utilização dessa fonte de energia, trazendo aspectos como benefícios sociais e principalmente ambientais.

2. PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA

Segundo relatórios divulgados no ano de 2015 pela *Global Wind Energy Council* (GWEC), o crescimento brasileiro referente à capacidade de instalações na geração de energia eólica corresponde a 4,4% do total da capacidade mundial. A GWEC relata também que no mundo foram instalados 63,01 GW (Giga watt), correspondendo a um crescimento da ordem de 17%, atingindo 432,419 GW no final de 2015. O Brasil ocupa hoje uma vaga no ranking dos 10 maiores produtores da fonte eólica mundial, mesmo diante da carência de investimentos em relação a China e alguns países europeus, e apesar de possuir um dos maiores potenciais do mundo, consequência da sua privilegiada localização geográfica e forma geométrica com grande área litorânea predominantemente no nordeste, tornando o nordeste o polo de energia eólica do país. Dentre os estados nordestinos, o destaque vai para, Rio Grande do Norte e Ceará, que atualmente detêm os maiores potenciais aproveitados devido a condições geográficas.

2.1 MUNDO

2.1.1 História

Há vários séculos a força mecânica dos ventos vem sendo utilizada pelo homem, impulsionando velas acopladas a embarcações, a moinhos de grãos e a aparatos de bombeamento de água (MME, 2014). Relatos dos primeiros indícios de um moinho de vento foram encontrados no Egito, próximo a Alexandria, com idade aproximada de 3000 anos. No entanto, não há nenhuma prova efetiva de que os egípcios, fenícios, gregos ou romanos conhecessem, na verdade, os moinhos de vento. Aponta-se, também, a máquina pneumática e um aparato acionado pelo vento, por Heron de Alexandria, há cerca de 2000 anos, como as primeiras referências. Há, ainda, outras informações ditas mais confiáveis, de que os moinhos de vento surgiram na Pérsia por volta de 200 a. C. Na Idade Média (séculos V a XV), e no começo da Idade Contemporânea, a energia eólica foi utilizada pelos

holandeses para drenar regiões alagadas, bem como pelos navegadores. Ainda nos dias atuais, há em toda parte do mundo intensa utilização de cataventos para bombeamento de água, além da utilização de velas para movimentação de embarcações de pesca, de esporte, de turismo e de pesquisa (MME, 2014).

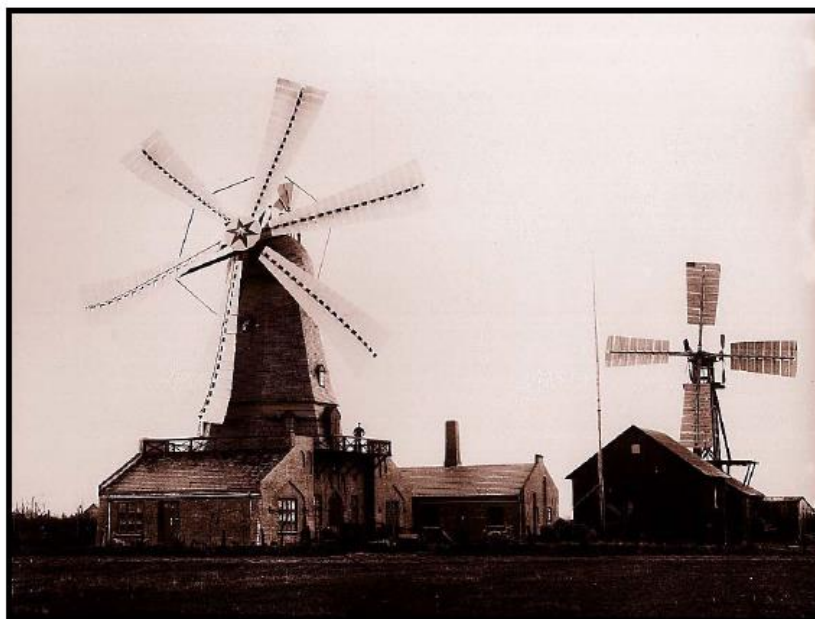
O primeiro moinho de vento utilizado para a produção de energia elétrica foi construído na Escócia, em 1887, pelo professor James Blyth, do Colégio de Anderson, Glasgow, numa torre de 10 m de altura, instalado no jardim de sua casa, em Marykirk. A geração carregava acumuladores, que alimentavam a iluminação da casa de campo. O povo de Marykirk recusou a oferta dos excedentes de Blyth, por pensarem que a eletricidade era "obra do diabo". Apesar de outra experiência de Blyth para fornecer energia de emergência para o Lunatic Asylum local, o invento não evoluiu, por não ser economicamente viável. Do outro lado do Atlântico, em Cleveland, Ohio (USA), outro moinho de vento foi projetado e construído, entre 1887 e 1888, por Charles F. Brush. Construído por sua empresa de engenharia, em sua casa, constava de um rotor de 17 m de diâmetro, com 144 lâminas, sobre uma torre de 18 m de altura, para uma potência de 12 kW. O dínamo ligado, carregava um banco de baterias, que alimentava lâmpadas incandescentes e motores, no laboratório de Brush. A máquina caiu em desuso em 1900, quando a eletricidade tornou-se disponível a partir de estações centrais de Cleveland, e foi abandonada em 1908.

Em 1891, o cientista dinamarquês Poul la Cour também construiu um aerogerador, que foi usado para produzir hidrogênio por eletrólise, para ser armazenado e usado em experimentos, e para iluminar o High School Askov. Já em 1900, a Dinamarca contava com cerca de 2.500 moinhos de vento, usados para bombear água e moer grãos, produzindo um pico de potência combinada estimada em 30 MW. No centro-oeste americano, até 1900, um grande número de pequenos moinhos de vento, estavam instalados em fazendas para operar bombas de irrigação. Empresas como a Star, Eclipse e Fairbanks-Morse tornaram-se famosas fornecedoras de aeromotores para a América do Norte e do Sul (MME, 2014).

A primeira turbina eólica operada automaticamente para geração de energia elétrica foi construída por Charles Brush em 1888. O diâmetro do seu rotor tinha 17 m e possuía 144 pás de madeira. O gerador tinha 12 kW e funcionou por 20 anos,

carregando um sistema de baterias. A desproporção entre o tamanho da turbina e a capacidade do gerador era devido ao tipo de sistema com elevado número de pás, proporcionando baixa velocidade, conforme demonstrado na Figura 1 (PEREIRA, 2002).

Figura 1 - Primeira turbina eólica operada automaticamente para geração de energia



Fonte: http://www.engenheirosassociados.com.br/artigos/generalidade_energia_eolica.php

Com relação à aerogeradores de grande potência, em 1941 ocorreu a primeira experiência acima de 1 MW, conectado à rede de Vermont – USA (1.000 residências atendidas). O projeto de Palmer Cosslett Putnam foi fabricado pela S. Morgan Smith Company com turbina de 1,25 MW, movida por um sistema de duas pás, operou por pouco tempo devido a problemas de manutenção em tempo de guerra (Segunda Guerra Mundial).

2.1.2 Situação Atual

No início do século XX, devido aos avanços da energia elétrica, várias pesquisas foram iniciadas para melhorar o aproveitamento da energia eólica em larga escala. Enquanto os Estados Unidos investia no uso da fonte em residências rurais e fazendas, a Rússia já utilizava a conexão de aerogeradores de médio e

grande porte. Entretanto, no Brasil, como não havia estudos suficientes para medir a qualidade do vento e avaliar o potencial eólico, impossibilitando o investimento momentâneo, a penas no início dos anos 90, no estado do Ceará e na ilha de Fernando de Noronha-PE, foram implantados os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica (PDE, 2000).

Por volta dos anos 2000, tinha-se a ideia de que a capacidade de energia eólica mundial era limitada a 30 GW. No entanto a capacidade instalada passou nos últimos 20 anos de 6,1 GW para mais de 430 GW e com grandes perspectivas de crescimento para os anos seguintes (GWE, 2015).

