



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CÂMPUS PAU DOS FERROS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GIOVANNI RÊGO E SILVA

ESTUDO E PANORAMA GERAL DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

PAU DOS FERROS-RN
2016

GIOVANNI RÊGO E SILVA

ESTUDO E PANORAMA GERAL DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA, Câmpus Pau dos Ferros, para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Profº. M.Sc. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo – UFERSA.

PAU DOS FERROS-RN
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.

S586e Silva, Giovanni Rêgo e.
Estudo e panorama geral da energia eólica no
Brasil / Giovanni Rêgo e Silva. - 2016.
58 f. : il.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Viabilidade eólica. 2. Fontes renováveis. 3.
Velocidade do vento. I. Segundo, Francisco Carlos
Gurgel da Silva, orient. II. Título.

GIOVANNI RÊGO E SILVA

ESTUDO E PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

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

Defendida em: 24 / 05 / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo
Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Me. (UFERSA)
Orientadora

Adelson Menezes Lima
Adelson Menezes Lima, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

Wesley de Oliveira Santos
Wesley de Oliveira Santos, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico esse trabalho a Júlio Isaias da Silva (*in memorian*), meu Pai, que durante seu tempo de vida sempre foi motivo de orgulho, pela sua humildade, honestidade e simplicidade, deixando-as como maior riqueza que pude receber.

A dedicatória vai também para Lucineide de Souza Rêgo, minha Mãe, que me ensinou a entrar nos eixos pelas suas rédeas curtas, estando sempre presente nos momentos de alegria e dificuldade. Mulher guerreira que faz muito bem o papel de mãe e pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo pelo apoio intelectual e psicológico, pela contribuição do desenvolvimento do trabalho, assim como o tempo abdicado para a orientação.

A Maria Vitória de Lima Viana, minha namorada, que esteve comigo durante todo o tempo, ajudando e apoiando sempre que necessário.

A meus irmãos, Giannini Rêgo e Silva, Otavio Henrique Rêgo Lira e Giovanna Abrantes Silva, ao qual convivem comigo.

Aos meus professores, os responsáveis diretamente e indiretamente por minha chegada ao fim do curso.

Aos meus primos: Eduardo Henrique de Souza Rêgo, Cleiton Souza, Thiago Jordão, Lidiane Souza e todos os demais. Além dos meus Tios: Lucicleia de Souza Rêgo, Raimundo Nonato de Souza Rêgo, Maria Luciene de Souza, Lucicleia de Souza Rêgo e toda a minha família pelo incentivo, apoio moral, psicológico, e financeiro.

A todos os meus amigos e pessoas em geral que de alguma forma somaram até o presente momento.

RESUMO

Energia eólica é uma fonte limpa, renovável e eficiente. Relativamente nova, está ganhando espaço no mercado nacional e internacional a partir da crise mundial do petróleo, desde então, muitos países como a China, Estados Unidos, Alemanha, Brasil e muitos outros investem pesado na energia afim de complementar suas fontes energéticas e movimentar suas economias. No Brasil, apenas a partir da criação do Programa de Incentivo às Fontes de Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), em 2004, que a fonte tomou força e aparece entre os quatro países que mais crescem seus percentuais em energia eólica nos dias de hoje. A região brasileira chefe no setor é o Nordeste, que conta com 75% de toda capacidade de produção eólica do país e 85% do que de fato o país gera. Todo esse potencial é devido a sua localização e possuir grande faixa litorânea, que lhe proporciona boa qualidade dos ventos. Dos estados nordestinos, o Rio Grande do Norte é o maior produtor, contanto com 90 parques eólicos instalados e 87 em construção. Neste trabalho, será abordado o panorama eólico mundial apresentando dados atuais e mostrando que a energia eólica atualmente vai de encontro a crise econômica mundial. Além do panorama eólico, será apresentado um estudo sobre as turbinas, seus componentes. E para finalizar, será apresentado um estudo de viabilidade para implantação de aerogeradores para alimentar os aparelhos de condicionador de ar da Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA, câmpus Pau dos Ferros-RN.

Palavras-chave: Velocidade do vento. Fontes renováveis. Viabilidade eólica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.	12
Figura 2 - Principais marcos do desenvolvimento da energia eólica.	12
Figura 3 - Primeira eólica operada automaticamente para geração de energia eólica.....	16
Figura 4 - Comparativo de capacidade instalada e redução de CO ₂ no Brasil	17
Figura 5 - Principais produtores de energia eólica do mundo.	19
Figura 6 - Primeira turbina eólica em Fernando de Noronha-PE.	20
Figura 7 - Mapa das potencialidades eólicas do Brasil.	22
Figura 8 - Evolução da capacidade instalada no Brasil.	23
Figura 9 - Complexo eólico campos neutrais.	25
Figura 10 - Mapa eólico do Rio Grande do Norte.	29
Figura 11 - Turbina de Savonius.	33
Figura 12 - Turbina Darrieus.	34
Figura 13 - Aerogerador de 3 pás.	35
Figura 14 - Parques onshore e offshore paralelos.....	36
Figura 15 - Imagem dos esquemas upwind e downwind.....	37
Figura 16 - Nacelle Parte externa.	38
Figura 17 - Nacelle Parte interna.	38
Figura 18 - Cubo e suas partes constituintes.	39
Figura 19 - Pás eólicas.	40
Figura 20 - Eixo Eólico.	41
Figura 21 - Caixa de engrenagens.	42
Figura 22 - Gerador conectado a uma caixa multiplicadora.....	42
Figura 23 - Unidade de controle eletrônico.	43
Figura 24 - Torre eólica.	44
Figura 25- Gráfico da Função Gama	52
Figura 26 - Distribuição de Weibull	52
Figura 27 - Curva de Potência do Aerogerador	53
Figura 28 - Número de horas anuais em relação a velocidade do vento	54
Figura 29 - Energia anual convertida em função da velocidade do vento.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Portal ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica.

GWEC – Global Wind Energy Council.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

SEERN - Sindicato das Empresas do Setor Energético do Rio Grande do Norte.

CERNE – Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia.

COSERN – Companhia de Energia do Rio Grande do Norte.

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes de Alternativas de Energia Elétrica

TEEH – Turbina Eólica de Eixo Horizontal.

TEEV – Turbina Eólica de Eixo Vertical.

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

RN – Rio Grande do Norte.

CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica.

CELPE – Companhia Energética de Pernambuco.

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia.

WWF – World Wide Fund for Natureo.

WWEA – World Wind Energy Association.

IEEFA – Institute for Energy Economics and Financial Analysis.

PCH's – Pequenas Centrais Hidrelétricas.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética.

PNP – Plano de Nacionalização Progressiva.