Segundo Elbia Melo, Economista, Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina e presidente executiva da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), maio 2014 em entrevista para a (SindiEnergia Comunica) divulgada pelo portal ABEEólica na página de comunicação, “a visão futura global é que a fonte eólica seja produzida a todo vapor, pois como é uma energia limpa, com seu uso ajuda a diminuir o consumo de energia gerado por outras fontes, consequentemente contribuindo com a diminuição de CO₂ diretamente na camada de ozônio, reduzindo as consequências do efeito estufa. Pode parecer insignificante, mas o somatório de todos os produtores da fonte se torna exorbitante visto o quanto isso ajuda o meio ambiente. Para se ter uma ideia, conforme visto na Figura 2, o Brasil tem uma capacidade instalada de cerca de 9,25 GW de energia eólica e reduz a emissão de 32.408.261 toneladas por ano de CO₂. Dessa forma pode-se estipular a quantidade de redução em escala mundial, levando em consideração que o planeta dispõe de uma capacidade instalada superior a 430 GW, resultaria na redução de 1,5 bilhões de toneladas por ano de CO₂”. Elbia Melo, afirma também que se até 2030 o uso das energias eólica e solar não triplicar, o aumento da temperatura pode se elevar em torno de 2 graus anuais. É por esse e outros fatores que a busca de sustentabilidade em matrizes energéticas vem ganhando espaço no mercado.

Figura 2 - Números do setor



Fonte: <http://www.portalabeeolica.org.br/>

Tendo o continente europeu como referência mundial, pois o mesmo é responsável por grande parte da produção de energia eólica do mundo, pode-se observar a evolução da capacidade mundial através da Figura 3. Os dados foram coletados duas vezes por ano, uma no final do ano, a primeira coleta foi no final do ano de 2011 (no gráfico representado como: End2011), em seguida no meio do ano de 2012 (mid2012) e assim sucessivamente até o final de 2015. No gráfico é possível observar o aumento linear da energia eólica produzido durante esse período, onde a produção sai de 236 KW no final de 2011 e chega a aproximadamente a 435 KW no final de 2015, ou seja um aumento de quase 90% em sua produção em quatro anos.

Ainda tratando do continente europeu, a Dinamarca é um país que se destaca por ter 42% de toda sua matriz energética proveniente da energia eólica, e com estimativa de alcançar 50% até 2020, um aumento de 3% em relação aos dados referente ao ano de 2014. Ainda analisando dados continentais, a Alemanha estabeleceu um novo recorde, aumentando 5,3 GW sua produção, sendo o primeiro país do continente e terceiro do mundo a aumentar a produção em 5 GW em um intervalo de um ano.

Figura 3 - A capacidade total de energia produzida pelos ventos no continente europeu



FONTE: <http://cerne.org.br/energia-eolica-mundial-atinge-recorde-de-435-gw-em-2015/>

Como consequência dos investimentos proveniente de diferentes países, o ranking de maiores produtores de energia tem oscilado, no entanto vale ressaltar que a China tem se mantido na liderança, que segundo Tim Buckley, diretor de Estudos em Finanças em Energia do Instituto de Economia e Análise Financeira em Energia – Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA) em relatório anual, a mesma produziu 30,5 GW de energia eólica no ano de 2015, ultrapassando as expectativas do mercado financeiro. Alia-se a isto uma queda entre 4% e 5% do consumo de carvão no país, que é uma das fontes mais utilizadas na região. Atualmente, a maior potência mundial em produção de energia eólica passa da marca dos 145 GW, quase duas vezes mais que a potência dos Estados Unidos com aproximadamente 74 GW, mais que o triplo da Alemanha que está em terceiro no ranking com cerca de 45 GW e mais que 5 vezes os 25 GW instalados na Índia, classificada em 4ª globalmente (ver Figura 4). Para dimensionar o tamanho do investimento da China como produtora, ela tem em média 16 vezes mais que a capacidade instalada no Brasil, que é de aproximadamente 9 GW. Porém, mesmo diante da alta eficiência na produção de energia eólica, essa fonte só abastece cerca de 2,8% da sua população, isso pela quantidade de gente no país, mais de 1,378 bilhões de pessoas. Ainda na região Asiática, houve significativas instalações no Paquistão e nas Filipinas ajudando o continente a liderar mais uma vez todo o mercado regional e passar da Europa em termos de acumulação de capacidade instalada, World Wind Energy Association (WWEA - 2015).

Figura 4 - Principais países produtores de energia eólica

Position 2015	Country/Region	Total capacity end 2015**	Added capacity 2015***	Growth rate 2015	Total capacity end 2014
		[MW]	[MW]	[%]	[MW]
1	China	148'000	32'970	29.0	114'763
2	United States	74'347	8'598	13.1	65'754
3	Germany	45'192	4'919	11.7	40'468
4	India *	24'759	2'294	10.2	22'465
5	Spain	22'987	0	0.0	22'987
6	United Kingdom	13'614	1'174	9.4	12'440
7	Canada	11'205	1'511	15.6	9'694
8	France	10'293	997	10.7	9'296
9	Italy	8'958	295	3.4	8'663
10	Brazil	8'715	2'754	46.2	5'962
11	Sweden	6'025	615	11.1	5'425
12	Poland	5'100	1'266	33.0	3'834
13	Portugal	5'079	126	2.5	4'953
14	Denmark	5'064	217	3.7	4'883
15	Turkey	4'718	955	25.4	3'763
	Rest of the World	40'800	5'000	14.0	35'799
	Total	434'856	63'690	17.2	371'374

* by november 2015

© WWEA - 2016

** Includes all installed wind capacity, connected and not-connected to the grid.

*** Includes the net capacity added during the year 2015.

Fonte: ABEEólica

A Dong Energy, empresa especialista em parque eólico marítimo, mundialmente conhecido como uma das maiores produtoras do mundo, principalmente da energia eólica offshore (parques eólicos construídos na costa marítima), iniciou o projeto do maior parque eólico global, na Inglaterra, mais precisamente na Costa de Yorkshire, os trabalhos tem data prevista para conclusão da obra em 2020. O parque Hornsea Project One irá gerar cerca de 1,2 GW, o único parque em alto-mar do mundo a ultrapassar 1 GW de capacidade, alimentando mais de 1 milhão de residências. Em relação à perspectiva de aumento na produção de energia eólica, é notório o avanço do Uruguai, conforme (WWF, 2013), o mesmo tem um consumo aproximado de 1,2 GW de energia elétrica e sua produção de energia proveniente dos ventos chega a ultrapassar os 95%, ou seja, abastece quase por completo o território nacional com a energia renovável. Dessa forma, estariam

preservando praticamente toda a água das represas e desativando as máquinas térmicas.

2.2 BRASIL

No Brasil, a energia eólica é relativamente nova, a primeira turbina da fonte no país foi instalada na ilha de Fernando de Noronha no Pernambuco em junho de 1992, na época essa torre abastecia cerca de 10% da população local com gerador assíncrono de 75 kW. Torre de 23 metros de altura e rotor de 17 metros de diâmetro, trazendo uma economia de 70 mil litros de diesel por ano. Este projeto foi realizado pelo grupo de energia eólica da Universidade Federal do Pernambuco-UFPE e financiada pelo instituto de pesquisa dinamarquês Folkecenter em parceria com a companhia de distribuição elétrica do estado, CELPE. (ANEEL, 2000). Dez anos depois, foi criado pelo governo federal o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), incentivando assim outras fontes alternativas de energia como biomassa, eólica, solar e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) (DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004). Apesar de tudo, foi em 2009 que o Brasil realizou seu primeiro leilão eólico, engajando assim uma visão sustentável que viria a crescer exponencialmente a cada ano, sendo hoje a fonte energética que tem mais crescido no Brasil.