ARSEP – Agência Reguladora de Serviços Públicos.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. PANORAMA GERAL DA ENERGIA EÓLICA.....	15
2.1 Mundo	15
2.2 Brasil	20
2.3 Nordeste	25
2.4 Rio Grande do Norte	28
3. FUNCIONAMENTO	32
3.1 Tipos de turbinas.....	32
3.2 Componentes do aerogerador	37
3.2.1 Nacelle ou Cabina	37
3.2.2 Cubo	39
3.2.3 Pás	39
3.2.4 Eixo	40
3.2.5 Caixa de engrenagens.....	41
3.2.7 Unidade de controle eletrônico	43
3.2.8 Torre	43
3.2.9 Demais componentes.....	44
4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA EÓLICA	45
4.1 Vantagens.....	45
4.2 Desvantagens	46
5. AERODINÂMICA DAS MAQUINAS EÓLICAS.....	46
6. PROJETO	49
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
7.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

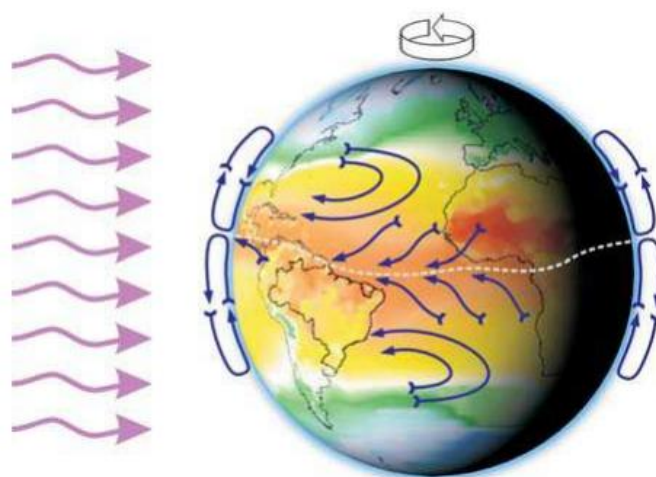
A qualidade de vida da sociedade atual está intimamente ligada a questão energética. O crescimento do seu consumo em busca de um melhor bem estar é constante, o que colabora para elevar os índices de agressão ambiental, tais como aquecimento global e escassez do petróleo, que são causados por algumas fontes energéticas. Por motivos como esses, pesquisadores trabalham com o objetivo de utilizar e otimizar fontes alternativas de energia, como energia solar e eólica.

De acordo com Ricardo Dutra (2001, p. 7 *apud* CHESF-BRASCEP, 1987), existem registros de utilização de energia eólica desde 200 A.C, para a moagem de grãos, mover barcos e bombeamento d'água. O termo eólico vem do latim *Aeolicus*, relativo a Éolo, deus dos ventos na mitologia grega. Hoje em dia a energia é aproveitada em forma de cata-vento de 3 pás, de modo a captar a energia do vento que gira suas pás acionando um rotor ao gerador e assim gerando energia elétrica. São locados em conjuntos, chamado parque eólico, forma a maximizar a produção, tornando economicamente viável a nível comercial.

A energia eólica é aquela que vem do movimento do ar (vento) e é uma fonte de energia limpa, renovável e abundante, não gera poluição nem agride o meio ambiente além de auxiliar na redução do efeito estufa. O vento é o resultado do ar em movimento devido ao aquecimento desigual da superfície da terra pelo sol. A terra e seu envelope de ar, a atmosfera, recebe mais calor solar próximo ao Equador do que nas regiões polares. Mesmo assim, as regiões equatoriais não ficam mais quentes a cada ano, nem as polares ficam mais frias. É o movimento do ar ao redor da terra que ameniza a temperatura extrema e produz ventos na superfície tão úteis para a geração de energia.

Como todos os gases, o ar se expande ou ocorre um aumento de volume quando aquecido, e contrai e diminui de volume quando resfriado. Na atmosfera o ar quente é mais leve e menos denso do que o ar frio e se eleva a altas altitudes quando fortemente aquecido pelo sol. O ar aquecido próximo ao Equador fluirá para cima, e então, na direção dos pólos onde o ar próximo a superfície é mais frio. As regiões terrestres próximas aos pólos agora têm mais ar, pressionando-as, e o ar da superfície mais fria tende a desligar dessas áreas e movimentarem-se na direção do Equador.

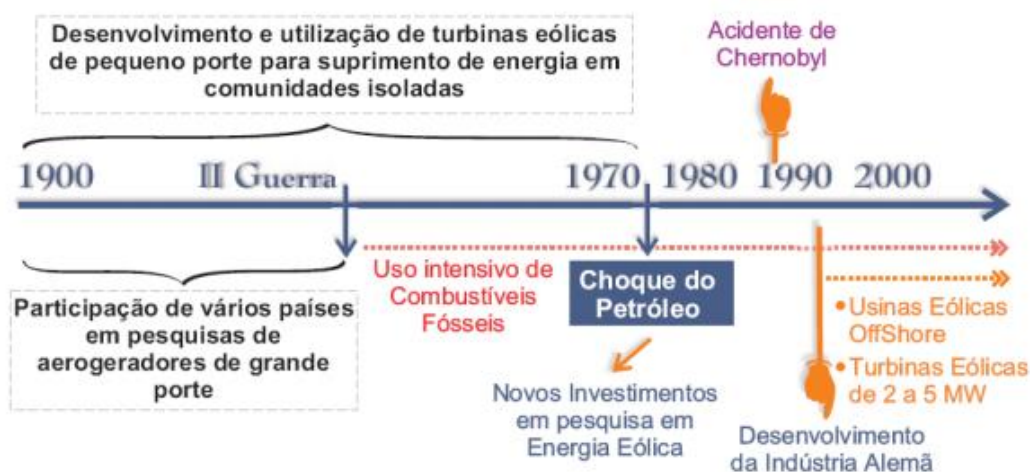
Figura 1 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.



Fonte: DUTRA, 2001

Apesar de existir desde a antiguidade, a energia eólica só foi utilizada em escala comercial em meados de 1970 na crise do petróleo, com o objetivo de suprir necessidades energéticas. A crise mundial do petróleo gerou grande interesse de países desenvolvidos na produção da energia com o objetivo de diminuir a dependência do petróleo e do carvão (ANEEL, 2013).

Figura 2 - Principais marcos do desenvolvimento da energia eólica.



Fonte: ANEEL, 2013

A energia eólica no Brasil teve seu primeiro indício em 1992 com o início da operação comercial do primeiro aerogerador instalado no Brasil, que foi resultado de uma parceria entre o CBEE e a CELPE, através de financiamento do instituto de pesquisas dinamarquês *Folkecenter*. Essa turbina eólica, de 225 kW, foi a primeira a entrar em

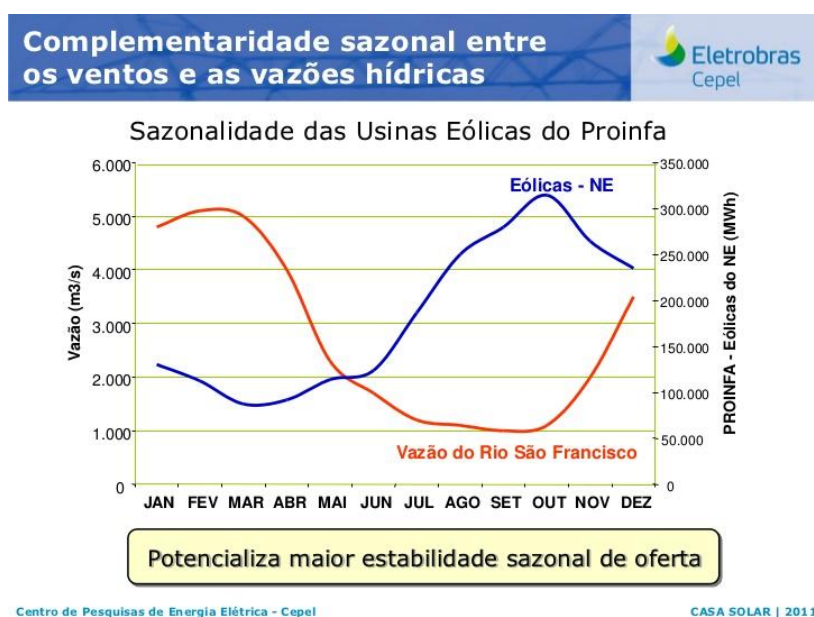
operação comercial na América do Sul, em 1992, localizada no arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco). (Portal Abeeólica, 2016).