Depois que as leis 10.847/2004 e 10.848/2004 entraram em vigor, leis essas que estabeleceram o princípio de planejamento determinativo para a geração de energia nova, instituindo a necessidade de contratação por partes das distribuidoras de até 100% da carga de energia necessária para o atendimento da demanda futura. Essas leis vetam assim a liberdade na decisão de investimento e compra livre de energia entre os agentes, onde era permitido inclusive que os grupos ligados a concessionárias de distribuição, gerassem a sua própria energia, conhecido por *self dealing* que significa auto negociação, conhecido também por modelo de contratação de energia vigente. Essa demanda é gerenciada ano a ano pelas distribuidoras e centralizadas todas na Empresa de Planejamento Energético (EPE, 2013), que veio a regular a contratação de carga requerida pelo sistema por meio de leilões, a partir disso, os leilões de energia nova, passaram a ser, até os dias de hoje

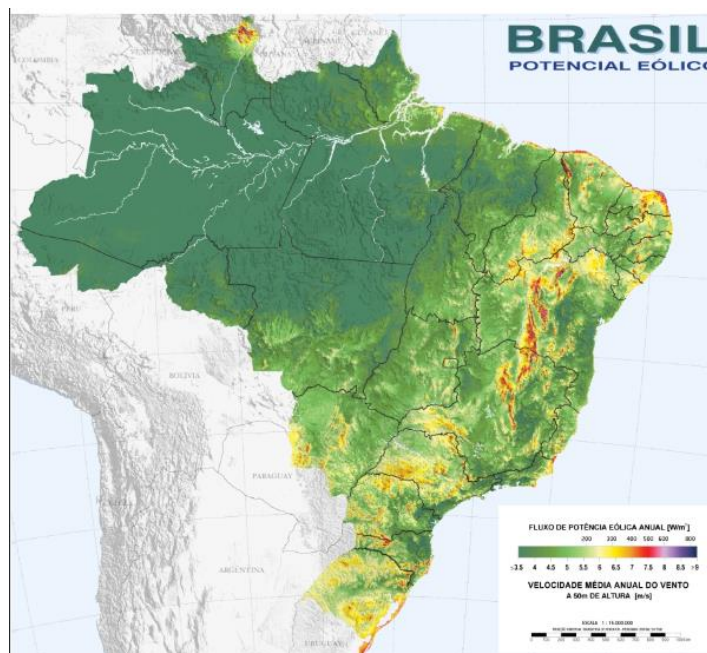
o meio de contratação do serviço, podendo escolher melhor os serviços, preço, entre os agentes geradores e distribuidores no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). O primeiro leilão ocorreu em Dezembro de 2009, no conhecido Leilão de Energia de Reserva – LER, esse evento foi exclusivo para energia eólica onde nele foram contratados 1.805,07 MW correspondente a 71 projetos se distribuindo por cinco estados, sendo eles: Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Sergipe e Rio Grande do Sul, com uma média de R\$ 148,4 por MWh, totalizando cerca de R\$ 8 bilhões, referente aos valores de 2009. O primeiro leilão esteve concluído, assim, a partir disso, a fonte eólica iniciou uma fase competitiva, com crescentes volumes e preços em queda constante nos leilões que houve a diante, fazendo assim o Brasil apresentar o menor valor em MWh de energia eólica global. (CRESESB, 2012).

Por consequência, com o aumento significativo de instalações de energia eólica no país, o Brasil passará de 1,8% em 2013 para 10,4% até 2018 a participação da fonte eólica na matriz elétrica brasileira, à frente da biomassa que projeta 6,9% em 2018 e se aproximando da térmica que chega a 14,5% nesse mesmo ano (EPE, 2023).

Esse grande salto do Brasil nas estatísticas eólicas deve-se aos ventos, que sempre atingem a média elevada em várias regiões constantemente, com regularidade que são ótimos indicadores da permanência da velocidade ao longo do dia, boa estabilidade em sua direção angular em torno de 120° e com baixa variabilidade ao decorrer do tempo, valores próximos a 8,5 m/s em grande parte da região nordeste, predominantemente no litoral e 7,0 m/s no Rio Grande do Sul (média anual). Esses fatores permitem que as máquinas operem com melhor eficiência comparado aos países europeus e norte-americanos. Para ilustrar melhor em quais regiões do Brasil há uma maior eficiência da força dos ventos, pode-se observar a Figura 5.

A partir do início dos trabalhos do Proinfa, a capacidade instalada de energia eólica no território nacional passou de 22 MW em 2003 para mais de 600 MW em 2009, aumento superior a 27 vezes a quantidade de energia gerada antes da criação do projeto, dando um salto para 1 GW em 2011, energia suficiente para abastecer 400 mil famílias. Os investimentos e o crescimento nos números não param por aí, o Brasil participa constantemente de leilões para a adição de novas instalações.

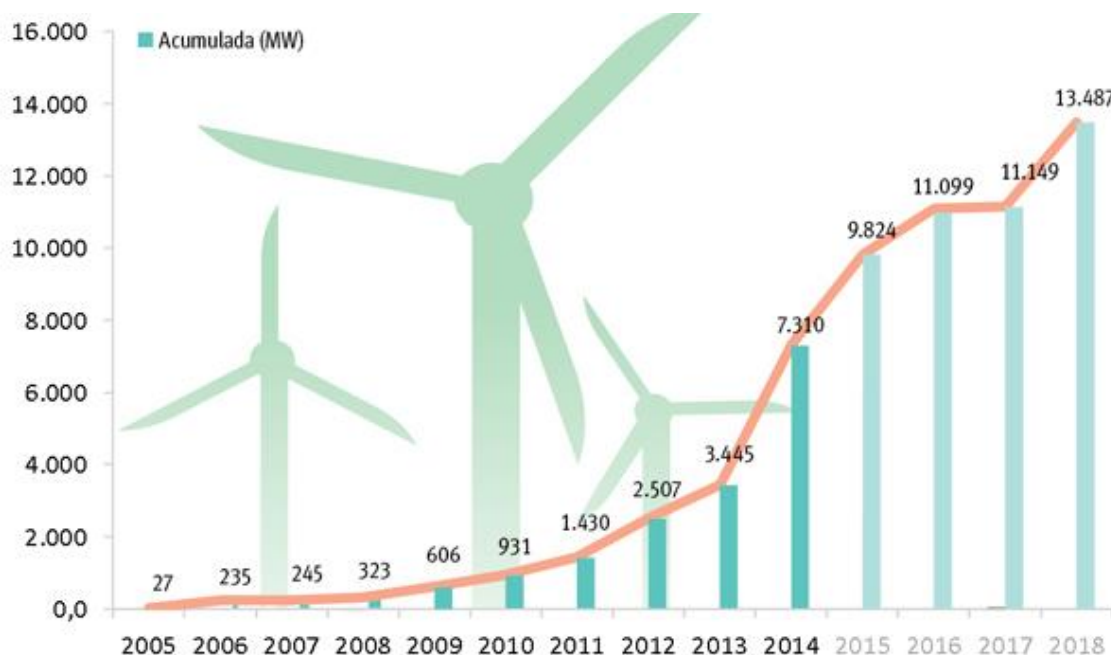
Figura 5 - Mapa do potencial eólico do Brasil do ano de 2015



Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2015

Atualmente, o país conta com 360 usinas em funcionamento, 9 GW de capacidade instalada, investimento de mais de R\$ 52 Bilhões, proporcionando em média 130 mil empregos por toda a cadeia produtiva, reduzindo mais de 15,5 milhões de toneladas de CO₂ por ano, o que seria equivalente a emissão anual de 9 milhões de automóveis. Estima-se que até 2018 o Brasil produza cerca de 15,2 GW, aumentando em 70% a produção de energia eólica no país em relação aos dias de hoje. Já sobre os anos anteriores, o Brasil aumentou 46% de sua capacidade instalada apenas no ano de 2015, acrescentando 2,754 GW de capacidade instalada, a partir disso, o país chegou ao total de 8,72 GW até o fim de 2015, assim ocupando a lista dos 10 maiores produtores de energia eólica do mundo, dados da produção estão expressos na Figura 6.

Figura 6 - Evolução da capacidade instalada da fonte eólica no Brasil



FONTE: ABEEólica, 2014

Dentre grande crescimento em um pequeno intervalo de tempo no setor eólico brasileiro é consequência de vários fatores. A produção dos equipamentos e insumos por meio do Plano de Nacionalização Progressiva (PNP – FINAME) visa atrair investimentos tendo como objetivo atrair empresas para operar no país, aumentando assim o percentual de atendimento e reduzindo tarifas de transmissão e distribuição. Essa medida teve resultados e hoje o Brasil tem fabricantes do setor eólico como pás, aerogeradores, torres e fixadores de todas partes metálica, dando ênfase a região nordeste, pela logística, ocasionando por consequência um alto índice de empregabilidade e renda para a região. Por esse conjunto de fatores, o Brasil passou a oferecer uma das tarifas mais competitivas do mundo na fonte eólica, fazendo com que o Brasil até 2014 já tivesse 10 fabricantes de aerogeradores, 9 fabricantes de torre e 4 fabricantes de pás.

Entre todos os complexos eólicos do Brasil, o Campus Neutrais, representado na Figura 7, é o maior complexo de energia eólica da América Latina, está localizado no extremo Sul do Rio Grande do Sul, nos municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí, fronteira com o Uruguai, o complexo reúne os parques de Geribatu, Hermenegildo e Chuí, com uma potência total instalada de 583 MW, 302 aerogeradores e uma área de mais de 10,6 mil hectares. A obra gerou mais de

4.800 empregos de forma direta e indireta, e investimento ultrapassando os valores de R\$ 2,7 bilhões, investidos por Eletrobras, Eletrosul, fundos de investimentos Rio Bravo e Renobrax energias. Dentre os parques do complexo, o parque Geribatu é o maior, além de ser o maior do Rio Grande do Sul, composto por 129 aerogeradores, potência instalada de 258 MW, abastecendo o consumo de 1,6 milhões de pessoas. (Eletrobras, 2014).

Figura 7 - Complexos eólicos campos neutrais



Fonte: <http://ru.ucpel.edu.br/2015/02/representante-da-eletrosul-airton-silveira-fala-sobre-inauguracao-parque-eolico-campos-neutrais/>

Para investimentos na área existe além de leilões, conferências que ocorrem com o objetivo de melhorar o desempenho da fonte, assim como gerar negociações no setor eólico. Dentre essas conferências, o Brasil WindPower é o maior evento de energia eólica da América Latina, fornecendo as melhores oportunidades de negócios e networking, além de participar de sessões da conferência do programa focado em questões relevantes para o setor eólico. Para ter ideia da abrangência desses eventos, na última edição realizada em 2016, o evento atraiu mais de 2.800 participantes, com 34 patrocinadores e 110 expositores.

2.3 NORDESTE

O Brasil é um país bastante beneficiado quanto às ações dos ventos, sendo no Nordeste a maior concentração dos mesmos, com características ideais para

desenvolvimento de atividade eólica. Os ventos são constantes com ausência de ciclones e rajadas, são unidirecionais e se mantêm por 80% do tempo com velocidade superior a 8 m/s. Isso acontece porque a chapada do sertão brasileiro não permite que os ventos que agem sobre o litoral partam para o interior do país (EPE, 2008). Essa afirmação é devido aos ventos alísios, que só atingem o litoral nordestino, do Maranhão ao Rio Grande do Norte, mas no Ceará, principalmente, e estes sopram do Equador para os trópicos. Além da qualidade dos ventos, a região tem o clima a seu favor, favorecendo a complementaridade hídrico-eólica, tudo por causa dos regimes de chuvas que se encontra no primeiro semestre, e uma pequena queda dos ventos no segundo semestre por consequência da diminuição da temperatura, assim o Nordeste sempre vem alcançando uma boa média de geração de energia. Isso traz uma economia razoável para o consumidor, pois quando a eólica trabalha a todo vapor em conjunto com a hidráulica, as termoelétricas dão uma freada, que é uma energia não renovável e cara para se produzir.

O aproveitamento desse potencial é uma verdadeira oportunidade em termos de produção de energia. Isso vem sendo observado por grandes empresários nacionais e internacionais. O Nordeste tem atraindo grandes investidores do mundo todo, desde os gigantes internacionais, até as empresas nordestinas. Entre eles estão nomes como a General Eletric (GE), Siemens, Alstom, Wobben, Impsa, GDF-Suez, Suzlon, Fuhrlander, Iberdrola, EDP, Pacific Hydro, Fortuny, e nacionais como Petrobras e Cemig.

A média internacional de eficiência em produtividade de um gerador eólico é de 28% a 30% no Brasil, essa média passa dos 50%, chegando até 83% em alguns picos no Nordeste. Esses ventos também chegam à Etiópia, Somália e Venezuela, porém eles não aproveitam a energia. Segundo Élbis Gannoum, presidente da ABEEólica, em artigo, “os bons ventos sobram para energia eólica brasileira”.

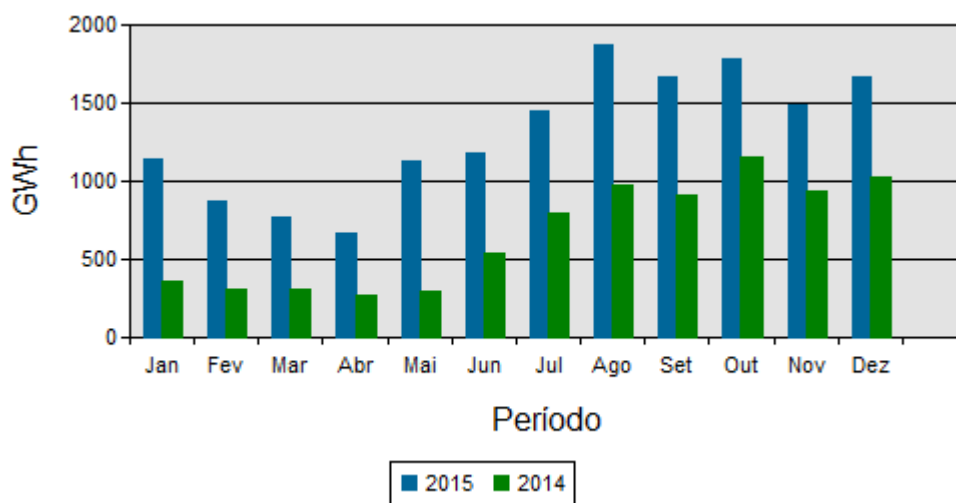
O Nordeste se encontra com 75% de toda a capacidade nacional, e 85% da energia eólica que de fato o país gera. Se mostrando ciente que tem a capacidade potencial de gerar energia barata, segura e economicamente correta de forma farta, ajudando ao Brasil a dar um salto no seu desenvolvimento. A maior parte do vento nordestino está localizado na parte setentrional da região, com um potencial médio de 300 GW, quase o total estimado para a potência total do Brasil, isso ocorre, pois, a variação de potencialidade depende da altura da torre eólica (Braga, 2015). Esse

potencial ao longo do tempo mostrou cada vez mais eficiente, aumentando os interesses em investimentos na região.

Das 360 usinas eólicas em operação no país, a maioria está no Ceará, no Rio Grande do Norte, na Paraíba e em Pernambuco, somando um total de 232 apenas na região nordeste, segundo ABEEólica, 2015.

O aumento da exploração no Nordeste, que pode ser visualizado na figura 8, que faz um comparativo entre os anos de 2014 (verde) e 2015 (azul), como é possível observar há um crescimento significativo em relação ao ano anterior (ABEEólica, 2015).

Figura 8 - Geração eólica do Nordeste 2014/2015



Fonte: ONS (O Operador Nacional do Sistema Elétrico)

No momento, o Rio Grande do Norte lidera o ranking do Nordeste e do Brasil como maior produtor de energia eólica, porém essa ordem não dura por muito tempo, o estado da Bahia contratou 3.832,1 MW de potência com previsão de término até dezembro de 2017, Somado a potência existente aos 1.103,4 MW instalados, (ABEEólica, 2015), o estado Baiano chegará a um total de 4.935,5 MW até o fim de 2017, passando do Rio Grande do Norte que até a mesma data chegará a capacidade instalada de 4.776,5 MW, estando ainda em primeiro com 2.525,6 MW (ABEEólica, julho 2015) e potência em construção de 2.250,9 MW também até o fim de 2017, considerando a todos os estados produtores, o Nordeste será responsável por 86,82% de toda a energia eólica produzida até 2018 no Brasil, dando um salto

de 9 GW em Março de 2016 para 17,77 GW no fim de 2017, quase que dobrando toda a capacidade instalada.