Hoje em dia, a china é o maior investidor da fonte, seguido pelos estados unidos e alguns países da Europa como a Alemanha. O Brasil apesar de não fazer parte do G4 global, apresenta novos recordes a cada ano (GWEC, 2016). A grande produção em massa de energia eólica no país está na região Nordeste, com praticamente todos os estados participando da produção, mas é o Rio Grande do Norte maior produtor, pelas suas vantagens de qualidade dos ventos, devida a sua localização geográfica.

É de extrema importância a utilização de energia renovável, no caso da eólica, suas principais vantagens são: inesgotável, não emite gases poluentes, diminuindo assim a emissão de CO₂, a utilização do terreno onde aplica-se o parque pode ser aproveitado com agricultura e pecuária, grande geração de emprego para a região circunvizinha, relativamente barata. No entanto, essa fontes não conta apenas com vantagens, mas como as demais energias, ela também possui desvantagens, como impacto visual, impacto sobre as aves locais e impacto sonoro.

A energia eólica é complementar a hidráulica que ainda é o carro chefe na produção energética nacional, como mostra o Gráfico 1, quando está em um período de seca, a eólica trabalha a todo vapor, quando está em períodos de cheia, a eólica dá uma reduzida e a hidráulica que trabalha com força máxima.

Gráfico 1 – Representação das energias eólica e hidráulica.



Fonte: <http://pt.slideshare.net/afermartins/casasolar2011>

A fonte além de renovável e limpa, anda em contra mão com a crise que o país enfrenta, fornecendo empregos e movimentando a economia nas regiões circunvizinhas de forma direta e indireta. “Onde tem vento não tem crise, nós estamos atraindo muitos fabricantes para o Brasil. Há vários bancos e investidores internacionais buscando investimento na indústria eólica. Aqui não tem crise”, afirma Élbis Gannoun, presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica. Além dessa afirmativa, ela detalha as expectativas para 2016:

Para o ano de 2016 nossa expectativa é que a nossa capacidade instalada seja ainda maior, vamos ter 165 parques instalados, vamos investir mais de R\$ 25 bilhões e vamos gerar mais de 50 mil postos de trabalho ao longo da cadeia produtiva.

Atualmente a fonte eólica é responsável por 6% da matriz energética do Brasil, com possibilidade de dobrar a participação em até cinco anos

Este trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 2, o panorama geral da energia eólica no Brasil, com um foco principal no Nordeste e no Rio Grande do Norte por seguinte, pelo fato de serem a região e o estado que mais produzirem a fonte eólica respectivamente, devido ao seu favorecimento geográfico, ampliando para o nível mundial os dados mais recentes possíveis, focando na produção, mercado, demanda, oferta entre outros fatores em exercício relacionados à energia eólica.

Capítulo 3, é exposto a parte de funcionamento de aerogeradores, assim como cada componente, vantagens e desvantagens, física por trás do seu funcionamento e por fim, Capítulo 4 será exposto um projeto de viabilidade de implantação de aerogeradores na UFERSA câmpus Pau dos Ferros-RN, com o objetivo de alimentar as máquinas de condicionador de ar do bloco dos professores de forma autônoma. Para isso, será realizado um levantamento das quantidades e suas respectivas potências, calculadas de acordo com o seu tempo de funcionamento e analisados segundo os dados de vento fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

2. PANORAMA GERAL DA ENERGIA EÓLICA

Segundo relatórios divulgados no ano de 2015 pela (GWEC), a nova capacidade adicionada pelo Brasil correspondeu a 4,4% do total de novas instalações de geração de energia a partir dos ventos em todo o mundo. Segundo a entidade, em todo o mundo foram instalados 63,01 GW, o que correspondeu a um crescimento da ordem de 17%, atingindo 432,419 GW no final de 2015. O Brasil está hoje no ranking dos 10 maiores produtores da fonte eólica mundial, apesar de não ter investimentos pesados como a China e alguns países europeus por exemplo, o país tem um dos maiores potenciais do mundo, sendo privilegiado pela sua localização geográfica e forma geométrica com grande área litorânea predominantemente no nordeste, consequentemente o nordeste se torna o polo de energia eólica do país. Dentre os estados nordestinos, o destaque vai para o Rio Grande do Norte, estado com atualmente o maior número de potência instalada devido as condições favoráveis que oferece.

2.1 Mundo

Há milhares de anos a energia dos ventos é utilizada para a substituição do trabalho humano, como moinho que como o próprio nome já diz é usado para a moagem de determinada matéria-prima, cata-vento para o bombeamento de água, barcos à vela que substituíam o remo quando estavam a favor do vento, sempre trabalhos que estavam relacionado a energia cinética convertida em mecânica. No entanto, as primeiras tentativas de geração de energia elétrica com o aproveitamento da força dos ventos foi por volta do final do século XIX, mas foi apenas um século depois, em meados de 1970 com a crise internacional do petróleo, que houve o interesse e investimento suficiente dos Estados Unidos e alguns países da Europa para a aplicação de energias limpas e renováveis em nível comercial, de acordo com (ANEEL, 2013). A primeira turbina comercial instalada em rede pública foi em 1976, na Dinamarca e consequentemente a instalação de uma usina de 55 kW em 1981 que tiveram os custos altíssimos, levando em consideração os dias de hoje (ANEEL, 2005). No entanto, a nível residencial a primeira turbina eólica operada automaticamente para geração de energia elétrica foi construída por Charles Brush (1849 – 1929) 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 visto na Figura 3. (DUTRA, 2008).

Figura 3 - Primeira eólica operada automaticamente para geração de energia eólica.



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

No início do século XX, com o avanço da energia elétrica, várias pesquisas foram iniciadas para o melhor aproveitamento da energia eólica em grande escala. Enquanto os Estados Unidos investia no uso da fonte em residências rurais e fazendas, a Rússia já contava com a conexão de aerogeradores de médio e grande porte. Já no Brasil, como não havia estudos necessários para medir a qualidade do vento para avaliar o potencial eólico, impossibilitando o investimento momentâneo, apenas 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).

Em meados dos anos 2000, pesquisadores acreditavam que a capacidade total de energia eólica no mundo era apenas de 30 GW. A capacidade instalada de energia eólica passou nos últimos 20 anos de 6,1 GW para mais de 430GW e com boas expectativas para o crescimento em grande escala nos próximos anos (GWEC, 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 4, 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. Imagina o quanto seria reduzido no mundo inteiro, sendo que o planeta tem uma capacidade instalada superior a 430 GW, isso estaria na casa dos 1,5 bilhões de toneladas por ano de CO₂ a menos. Ainda para Elbia Melo, 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. E é por essa sustentabilidade que esse tipo de energia vem se tornando bastante competitivo no mercado.

Figura 4 - Comparativo de capacidade instalada e redução de CO₂ no Brasil

Números do setor



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

O continente europeu é responsável por grande parte da produção de energia eólica do mundo, e o destaque do ano passado foi a Dinamarca, que atualmente 42% de toda a sua energia gerada é proveniente da energia eólica, e com estimativa de 50% até 2020, aumentando 3% em relação a 2014. Em termos gerais do continente, no ano de 2014, segundo o vice-presidente da GWEC, o mercado anual cresceu 5% enquanto estavam esperando uma pequena queda. A Alemanha estabeleceu um novo recorde instalando em média 5,3 GW, sendo o primeiro país do continente e terceiro do mundo a instalar acima de 5 GW em um ano.