As expectativas são as melhores possíveis, para os dois anos após esses dados da ABEEólica considerados entre julho de 2015 a dezembro de 2017, ou seja, até o fim de 2019, conforme explicou o superintendente de energia da Seinfra, Silvano Ragno, os investimentos em energia eólica na Bahia até 2019 vão ser da ordem de R\$ 22,9 bilhões. Nesse primeiro bimestre de 2016 são 47 parques implantados, além de 60 em construção e outros 123 com projetos já aprovados e que deverão ser instalados até 2019. Somados com os 220 projetos já cadastrados, o estado contará com 450 parques eólicos, sendo assim o maior produtor da fonte eólica do Brasil nos próximos três a quatro anos.

Apesar dos números relacionados à porcentagem de energia eólica produzidas no Nordeste em relação a produção energética da região, aumentarem, a quantidade de serviços e potência contratada em 2015 diminuiu em relação ao ano de 2014. Dados apurados em fevereiro de 2016 pela ANEEL, afirmam que em um ano, essa colaboração eólica para o nordeste passou de 16,8% de toda geração energética para 30% nos dias de hoje. No entanto, de acordo com a projeção da associação que reúne distribuidoras, o consumo de energia elétrica deverá cair aproximadamente 1,7% no país, consequentemente o governo diminuirá a contratação das energias movidas pelo vento, prejudicando desde o desenvolvimento de parques até os fabricantes de equipamentos. Nesse contexto, o maior impacto é sentido pelo nordeste, pois é a região chefe da fonte. O setor fabril eólico instalado no país, está apto a atender uma demanda em leilões de 2 GW a 3 GW por ano, segundo Rosana Rodrigues do Santos, a vice-presidente do Conselho de Administração da ABEEólica, em relatório anual, 2015. Os leilões federais contrataram 1,2 GW em usinas eólicas no total de 5,4 GW de energia total arrebataada em 2015, mostrando uma significativa redução em relação aos 7,6 GW de energia contratada em 2014, desse total sendo 1,4 GW de energia proveniente dos ventos, diminuição clara, visto que o Brasil batia novos recordes a cada ano desde o início dos trabalhos em 2009.

Ainda, apesar das agressões ao meio ambiente serem bastante reduzidas comparada à outras fontes, quando somado essas pequenas agressões em milhares de torres, esse impacto se torna grande. Isso ocorre em especial no Nordeste, pois é onde se concentra em massa a instalação dos complexos, usinas e

torres. Isso se torna um desafio atual para a expansão da fonte. Esses danos são prejuízos ambientais, por exemplo, a desestruturação da dinâmica ambiental e ecológica de dunas das regiões, privatização de locais de comunidades litorâneas e as praias na qual tinha o direito natural de visitação, isso de acordo com Jorge Antônio Villar, coordenador do Centro de Energia Eólica da PUC-RS, em publicação ai site oficial da pocrs. Já para Gannoum, 2015, afirma que os prejuízos decorrentes das atividades são mínimos, e mesmo assim a indústria investe para reduzi-los, como a diminuição dos ruídos ocasionados pela ação dos ventos nas pás, problema esse que a tecnologia conseguiu minimizar.

2.4 RIO GRANDE DO NORTE - RN

O Rio Grande do Norte possui nos dias de hoje a maior matriz energética no ramo eólico do Brasil, isso se dá pela qualidade dos ventos (Arsep, 2015). O estado está situado na esquina do continente, recebendo vento de todo a região litorânea circunvizinha. De acordo com o mapa eólico do Rio Grande do Norte, o estado, Localizado no extremo nordeste do Brasil, está situado entre os paralelos 6°58'57"S e 4°49'53"S e os meridianos 38°34'54"W e 34°58'08"W, ocupando uma área territorial de 53.307 km², o que representa 0,62% do território brasileiro. Seus limites são formados com o Oceano Atlântico ao leste e norte, e com os Estados da Paraíba, ao sul, e Ceará, a oeste. O litoral, com extensão da ordem de 400 km, apresenta uma grande área de dunas e formações arenosas, orientadas segundo a direção dos ventos alísios, intensos e constantes nesta região da costa brasileira. Com exceção da porção sudeste, onde o clima semi-úmido propicia um maior desenvolvimento da vegetação verde, o restante do território do Rio Grande do Norte possui clima semi-árido, com mais de 7 meses de duração do período seco anual, resultando no domínio da vegetação xerófila seca e esparsa - a Caatinga. Ventos com velocidade média sempre acima de 7 m/s alcançando em alguns picos até 9 m/s considerando uma altura de 100 metros.

Entre 2009 e 2014 o Rio Grande do Norte obteve o primeiro lugar no país em novos leilões de fontes renováveis de energia, isso mostra que não é apenas no setor eólico que o estado recebe investimento, passando para fornecedor desse tipo de recurso, com isso, demonstra autossuficiência energética, diminuindo a pressão

nas demais produções de energia. (CERNE, 2014). Independentemente de a economia andar na contramão devido à crise, o setor eólico gerará aproximadamente 35 mil novos empregos na área até 2019 no estado do Rio Grande do Norte, números de acordo com o departamento de pesquisa do Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energias (CERNE, 2014). Os dados, tem como base 15 pontos de trabalho gerado para da 1 MW de energia produzida, tendo como projeção 2,3 GW instalados nos próximos 3 anos e 3 bilhões em investimento nesse mesmo período. Desses 35 mil empregos, 10 mil serão nesse ano de 2016 de forma direta e indireta, seja na construção dos parques ou nos setores de comércio e serviços presentes na região das novas usinas.

De acordo com Elbia (ABEEólica, 2014), essa geração de emprego abrange na cadeia produtiva global de energia eólica, ou seja, a oportunidade abrange a fabricação de torres, pás, aerogeradores, obras de construção civil, fornecimento de insumos, manutenção e operação, incluindo o setor hoteleiro, restaurantes, comércios, serviços jurídicos e saúde nas cidades onde as usinas estão instaladas. Diante desse fator, reconhecendo que o Rio Grande do Norte é o maior produtor no setor, conseqüentemente é o maior beneficiado.

O estado conta com 90 parques eólicos instalados e 87 em construção, sendo líder no número de aerogeradores, com 1257 turbinas eólicas em funcionamento, onde a maior parte, 371 sendo fabricadas pela GE. 81,6% da matriz elétrica potiguar é formada por energia eólica, sendo esta a maior participação em todo o país, mais de 2,5 GW de potência instalada, prevendo uma potência total instalada de mais de 4,7 GW até 2017, segundo o boletim de dados da ABEEólica de Dezembro de 2015. A energia por ser uma fonte relativamente recente, constantemente são atualizados os dados, com novas contratações, conseqüentemente mais obras em operação e usinas finalizadas em um pequeno intervalo de tempo.

O ramo eólico no estado, assim como as demais fontes renováveis, é uma aposta promissora segundo a professora da Universidade Potiguar (UnP) Ana Katarina Galvão, destacando a partir de uma pesquisa que as profissões voltadas para as novas engenharias terão boas oportunidades no setor energético (FEERN, 2016). O diretor de tecnologias do CT-Gas ER, Pedro Neto Nogueira, destacou o investimento do Centro em ações profissionalizantes que buscam atender à demanda das empresas, principalmente de energias renováveis, por mão de obra qualificada. Segundo o reitor do IFRN, Belchior Neto, convidado ao debate (FEERN,

2016), é preciso unir forças para impulsionar a capacitação profissional e atender a esse mercado promissor.

Segundo a assessoria da Voltalia Energia do Brasil, empresa responsável pela construção do parque eólico em Areia Branca, Figura 9, a Costa Branca potiguar, começou a funcionar com 30 aerogeradores, com potência unitária de 3.0 MW, totalizando 90 MW e gerando aproximadamente 400.000 MWh (Megawatt-hora) por ano. O primeiro dos três parques do Complexo de Areia Branca foi inaugurado em 24 de outubro de 2014 e está ligado ao sistema nacional de energia, por meio de uma linha de transmissão própria de 52 km, que se conecta a Subestação Mossoró. A empresa também está desenvolvendo e construindo novos parques próximos ao município de Areia Branca. No início de 2017 será inaugurada mais um complexo eólico no município vizinho, na Serra do Mel, que junto aos parques de Areia Branca irá gerar 183 MW.

Figura 9 - Complexo Eólico de Areia Branca e VamCruz



Fonte: Cortez Engenharia

Os Próximos investimentos, no estado serão iniciados na região do Mato Grande, Litoral Norte, onde já existem parques eólicos, em Serra de Santana e municípios da região como Pendências, Jandaíra e Lajes, localidades conhecidas

como áreas de expansão da fronteira eólica. Outra área com investimento aplicado é no município de São Bento, com os complexos Cutia e Bento Miguel, a partir de um investimento de R\$ 2 bilhões da Companhia Paranaense de Energia (Copel), os parques terão 149 aerogeradores fornecidos pela WEG. Contando com as maiores torres do gênero do mundo, de 120 metros de altura, 86 aerogeradores vão integrar sete parques do Complexo Cutia. O restante, correspondente a 63 equipamentos vão fazer parte dos outros seis parques do Complexo Bento Miguel. O final de 2018 é a previsão de conclusão das obras.

3. FUNCIONAMENTO DE USINAS EÓLICAS

Assim como a água o ar também é um fluido, com a diferença que suas partículas estão na forma gasosa, em vez de líquida, quando o ar se move rapidamente na forma de vento essas partículas também se movem, esse movimento se chama energia cinética das partículas. Para gerar energia através do ar, existe a turbina eólica também chamada de aerogerador, onde as pás das turbinas são projetadas para absorver a energia cinética contida no vento por meio da rotação, funcionando de maneira similar a um moinho de vento, em que a energia das massas de ar é convertida em energia mecânica, auxiliando agricultores com a moagem de grãos e bombeamento de água. Já no aerogerador, o vento movimenta as pás e faz girar o rotor, que transmite a rotação ao gerador, que, por sua vez, converte essa energia mecânica em energia elétrica (Atlantic Energias Renováveis, 2016).

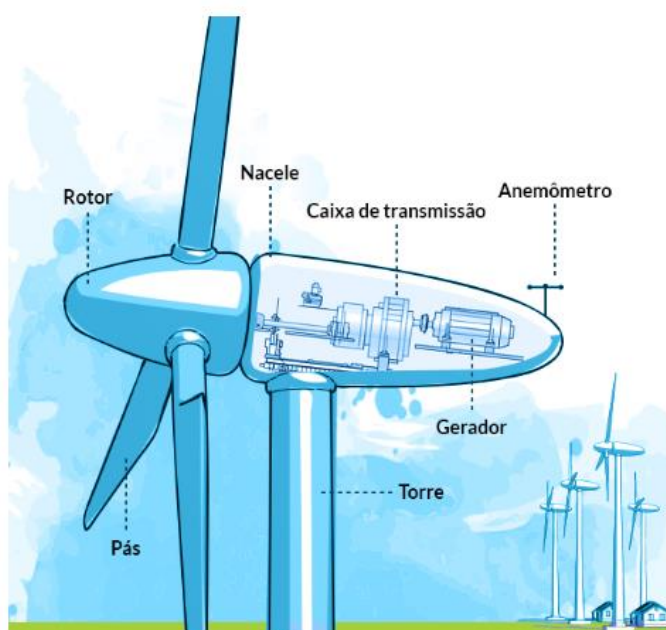
Este trabalho não tem a finalidade de se aprofundar na parte mecânica por traz do funcionamento de um parque eólico, portanto apenas será feito uma explanação das principais componentes de uma usina eólica.

3.1 TIPOS DE AEROGERADORES

Os aerogeradores são basicamente divididos em dois grandes grupos, de acordo com o posicionamento de seus eixos, classificam-se em aerogeradores com rotor de eixo vertical ou eixo horizontal. Os verticais costumam ter um custo mais elevado que o de eixo horizontal, devido ao gerador não girar conforme a direção do vento, apenas o rotor gira enquanto o gerador permanece fixo, provocando um desempenho inferior aos de rotor horizontal. São exemplos de rotores de eixo vertical, rotores Savonius e Darrieus. Já aerogeradores com rotor de eixo horizontal são mais conhecidos e utilizados, devido a sua maior eficiência, compensando o seu elevado custo. Esta categoria é subdividida em rotores multipás e os de duas ou três pás, sendo este último o mais comum.

Quando as pás das turbinas capturam a energia do vento e começam a se mover, elas giram um eixo que unem o cubo do rotor a um gerador. A turbina de energia eólica mais simples possível consiste em três partes fundamentais: as pás do rotor, o eixo e o gerador. As pás são basicamente as velas do sistema, em sua forma mais simples, atuam como barreira para o vento que quando os forçam a se moverem, transfere parte de sua energia para o rotor, onde o eixo da turbina eólica é conectado a sua extremidade e quando o rotor gira o eixo gira junto, desse modo, o rotor transfere sua energia rotacional para o eixo, que está conectado a um gerador elétrico na outra extremidade. A última parte, o gerador, transforma essa energia rotacional em energia elétrica. (MELO, 2012). A Figura 10 ilustra os principais componentes de um aerogerador.

Figura 10 - Funcionamento de uma turbina eólica



Fonte: <http://atlanticenergias.com.br/saiba-como-funciona-o-aerogerador-que-transforma-vento-em-eletricidade/>

3.1.1 ROTORES DE EIXO VERTICAL (TEEV)

Os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações na direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devido às forças de Coriolis (força inercial). Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação

(*lift*) e por forças de arrasto (*drag*). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus ou com torre de vórtice e Savonius. Os rotores do tipo Darrieus, Figura 11 (a) são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical.

Figura 11 - (a) Rotor de eixo vertical-Darrieus e (b) Turbina Savonius



(a)



(b)

Fonte: <https://evolucaoalp.wordpress.com/category/evolucao-da-ciencia/> e <http://forum.trailersailor.com/post.php?id=1405754>

Os rotores do tipo Savonius, Figura 11 (b) são uns dos mais simples, os esforços exercidos pelo vento em suas faces do corpo oco, são de intensidade variáveis, resultando em movimento rotativo do conjunto. Vale ressaltar que sua eficiência se dá em ventos mais fracos, chegando a 20%.

3.1.2 ROTORES DE EIXO HORIZONTAL (TEEH)

São os rotores mais comuns, e grande parte da produção de energia eólica é baseada na utilização desse tipo de rotor. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (*lift*) e forças de arrasto (*drag*). Um corpo que

obstrui o movimento do vento sofre a ação de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. Aliam-se a isto, as forças de sustentação que dependem da geometria do corpo e do ângulo de ataque, ângulo formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo (Dutra, 2008).

Os rotores de eixo horizontal ilustrado na Figura 12 (aerogeradores convencionais) ao longo do vento são predominantemente movidos por forças de sustentação e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Tais rotores podem ser constituídos de uma pá e contrapeso, duas pás, três pás ou múltiplas pás. Construtivamente, as pás podem ter as mais variadas formas e empregar os mais variados materiais. Em geral, utilizam-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada (Dutra, 2008).

Figura 12 - Rotor de eixo horizontal



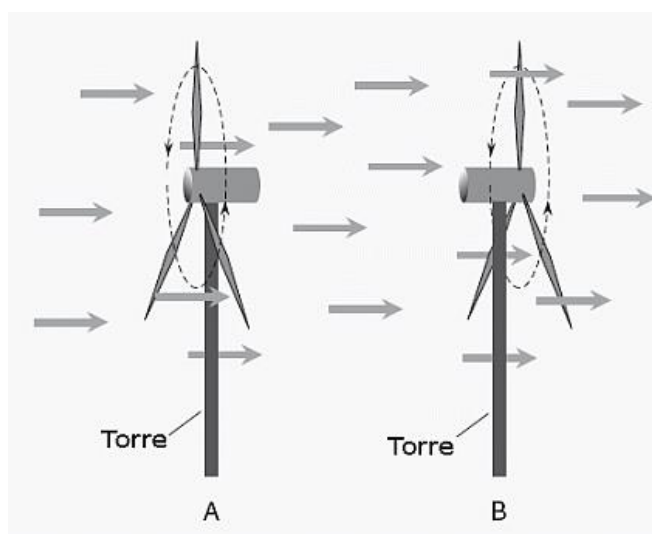
Fonte: <http://energiaeolicapai.blogspot.com.br/2012/11/aerogerador.html>

Além da orientação vertical, horizontal, da quantidade de pás existente nos rotores e das suas localizações, vale ressaltar também a classificação de acordo com a posição do rotor em relação à torre, recebendo ventos frontalmente ou pela parte posterior das torres, *upwind* e *downwind* respectivamente, representados na

Figura 13 mudando a posição das pás, de forma a trabalhar sempre a favor do vento.