Nos anos anteriores, o *ranking* de maiores produtores da energia oscilou com frequência, no entanto atualmente esta classificação está se tornando constante, liderada pela China 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, alcançou um recorde de instalação de 30,5 GW de energia eólica apenas no ano de 2015, ultrapassando entre 20% e 30% das estimativas do mercado financeiros, trazendo inúmeros benefícios como a diminuição entre 4% e 5% no consumo de carvão no país, que é uma das fontes mais exploradas da região. Nos dias de hoje, a maior potência mundial em produção de energia eólica passa da marca dos 148 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. Para ter uma noção da grandeza da China como produtora, ela tem em média 16 vezes mais que a capacidade instalada no Brasil, que é de aproximadamente 9 GW, dados representados na Figura 5. Apesar da alta quantidade de energia eólica produzida, 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, houveram 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 5 - Principais produtores de energia eólica do mundo.

Wind Energy Worldwide

Top 15 countries by total wind installations

Position 2015	Country/Region	Total capacity end 2015** [MW]	Added capacity 2015*** [MW]	Growth rate 2015 [%]	Total capacity end 2014 [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

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

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

© WWEA - 2016

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

A *Dong Energy*, empresa mundialmente conhecida como uma das maiores produtoras de energia eólica do mundo, principalmente da energia eólica *offshore*, especialista em parque eólicos marítimos, 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.

Muitos países tem perspectiva de aumento na produção de energia eólica, mas nada chega ao nível do Uruguai, conforme (WWF, 2013), Uruguai 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. Com isso, estariam reservando praticamente toda a

água das represas e desligando as máquinas térmicas, já que seu uso não seria mais necessário.

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, Figura 6, 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.

Figura 6 - Primeira turbina eólica em Fernando de Noronha-PE.



Fonte: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_6_1.htm

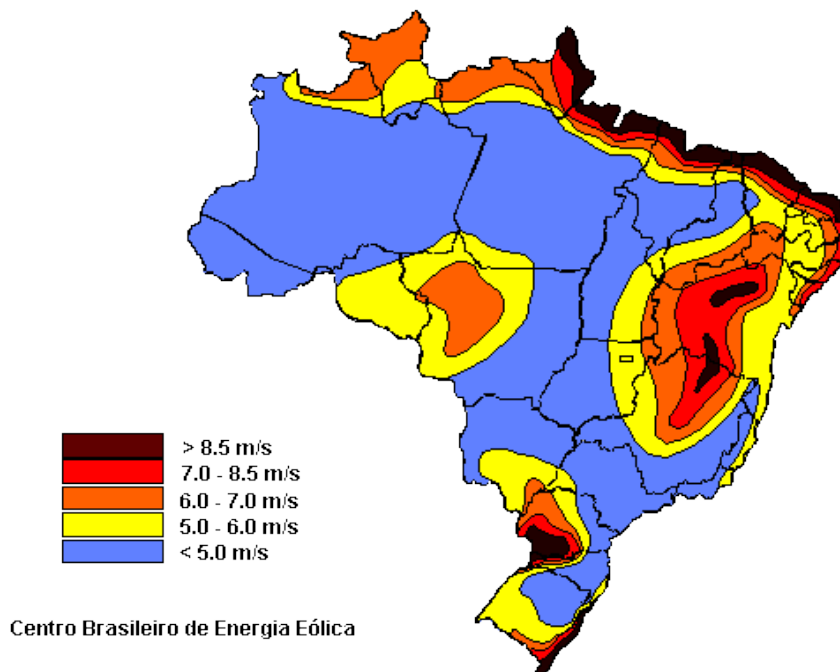
Depois que as leis 10.847/2004 e 10.848/2004 entraram em vigor, leis essas que estabeleceram o princípio de planejamento determinativo para a geração de energia nova, instituindo a necessidade de contratação por partes das distribuidoras de até 100% da carga de energia necessária para o atendimento da demanda futura, vetando assim a liberdade na decisão de investimento e compra livre de energia entre os agente, onde era permitido inclusive que os grupos ligados a concessionárias de distribuição, gerassem a sua própria energia, conhecido no tempo por *self dealing*, que significa auto negociação, no tempo conhecido 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 houveram 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 por conta dos 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), como mostra

a Figura 7. Esses fatores permitem que as máquinas operem com melhor eficiência comparado aos países europeus e norte-americanos.

Figura 7 - Mapa das potencialidades eólicas do Brasil.

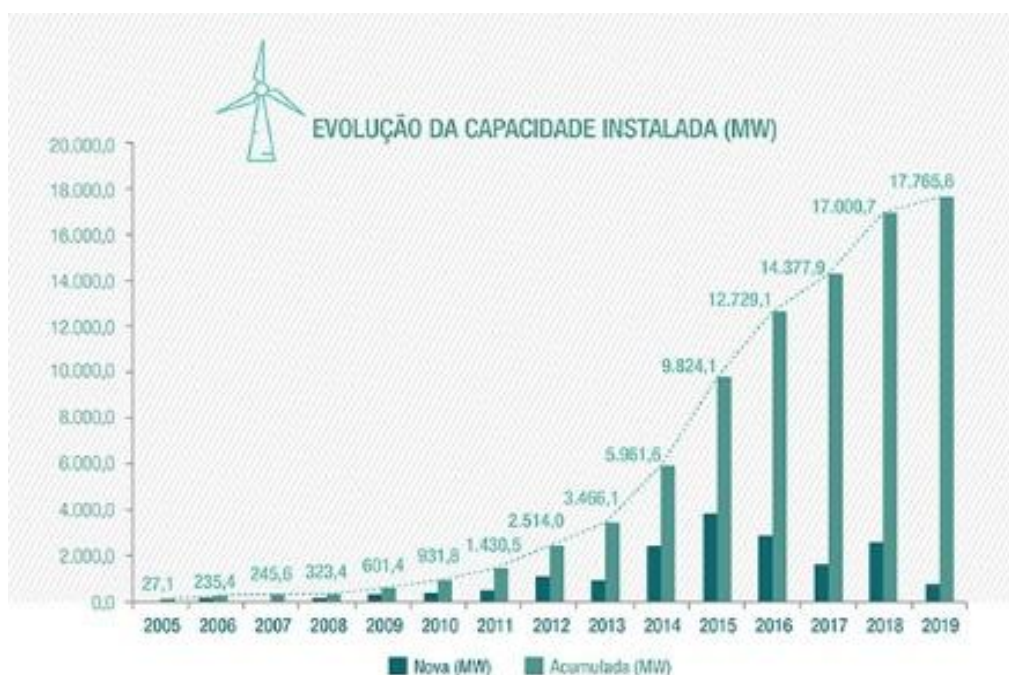


Fonte: Dados da CBEE

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 pararam por aí, o Brasil participa constantemente de leilões para a adição de novas instalações. 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 de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Evolução da capacidade instalada no Brasil.



Fonte: ABEEólica, Dezembro 2014.

Vários foram os motivos para resultar nessa grande expansão da energia eólica em um pequeno intervalo de tempo no Brasil. A atração de investimento em massa pelo reforço do governo brasileiro sobre a política de nacionalização da produção dos equipamentos e insumos por meio do Plano de Nacionalização Progressiva (PNP – FINAME), com o objetivo de permitir a inclusão de outras empresas que ainda não operavam no país, possibilitando aumentar o percentual de atendimento dos requisitos de conteúdos locais, outro motivo é o apoio nacional, como descontos significativos nas tarifas de transmissão e distribuição. Como consequência, fabricantes do setor eólico como pás, aerogeradores, torres, fixadores, de todas parte metálica vieram a produzir quantidade em massa no Brasil, principalmente na 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. Até 2014 já haviam no Brasil 10 fabricantes de aerogeradores, 9 fabricantes de torre e 4 fabricantes de pás. Diante disso, já tem empresas começando a olhar para o exterior, visando a exportação de turbinas fabricadas no país, principalmente

pelo fato do dólar está na casa dos R\$ 4 (Fevereiro, 2016), aponta o gerente de vendas de energias renováveis norte americano GE, William Boger em conferência internacional da energia eólica.

Desde o começo dos investimentos da fonte no território brasileiro, acreditavam-se que a capacidade que o Brasil tinha de produzir esse tipo de energia era de apenas 11 GW, após estudos e pesquisa na área, afirmaram-se que nos dias de hoje, o potencial do Brasil para produzir essa energia já passa dos 300 GW, mais do que o dobro do estimado no último atlas de 2001 (MME, 2015). E esse potencial é dividido em valores discrepantes de região para região, isso por vários fatores, como clima, temperatura, constância dos ventos, localização geográfica que influencia nas demais condições, entre outros. O nordeste lidera com mais da metade do potencial nacional com 52,3% de toda a capacidade, somente Alagoas é o único estado a não possuir algum tipo de instalação eólica na região. Em seguida, vem a região sudeste com 20,71% que embora tenha o segundo melhor potencial eólico do Brasil, sua participação é quase insignificante, onde apenas o Rio de Janeiro está presente com 28,05 MW, valor que não chega a 1% do potencial da região. A região sul do país aparece com 15,86% de capacidade total, sendo a segunda região que mais produz a fonte com o estado do Rio Grande do Sul com maior produção na região, com aproximadamente 2,1 GW instalados até o ano de 2018. O estado tem a participação de 89,45% da produção eólica da região, Santa Catarina aparece com 245,5 MW também até 2018, e em seguida o Paraná com apenas 2,5 MW, sem investimento atual. A região Norte do Brasil tem 8,9% de toda a capacidade nacional e a Centro-Oeste 2,15%, no entanto, nenhuma das duas oferecem algum tipo de investimento, tendo portanto a produção atual de energia eólica em 0 MW. (ABEEólica, 2015).

Segundo a Eletrobras (2014), entre todos os complexos eólicos do Brasil, o *Campus Neutrais*, 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, Figura 9.

Figura 9 - Complexo eólico campos neutrais.



Fonte: <http://www.ihu.unisinos.br/noticias/528321-os-dez-estados-brasileiros-que-mais-produzem-energia-eolica>

Para a aquisição e conhecimento sobre a área eólica, existem além de leilões, algumas 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, nele é possível ter oportunidades de negócios além de participar de sessões da conferência do programa focado em questões relevantes para o setor eólico. Na última edição realizada em 2015, o evento atraiu mais de 2.700 participantes, com 32 patrocinadores e 91 expositores. A edição de 2016 será entre o fim de agosto e o início de setembro no Rio de Janeiro, sendo a 7ª realizada.

2.3 Nordeste

É sabido que o Brasil é um país bastante beneficiado quanto as ações dos ventos, sendo no nordeste a maior concentração dos mesmos, com características ideais para a 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 hídrica-eólica, tudo por motivo 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 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 termoeletricas dão uma freada, que é uma energia suja e cara para se produzir.

O aproveitamento desse potencial é uma verdadeira grande oportunidade em termos de produção de energia. Isso vem sendo observado por grandes empresários nacionais e internacionais. O Nordeste vem 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 a Etiópia, Somália e Venezuela, porém eles não aproveitam a energia. Segundo Élbis Gannoum, presidente da ABEEólica, em artigo, “os bons ventos 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 veio por meio dos leilões, que como esses leilões são processos competitivos, favoreceram bastante a região, visto que tem o maior potencial eólico do país, que em 2014 tiveram 47 complexos, usinas e parques

inauguradas, e com obras em andamento com prazos para finalização em 2018 e 2020 (ABEEólica, 2015).

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, como segue na Tabela 1, referente a todos os estados produtores.

Tabela 1 - Projeção instalada no Brasil até o fim de 2017.

Energia Eólica - Projeção da Potência Instalada (MW) no Brasil até o final de 2017 - Base: Agosto de 2015							
Estado	Parques Eólicos Instalados (Julho/2015)	Parques Eólicos em construção (Julho/2015)	Parques Eólicos Instalados até Dezembro de 2017	Potência Instalada em Julho/2015 (MW)	Potência em construção até Dezembro/2017 (MW)	Potência Instalada em Dezembro/2017 (MW)	% Total
Bahia	43	167	210	1.103,4	3.832,1	4.935,5	27,78%
Rio Grande do Norte	90	87	177	2.525,6	2.250,9	4.776,5	26,88%
Ceará	45	58	103	1.256,1	1.326,2	2.582,3	14,53%
Rio Grande do Sul	50	41	91	1.303,7	765,5	2.069,2	11,65%
Piauí	10	54	64	263,5	1.396,5	1.660,0	9,34%
Pernambuco	8	29	37	104,7	815,7	920,4	5,18%
Maranhão	0	13	13	0,0	360,3	360,3	2,03%
Santa Catarina	14	0	14	238,5	0,0	238,5	1,34%
Paraíba	13	3	16	69,0	90,0	159,0	0,89%
Sergipe	1	0	1	34,5	0,0	34,5	0,19%
Rio de Janeiro	1	0	1	28,1	0,0	28,1	0,16%
Paraná	1	0	1	2,5	0,0	2,5	0,01%
BRASIL	276	452	728	5.938,4	10.837,2	17.766,8	100,00%
http://abeeolica.org.br/pdf/Boletim-de-Dados-ABEEolica-Agosto-2015-Publico.pdf							

Fonte: PortalABEEólica, 2015

Como ilustra a Tabela 1, 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 referente 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 a 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 eólica 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.

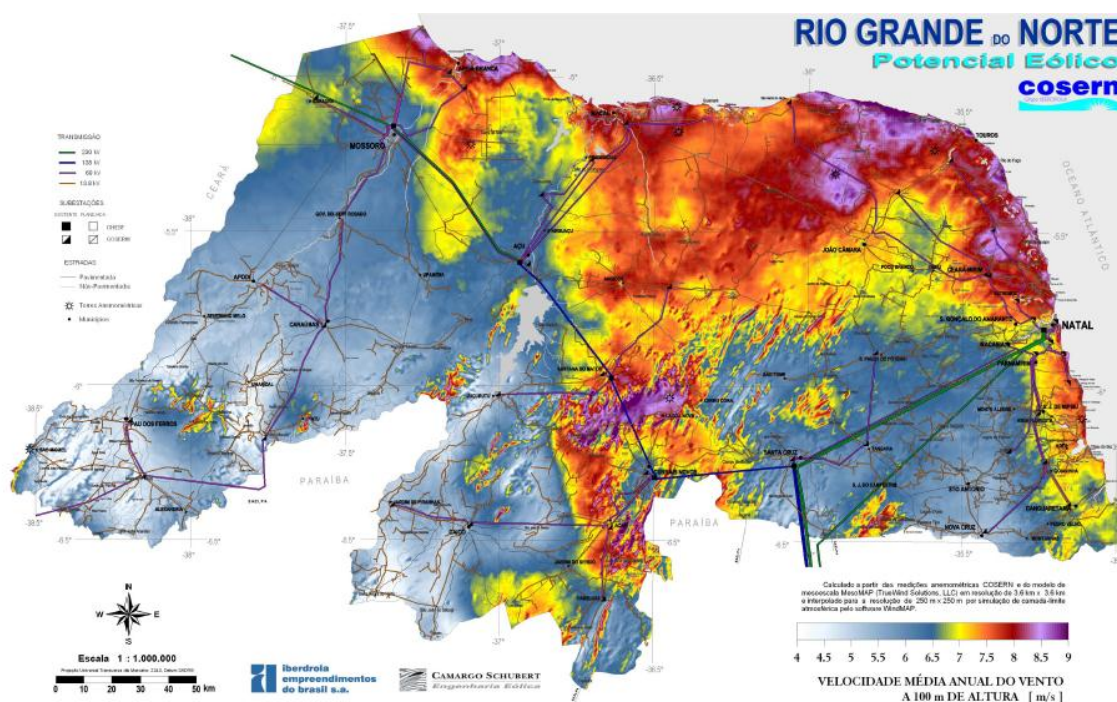
Ainda, apesar das agressões ao meio ambiente serem bastante reduzidas comparada à outras fontes, quando somado essas pequenas agressões em milhares de torres, esse impacto se torna grande. Isso ocorre em especial no nordeste, pois é onde se concentra em massa a instalação dos complexos, usinas e torres.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

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, 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, de acordo com o mapa eólico a seguir ilustrado pela Figura 10 do estado divulgado pela concessionária de energia elétrica do Rio Grande do Norte (COSERN), em Potencial eólico do estado do Rio Gande do Norte, p. 39.