As turbinas *downwind* se adequam com a direção do vento, para o funcionamento desse tipo de turbina, não é necessário algum mecanismo para o direcionamento das turbinas sobre os ventos, pois o vento sopra pela retaguarda das pás, sendo flexível e auto orientável. Logo, só é usado em turbinas de pequeno porte, por existir a possibilidade de colisão das pás com a torre dependendo da velocidade do vento, tendo ainda grande ruído, decorrido da maior turbulência pelas flexibilidades das pás. Outra desvantagem no tipo de torre é a maior carga necessária para o funcionamento, visto que são usados mecanismos adicionais para o movimento das turbinas, uma vez que para esse funcionamento acrescenta pulsações de torque ocasionado pela passagem constante das pás pelas torres (MATOS; M. S. M. 2012).

Figura 13 - Esquema (a) Upwind e (b) downwind



Fonte: http://esasrenovaveis.blogspot.com.br/2010/04/producao-de-electricidade-partir-da_09.html

Nas turbinas *upwind*, o vento sopra pela parte frontal, as pás são rígidas e o rotor é orientado segundo a direção vento através de um dispositivo motor. Por não ter uma interação dos ventos com as pás, ou seja, as pás não possuem certa flexibilidade em relação ao movimento do vento, geram menos ruídos. O modelo *upwind* é a tecnologia dominante no mundo (MATOS; M. S. M. 2012).

3.2 COMPONENTES DO AEROGERDAOR

Segundo Melo (2012), os principais componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal são:

3.2.1 Nacelle ou Cabina

Localizada na parte superior do aerogerador, tem estrutura metálica responsável por abrigar outros componentes, como gerador, sistema de transmissão de potência e outros. A Figura 14 mostra uma foto parcial das pás eólicas acoplada a Nacelle.

Figura 14 - Nacelle Parte externa



Fonte: <http://profcide.blogspot.com.br/2010/10/energia-gerada-pelos-ventos.html>

3.2.2 Cubo

Cubo é a parte do sistema responsável por acoplar as pás ao rotor, como ilustrado na Figura 15, de forma a transmitir a energia dos ventos, captada pelas pás, para o eixo. Outra característica é que no interior de alguns modelos é possível encontrar mecanismos que facilitam a orientação da turbina em relação a direção do

vento, através de motores controlados pela informação do cata-vento, bem como sistemas de travas na presença de ventos fortes.

Figura 15 - Cubo



Fonte: <http://www.plastico.com.br/plastico-reforcado-qualidade-e-productividade-elevadas-permitem-disputar-aplicacoes-mais-rentaveis/>

3.2.3 Pás

As pás, Figura 16, são responsáveis pela captação da energia dos ventos como forma de aerofólio e a converte em energia rotacional no eixo. A maioria são fabricados a partir compostos sintéticos, fibra de vidro e carbono, onde tem um custo mais elevado, no entanto com melhores características mecânicas e maior resistência, além de serem leves. Tais características são essenciais para uma pá, visto que estão sujeitas a condições extremas de trabalho, principalmente pelo fato de estarem expostas a longos períodos de rotação e agressões ambientais e o pó arrastado pelos ventos.

Figura 16 - Pás eólicas



Fonte: <http://www.industriahoje.com.br/energia-eolica>

3.2.4 Eixo

O eixo é o equipamento que se conecta ao cubo do rotor, Figura 17 e que giram em sincronia. O rotor por sua vez tem a função de transferir a energia para o eixo, que está conectado a um gerador elétrico na outra extremidade, ou seja, a energia rotacional do eixo que é a mesma das pás é transformada em energia elétrica pelo gerador. Por fim, vem o transformador que tem por função estabilizar a energia oscilante proveniente do gerador.

Figura 17 - Eixo Eólico



Fonte: <http://www.calenderingmachine.com.pt/4-2-wind-power-turbine-shaft.html>

3.2.5 Caixa de Engrenagem

Tem por função elevar a velocidade de rotação do eixo entre o cubo do gerador e o rotor. Vale ressaltar que a velocidade de rotação de um rotor de grande porte é bem baixa, girando em torno de 10 a 30 rpm, isso quando comparada a rotação nominal de geradores elétricos convencionais, que giram em torno de 1200 a 1800 rpm, e tem uma proporcionalidade inversa, visto que quanto maior a turbina, menor é a velocidade de rotação do rotor. A caixa de engrenagem pode ser observada na Figura 18.

Figura 18 - Caixa de Engrenagem



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=231

Através do princípio da lei de Faraday, o equipamento transforma a energia mecânica do eixo rotor em energia elétrica, tal fato é em decorrência do eletromagnetismo no qual a rotação vai gerar a variação de um campo magnético que em conjunto com uma bobina induz uma corrente elétrica, podendo ser convencional (com caixa multiplicadora) ou múltiplos (ausência de caixa multiplicadora), ou seja, máquinas rotativas capazes de gerar energia elétrica a partir de uma força motriz, direta ou indireta do motor.

3.2.6 Unidade de Controle Eletrônico

É a parte do equipamento responsável por monitorar todo o sistema, desativando a turbina se necessário, e efetuando o controle do mecanismo de ajuste para alinhamento da turbina em relação à direção do vento. Em aerogeradores regulado por controlador *pitch* (regulagem do eixo da pá), o controlador também realiza a comparação de potência, quando a mesma atinge um valor específico, é enviado um sinal para que inicie o giro das pás do rotor (Figura 19).

Figura 19 - Unidade de controle eletrônico



Fonte: <http://www.hbm.com/pt/4802/fraunhofer/>

3.2.7 Torre

É a parte do sistema responsável pela sustentação dos aerogeradores, geralmente se apresenta em forma cônica, conforme apresentado na Figura 20. Sua composição é de material metálico, e dependendo da altura, que varia em torno de 100 metros, o diâmetro de sua base pode chegar a quatro metros e um peso de até 100 toneladas. Possui uma entrada, que dá acesso a escada em seu interior. Para a fixação da torre é necessário levar em consideração a vibração que vai ser gerada pelo rotor e a força sofrida pelo vento, isso explica a necessidade de uma base sólida.

Figura 20 - Torre eólica em montagem



Fonte:

http://www.conferconstrutora.com.br/ultimas_obras/3/complexo_eolico_bom_jardim_da_serra_sc-17

3.2.8 Demais Componentes

Além de todos os componentes citados acima, ainda existe algumas componentes que compõem um aerogerador, são eles:

- Controlador de orientação: move o rotor para alinha-lo com a direção do vento;
- Sistema hidráulico;
- Resfriamento;
- Unidade de medição de direção dos ventos;
- Sistema de posicionamento da nacelle;
- Engrenagem de posicionamento;
- Disco e pastilha de Freios;
- Acoplamento do gerador elétrico;
- Suporte do cabo de força;
- Anemômetro;
- Sensores de direção e de vibração;
- Eixo de alta velocidade: Essa parte é responsável por frear a rotação do eixo em caso de falha no sistema ou sobrecarga de energia;

4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA ENERGIA EÓLICA

Segundo o Portal Energia, a utilização da energia eólica comporta numerosas vantagens face às energias tradicionais, mesmo quando comparada a outras fontes renováveis, devido ao seu alto desenvolvimento. Muitas vezes, por falta de informação, até mesmo a população que reside próximo aos parques eólicos desconhece os benefícios do mesmo para aquela região. De maneira geral, podemos citar a redução do uso de combustíveis fósseis reduzindo poluição local, até a geração direta e indireta de empregos.

Apesar da grande quantidade de vantagens no uso da energia eólica para a produção de energia elétrica, este tipo de aproveitamento energético também apresenta desvantagens e impactos ambientais significativos, principalmente quando se trata do uso de aerogeradores de grande porte.