Figura 10 - Mapa eólico do Rio Grande do Norte.



Fonte: COSERN

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, torna bastante tranquilo, mostrando autossuficiência energética, diminuindo a pressão nas demais produções de energia. (CERNE, 2014). Independentemente da economia andar na contra mão 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 está desde 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, consequentemente 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, consequentemente 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.

Próximos investimentos no estado será iniciado na região do Mato Grande, Litoral Norte, onde já existe 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. Os principais parques eólicos do estado são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais parques eólicos do RN

Parque Eólico	Cidade	Capacidade Instalada
Alegria 1, 2, 3	Guamaré	151,9 MW
Calangos 1, 2, 3, 4, 5	Bodó	150 MW
Morro dos Ventos	João Câmara	145,2 MW
Miassaba	Macau	68 MW
Rei dos ventos	Ilha de Galinhos	60,12 MW

3. FUNCIONAMENTO

3.1 Tipos de turbinas

Como a água e outras substâncias, o ar 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 rapidamente, esse movimento se chama energia cinética. Para gerar energia através do ar, existe a turbina eólica, onde as pás das turbinas são projetadas para capturar a energia cinética contida no vento. 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 3 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 partir disso, primeiramente iremos dividir os tipos de turbinas em relação ao seus eixos: turbina eólica de eixo horizontal (TEEH) e turbina eólica de eixo vertical (TEEV); serão divididas também em dois grupos as turbinas: turbina de sustentação e turbina de arraste; com localização em terra (*onshore*) e localizados em mar (*offshore*); Por fim, serão classificadas as turbinas eólicas em *upwind* e *downwind*.

Segundo Marcelo Melo (MELO, 2012, p. 5) turbinas de arraste são as que o vento recai nas pás, ocasionando a rotação do rotor, um exemplo dessa turbina é a de Savonius de eixo vertical, como mostra a Figura 11, onde nesse tipo a velocidade das pás é sempre menor ou igual a velocidade do vento, dessa maneira é utilizada várias pás com o objetivo de aumentar a área de contato com o vento a ser arrastada.

Figura 11 - Turbina de Savonius.



Fonte: http://www.ecosources.info/dossiers/Eolienne_verticale_Savonius

Já nas turbinas de sustentação são usadas espécies de aerofólios com o objetivo de projetar as pás das turbinas como ilustra a Figura 12, gerando assim uma diferença de pressão nas superfícies inferior e superior da pá, logo, gerando uma força de sustentação (*Lift*), a qual é responsável pela movimentação do rotor. Um exemplo de turbina de sustentação de eixo vertical é a turbina de Darrieus, no entanto, a turbina de sustentação de eixo horizontal é atualmente a tecnologia dominante na geração de energia elétrica no setor eólico.

Figura 12 - Turbina Darrieus.



Fonte: <http://en.wind-turbine-models.com/foto/565/dornier-darrieus-55-vertikalachser>

As TEEH podem possuir números diferentes de pás. Segundo o Instituto Alemão de Energia Eólica (DEWI), em sua publicação *Wind Energy Made in Germany* (1998), quanto menor o número de pás mais rápido o rotor gira. Após a iniciação de rotação do rotor através das pás, os geradores elétricos são acionados com rotação elevadas na maioria das vezes, para ser possível a redução da massa das caias de transmissão e dos geradores. No entanto, geradores comerciais com velocidade de ponta de pá muito altas tem a desvantagem de apresentar um alto ruído do rotor, levando em consideração que o mesmo aumenta com a sexta potência da velocidade da ponta da pá.

Um dos motivos para a aplicação de aerogeradores de uma só pá foi a redução da massa total das máquinas e a resultante da velocidade rotacional. No entanto, existe um desbalanceamento no rotor nesse tipo de aerogerador que gera movimentos adicionais, tendo que acrescentar outros equipamentos para compensar, além de provocar um aumento nos ruídos, aumentando a poluição sonora, contando como mais uma desvantagem para o mercado (DEWI, 1998).

Não só uma pá, mas também fizeram testes com aerogeradores de duas pás, trabalhando ainda em cima da teoria que quanto menos pás maior a velocidade do rotor, só que também encontraram algumas dificuldades, começando pelos esforços técnicos

adicionais no novo comportamento dinâmico do rotor, mostrando também um alto nível de ruído comparado a aerogeradores de 3 pás (DEWI, 1998).

Completando, as famosas turbinas de 3 pás como mostra a Figura 13, são as mais viáveis, pela sua configuração de esforços mais vantajosa, e sem necessidade de peças adicionais como amortecedores e juntas. Com essa aerodinâmica o motor trabalha de forma suave, tendo assim, menor nível de ruído, tendo como consequência maior aceitação para a indústria e a população circunvizinha.

Figura 13 - Aerogerador de 3 pás.



Fonte: <http://www.engquimicasantosp.com.br/2013/12/energia-eolica-e-aerogeradores.html>

Dessa maneira, o mercado de energia eólica, encontrou nas turbinas eólicas de eixo horizontal de três pás o melhor conjunto tecnológico no ponto de vista técnico e econômico, sendo adotada por todas as grandes empresas no setor, por ser mais estáveis dinamicamente pela sua melhor distribuição de peso, assim reduzindo os esforços mecânicos nos demais componentes físicos, especificamente na torre, diminuindo os ruídos comparadas as torres de 1 ou 2 pás por ter menor velocidade rotacional para um mesmo valor de energia gerada, assim, extinguindo praticamente todos os outros tipos de turbina.

Após a adoção definitiva da melhor aerodinâmica para as torres, a tecnologia nos anos atuais está tendo um foco em cima do aumento do tamanho dos aerogeradores e da potência do mesmo, partindo do princípio que quanto mais alta a torre eólica maior a energia absorvida, visto que quanto maior a altura maior a velocidade do vento.

Não são apenas em terras firmes que esses parques são projetados, eles também são postos em prática em alto mar e lagos. *Onshore* é o nome dado ao parque eólico

instalado sobre a superfície terrestre sólida, a mais usada por ser consideravelmente mais barata e menos complexa. *Offshore* é o parque inserido em alto mar ou lago, seu custo chega a ser mais que o dobro da *Onshore* e suas instalações concentram-se mais na Europa, ou em locais com pouco espaço disponível para a instalação da fonte eólica. Uma característica é que por ser sobre alto mar os ventos são mais propícios a maior velocidade devido as ondas, fazendo assim com que as pás estejam sujeitas a maior rotação (BENITO, 2012). Figura 14 mostra no lado esquerdo o esquema onshore e no lado direito offshore.

Figura 14 - Parques *onshore* e *offshore* paralelos.



Fonte: <http://www.generalcable.pt/Inicio/tabid/386/ctl/Details/mid/3175/ItemID/1737/Default.aspx>

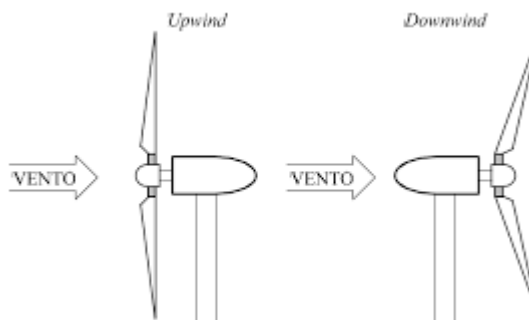
Além da orientação vertical, horizontal, da quantidade de pás existente nos rotores e das suas localizações, também deve-se mencionar a classificação de acordo com a posição do rotor em relação a torre, recebendo ventos de frente e de trás, *upwind* e *downwind* respectivamente, mudando a posição das 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 o 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 torre.

Nas turbinas *upwind*, o vento supra 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 uma certa flexibilidade em relação ao movimento do vento, geram menos ruídos. O modelo *upwind* é a tecnologia dominante no mundo. A diferença é mostrada na Figura 15. (MATOS; M. S. M. 2012).

Figura 15 - Imagem dos esquemas *upwind* e *downwind*.



Fonte: http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/19308/19308_3.PDF

As TEEH usam uma torre para elevar os componentes da turbina a uma altura ideal para a velocidade do vento e ocupam pouco espaço no solo, visto que seus componentes estão elevados a até 135 metros de altura, dependendo do parque eólico. Dois fatores contribuem para o melhor rendimento da turbina, a aerodinâmica e tamanho. As duas forças aerodinâmicas principais que atuam sobre os rotores da turbina eólica são o empuxo, que atua perpendicularmente ao fluxo do vento e ao arrasto, trabalhando paralelamente ao fluxo do vento. Quanto maior as pás da turbina mais energia ela pode capturar do vento e maior a capacidade de geração de energia elétrica. Conclui Marcelo Silva.

3.2 Componentes do aerogerador

De acordo com Alvim Filho (apud MELO, 2012), os principais componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal são:

3.2.1 Nacelle ou Cabina

Componente que fica localizado na parte mais superior do aero gerador de material metálico responsável por abrigar diversos componentes, como gerador, o sistema

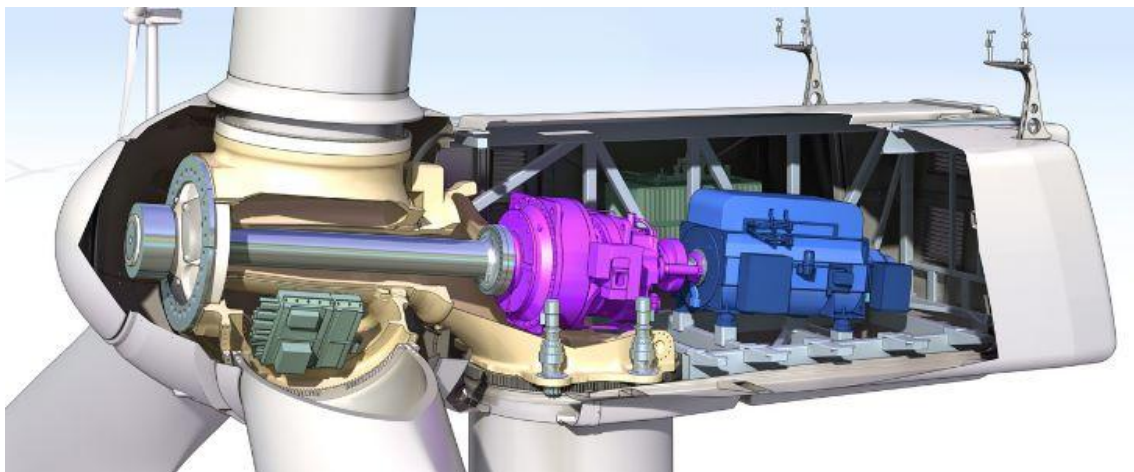
de transmissão de potência entre outros. Alguns aerogeradores possuem nacelle com caixa de engrenagem multiplicadora, outros não, de acordo com as Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Nacelle Parte externa.



Fonte: <http://www.usinagem-brasil.com.br/novo/arquivos/image/UB-2012/25-MVC-esta.jpg>

Figura 17 - Nacelle Parte interna.



Fonte: <http://www.portal-energia.com/wp-content/uploadsthumbs/nacelle-wind-turbine.jpg>

3.2.2 Cubo

Parte responsável por receber as pás, compondo assim o rotor, assim, transmitindo a energia captada pelas pás para o eixo de acordo com a Figura 18. Além disso, o cubo recebe no seu interior em alguns modelos mecanismos que facilitam a orientação através de motores controlados pela informação do cata-vento, bem como sistemas de travas na presença de ventos fortes.

Figura 18 - Cubo e suas partes constituintes.



Fonte:

http://www.impsa.com/pt/produtos/impsawind/SiteAssets/SitePages/produtos/IWP100_despiece_unipower_web.jpg

3.2.3 Pás

São as partes responsáveis pela captação da energia dos ventos como forma de aerofólio e a converte em energia rotacional no eixo de acordo com a Figura 19. 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. Essas características são essenciais para uma pá, visto que estão sujeitas a condições extremas de trabalho, expostas ao longo período de rotação e agressões ambientais, em especial, o pó arrastado pelo vento. A área de exposição ocupada pelas pás é dada por:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Onde:

A = Área em m^2

D = Diâmetro em m

As suas condições de funcionamento, depende da velocidade de ponta de pá, que pode ser obtido pela expressão:

$$V = \omega \cdot r = (2\pi n \cdot (60))r = rpm$$

Onde

n = Velocidade de rotação do rotor em rpm

r = Raio do rotor em metros

As pás são postas no cubo com uma ligeira inclinação para proporcionar à força centrífuga uma componente de arrastamento e outra de sustentação. Existem pás de passo fixo (aplica-se um ângulo de inclinação prévio e é executado dessa maneira durante toda a vida útil) e de passo variável (são incorporados mecanismos semelhantes a de asas de avião para variar seu ângulo, que se refere a rotação em torno do seu eixo longitudinal. Essas são as duas tecnologias mais utilizadas nas máquinas eólicas de nível comercial.

Figura 19 - Pás eólicas.



Fonte: http://www.ge.com/br/sites/default/files/Related_Content_5.JPG

3.2.4 Eixo

O eixo é o equipamento conectado ao cubo do rotor, Figura 20, que giram juntos, o rotor transferindo 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. Ao final, o transformador é responsável por transferir a

energia gerada de forma externa. A potência elétrica gerada em função da velocidade do vento é dada por:

$$P(watts) = \frac{1}{2} \rho A_r V^3 C_p \eta$$

Onde “ ρ ” é a densidade do ar em kg/m³; “ A_r ” é calculado por $\pi.D^2/4$, em que D é o diâmetro do rotor; “ C_p ” é o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor e “ η ” é a eficiência do gerador.

Figura 20 - Eixo Eólico.



Fonte: http://www.villaresmetals.com.br/var/em_plain_site/storage/images/media/bilder/portal-villares-metals/news/eixo-eolico-flangeado/424205-1-por-BR/Eixo-Eolico-Flangeado_imageOverlay.jpg

3.2.5 Caixa de engrenagens

Esse equipamento é responsável por aumentar a velocidade de rotação do eixo entre o cubo do gerador e o rotor. Vale ressaltar que é muito baixa a velocidade de rotação de um rotor de grande porte, entre 10 e 30 rpm, quando comparada com a rotação nominal de geradores elétricos convencionais, entre 1200 a 1800 rpm, além de quanto maior a turbina, menor a velocidade de rotação do rotor. Figura 21.

Figura 21 - Caixa de engrenagens.