4.1 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

Dentre os benefícios ao meio ambiente, a geração eólica se destaca pela não-emissão de dióxido de carbono na atmosfera. O dióxido de carbono é o gás com maior responsabilidade pelo agravamento do efeito estufa levando a mudança climática global a consequências desastrosas. A moderna tecnologia eólica apresenta um balanço energético extremamente favorável e as emissões de CO₂ relacionadas com a fabricação, instalação e serviços durante todo ciclo de vida do aerogerador são "recuperados" depois dos três a seis meses de fabricação, reduzindo também a dependência de combustíveis fósseis. Nesse contexto, são citadas algumas vantagens e desvantagens.

4.2 VANTAGENS

Algumas vantagens do uso da energia eólica:

- Fonte inesgotável;

- Sem emissão de poluentes e ausência da formação de resíduos;
- Diminui a emissão de gases responsáveis efeito estufa (GEE);
- Permite a utilização simultânea do terreno em atividades distintas, como agricultura e criação de gado;
- Reduz a dependência energética do exterior, a partir do momento que reduz a utilização de combustíveis fósseis;
- Uma das fontes mais baratas de energia, podendo competir com a rentabilidade das fontes tradicionais;
- Retorno financeiro rápido, pois em menos de seis meses já se arrecada o valor investido em um aerogerador.

4.3 DESVANTAGENS

Como toda matriz energética, pode-se notar que a eólica também apresenta pontos negativos, porém que se tornam mínimos quando comparados aos benefícios gerados ao aderir a essa fonte energética. No entanto é de suma importância conhecer as principais características da energia que será utilizada em determinada localidade, assim permitindo um melhor aproveitamento do potencial, minimizando também possíveis prejuízos ao meio ambiente.

- Variação da direção do vento, causando uma queda no rendimento da turbina;
- Impacto visual, podendo ser notada de 10 a 15 km de distância;
- Impacto ótico, por meio da reflexão das luzes através das pás, podendo atrapalhar motoristas próximo ao local;
- Colisão de aves em migração;
- A vibração gerada pela colisão do vento com o as torres, podem gerar um ruído constante de aproximadamente 43 db (decibel), restringindo a habitações mais próximas a no mínimo 200 m de distância. Outro relato é que essa mesma vibração tem afastado peixes da costa, dificultando outras atividades econômicas como a pesca.

4.4 IMPACTOS AMBIENTAIS

Dentre as desvantagens já citadas anteriormente, pode-se destacar como impacto ambiental, uma maior preocupação relativa à fauna, é com os pássaros, os quais podem vir a colidir com estruturas (torres de alta tensão, mastros, janelas de edifícios) e com as turbinas eólicas, devido à dificuldade de visualização. Mesmo apresentando impactos como este, a energia eólica apresenta grande vantagem em relação a outras fontes energéticas, pois seus danos são bem inferiores as demais fontes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente dependência energética mundial aliada a pressões sociais e ambientais tem gerado a necessidade de matrizes energéticas renováveis e limpas. Nesse panorama a energia eólica ganha destaque por se apresentar como uma das principais soluções para o problema.

Este trabalho teve como objetivo trazer informações relevantes referentes à produção efetiva de energia eólica, considerando aspectos geográficos, investimentos privados e governamentais. Para isto, fez-se uma análise do crescimento da produção mundial e observou-se que o Brasil tem tido um grande crescimento no cenário internacional, tornando-se o quarto país na produção de energia eólica, atrás apenas de grandes potências como China e Estados Unidos.

Analisando um cenário menor, o Nordeste, foi visto que o mesmo é responsável por 75% da produção do país, e dos estados que compõe esta região, destaca-se o Rio Grande do Norte que apresenta 81,6% da matriz elétrica formada por energia eólica, sendo esta a maior participação em todo o país. O RN é líder no número de aerogeradores, 1257 turbinas eólicas em funcionamento, dentro de 87 parques eólicos em operação.

Diante do estudo realizado nota-se o grande avanço no desenvolvimento e utilização dessa matriz energética por parte do Brasil, principalmente nos últimos anos, mesmo em meio a uma crise econômica mundial os investimentos privados aliados às concessões governamentais conseguiram não só manter os investimentos do setor, mas também aumentar a produção. E muito se especula de um crescimento maior para os anos seguintes, já que nosso país é favorecido geograficamente e que sua capacidade de produção pode ir muito além do que se encontra hoje.

Devido ao crescimento, a energia eólica tem deixado a condição de energia alternativa e se consolida como uma forma competitiva economicamente, além de ser uma energia limpa e renovável. Portanto dentro do cenário descrito, é possível afirmar que o Brasil está alinhado com a tendência internacional, que é configurar esse tipo de energia como um importante nicho de oportunidade em produção de energia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, **História da energia eólica e suas utilizações**, 13ª edição, p. 14 a 19, 2012/2013.

AMARANTE, O.A.C, ZACK, M.B.J, LEITE, A.S. **Atlas do potencial eólico brasileiro**, 2001.

BENITO,T., **Práticas de energia eólica**, 2012.

Cartilha eólica, **A indústria dos ventos e o Rio Grande do Norte-Brasil**, CERNE, 2014, p. 4.

CASTRO, Rui M.G. **Introdução à Energia Eólica**. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico – Secção de Energia. Edição 2.1, 2005.

Centro de Referencias de Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito – **Princípios e tecnologias**, CRESESB.

DUTRA, RICARDO MARQUES, **Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica Face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro** [Rio de Janeiro] 2001 XIII, 309 p. 29.7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2001) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

Estudo WFF, **Desafios e Oportunidades para a energia eólica no Brasil**, recomendações para políticas públicas, Brasil, 2015.

SILVA, Giovanni RÊgo e. **ESTUDO E PANORAMA GERAL DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**. 2016. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2016. CD-ROM.
Instituto Alemão de Energia Eólica. **Energia Eólica**. (Traduzido pela Petrobrás) – Wilhelmshaven, Alemanha: DEWI, 1998.

Manwell, J, F., McGowan, J, G., Rogers, L, A., et. al., **"WIND ENERGY EXPLAINED THEORY DESIGN AND APPLICATION"**, 2a edição, WILLEY – 2009.

ENERGIA, Ministério de Minas e. Brasil sobe cinco posições em ranking mundial de energia eólica. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/brasil-sobe-cinco-posicoes-em-ranking-mundial-de-energia-eolica>. Acesso em: 01 nov. 2016.

G1RN. Parque eólico em Areia Branca, RN, passa a atuar com capacidade total: Parque tem capacidade de produzir 400.000 MWh de energia elétrica por ano.. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2015/03/parque-eolico-em-areia-branca-rn-passa-atuar-com-capacidade-total.html>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

MORELLI, F.S, **Panorama Geral da Energia Eólica no Brasil**, Trabalho de conclusão de curso, USP, São Carlos – SP, 2012.

MOREIRA, F.D.J, **Viabilidade técnica/econômica para produção de energia eólica em grande escala no nordeste brasileiro**, Trabalho de conclusão de curso, UFMG, Lavras – MG, 2009.

TERCIOTE, Ricardo. **A ENERGIA EÓLICA E O MEIO AMBIENTE**. 2002. 7 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Energia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-sp, 202. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100002&script=sci_arttext>. Acesso em: 28 out. 2016.

Disponível em <<http://www.eolica.com.br/>> acesso em: 25/07/2016.

Disponível em <www.renovaveis.tecnopt.com> acesso em: (25/07/2016).

Disponível em <<http://cerne.org.br/energia-eolica-mundial-atinge-recorde-de-435-gwem-2015/>> acesso em: (30/07/2016).

Disponível em
 <http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/greenenergyleaders_final_online_version__1_.pdf> acesso em: (31/07/2016).

Disponível em
 <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf> acesso em: (05/08/2016).

Disponível em <<http://cerne.org.br/pdfs/CartilhaEolicaCERNE2014.pdf>> acesso em: (05/08/2016).

Disponível em <<http://seern.com.br/feern-2015-encerra-com-definicao-de-desafios-para2016/>> acesso em: (20/08/2016).

Disponível em <<http://www.portalabeeolica.org.br/>> acesso em: (02/09/2016).

Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/>> acesso em: (08/09/2016).

Disponível em <<http://www.gwec.net/>> acesso em: (20/09/2016).

Disponível em <<http://www.cosern.com.br/Pages/default.aspx>> acesso em: (25/10/2016).

Disponível em <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/3504-bonsventos-para-o-setor-de-energia.html>> acesso em: 28/10/2016.