Fonte: <http://en.sec-motor.com/imageRepository/d381cfc7-66c2-457d-870e-79a3296c9def.jpg>

Equipamento transformador de energia mecânica do eixo do rotor em energia elétrica via eletromagnetismo (lei de Faraday) podendo ser convencional (com caixa multiplicadora) ou multipolos (sem caixa multiplicadora), ou seja, máquinas rotativas capazes de produzir energia elétrica a partir da força motriz, direta ou indireta do motor. De acordo com a Figura 22.

Figura 22 - Gerador conectado a uma caixa multiplicadora.



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

3.2.6 Unidade de controle eletrônico

Sistema de controle responsável pelo monitoramento do sistema, desligando a turbina em caso de mau funcionamento, controlando também o mecanismo de ajuste para o alinhamento da turbina com o vento. Em um aerogerador regulado por controlador *pitch* o controlador da turbina faz comparação a potência, quando atinge um valor especificado, o controlador envia um sinal ao mecanismo de mudança de ângulo de passo que imediatamente inicia o giro das pás do rotor.

Figura 23 - Unidade de controle eletrônico.



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

3.2.7 Torre

Uma torre é o sistema de sustentação dos grandes aerogeradores, tendo forma ligeiramente cônica sobre a qual se apoia a cabina, conforme mostra a Figura 24. Seu material é metálico, com um diâmetro na base que pode alcançar 4 metros, uma altura próxima a 100 metros em média, mas com modelos superiores a isso nos dias de hoje, e um peso médio de 100 toneladas. Possui uma porta na base onde dá acesso à uma escada que leva até o interior da cabina. Para sua ancoragem, é necessário uma base muito sólida

que seja capaz de suportar o seu peso e a vibração de quando o rotor está em funcionamento com elevadas velocidades do vento.

Figura 24 - Torre eólica.



Fonte: <http://1.bp.blogspot.com/-bYlImWmiH5Y/TwwbMj9saPI/AAAAAAAAANfw/gOnzKxJUv6o/s1600/Erecon-E126-a-maior-turbina-eolica-do-mundo.jpg>

3.2.8 Demais componentes

- Controlador de orientação: move o rotor para alinhá-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 DA ENERGIA EÓLICA

Já é de se imaginar que as vantagens sejam sem dúvidas em mais quantidade que as desvantagens, fazendo assim com que seja com boa opção para a escolha da fonte. No entanto, o fato de ser uma energia limpa, inesgotável e sustentável, não quer dizer que não exista o seu lado negativo, trazendo prejuízos sociais e ambientais para a região que a cerca. De acordo com a presidente executiva da (ABEEólica), Elbia Gannoum, 2015, no 56º Fórum de Debates Brazilianas.org, são citadas a seguir as seguintes vantagens e desvantagens:

4.1 Vantagens

As vantagens são tantas, que pode-se dividir o alvo para qual o benefício esteja sendo direcionado:

- Para a sociedade em geral:
 - Inesgotável;
 - Não emite gás poluente nem gera resíduo;
 - Diminui a emissão de gases do efeito estufa;
- Para a comunidade onde se é inserido o parque:
 - O parque é compatível com outra atividade inserida como agricultura e pecuária;
 - Uma das mais baratas quando comparada com as demais fontes;
 - Geração de emprego de forma direta e indireta;
 - Geração de investimentos em regiões desfavorecidas;
 - Benefícios financeiros (donos de terras recebem royalties e direitos sobre a área);
- Vantagens para o estado:
 - diminui a dependência energética do exterior, nomeadamente a dependência em combustíveis fósseis;
 - Créditos pela diminuição do CO₂ pelo tratado de Quioto;
 - Possível contribuição de cota de geração de energia elétrica para outros setores da atividade econômica;

- Uma das fontes mais baratas de energia, podendo competir e termos de rentabilidade com as demais fontes de energia;
- Vantagens para os promotores:
 - Os aerogeradores não necessitam de abastecimento de energia e sua manutenção é relativamente demorada, em média de 6 em 6 meses;
 - Necessita de pouco espaço em relação a quantidade de energia gerada;
 - Excelente rentabilidade, em apenas 6 meses o aerogerador recupera a energia gasta em sua fabricação, instalação e manutenção;

4.2 Desvantagens

- Nem sempre o vento está a favor quando a energia é realmente necessária;
- Impacto visual, podendo ser perceptível de 10 a 15 km de distância;
- Impacto óptico, refletindo através das suas pás a luz do sol como forma de flash, podendo atrapalhar motoristas das regiões próximas;
- Aves da região passam por um processo de migração, além das colisões das mesmas com as torres, ocasionando assim a morte de muitas delas;
- O vento ao colidir com as pás produz um ruído constante, com uma média aproximada de 43 db, assim, as habitações mais próximas poderão estar no mínimo a uma distância de 200m;

5. AERODINÂMICA DAS MAQUINAS EÓLICAS

Para Tomás Perales (2012), os ventos são formados de forma indireta da energia solar, dando sentido ao processo de energia eólica. Essas massas de ar que chamamos de vento, originadas pela diferença de temperatura na superfície da terra são compostas por três variáveis: velocidade, densidade e direção.

Nos aerogeradores, a energia cinética dos ventos é transmitida das pás para o rotor que por sua vez passa para o gerador, transformando primeiro em energia mecânica, em seguida energia elétrica. A potência gerada pelo aerogerador é definida pela densidade do ar, velocidade dos ventos e área de varredura das pás com isso pode ser definido as expressões que definem a aerodinâmica.

A energia cinética é definida pela ação do movimento, nesse caso as massas de ar, assim, dada uma massa **m** e uma velocidade **v**, definem energia cinética da seguinte forma:

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Onde:

m = Massa de ar, em m^3

v = Velocidade do ar, em m/s

Ainda segundo Tomás (2012), a potência do vento corresponde a energia cinética por unidade de tempo. O seu valor resulta da velocidade do vento e do fluxo mássico, que varia em função do fluxo volumétrico do ar e da sua densidade. Nessas condições, o fluxo volumétrico é dado por:

$$Fluxo_{volumétrico} = AV \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Onde:

A = Área do rotor/turbina ($A = \pi r^2 = \frac{\pi D^2}{4}$)

V = Velocidade do vento em m/s

E o fluxo mássico:

$$Fluxo_{mássico} = \rho AV \left(\frac{kg}{s} \right)$$

Onde:

ρ = Densidade do ar

Um litro de ar pesa aproximadamente 1,225 gramas ao nível do mar, em uma temperatura estimada de 20°C. A densidade do ar varia com a mudança da pressão atmosférica e da temperatura, logo o seu novo valor pode ser encontrado pela expressão:

$$\rho = \frac{P}{RT} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Onde:

P = Pressão atmosférica (Pa)

$R = \text{Constante universal } (287 \frac{J}{kg \cdot K})$

$T = \text{Temperatura } (K)$

A partir das expressões anteriores, deduz-se a potência cinética ideal ou teórica por:

$$Energia_{cinética} = 1/2mv^2(J)$$

Onde:

$m = \text{Massa do ar, em kg.}$

No entanto, a potência teórica ideal está longe da real. Podendo-se calcular a potência real por:

$$P_{real} = P_{teórico} \cdot n$$

Onde:

$n = \text{Produto dos coeficientes de perda.}$

Ainda, existe uma variável chamada de Coeficiente de Betz (C_p), que afirma, que a potência máxima que se pode extrair do vento é $16/27 = 0,592$ (MANWEL, 2009). Isso ocorre pela dinâmica do vento com o aerogerador. Além disso, as máquinas estão sujeitas a perdas de potência por atritos nos acessórios mecânicos e as que se produzem no gerador elétrico, estas duas são definidas pela sua eficiência. Com as seguintes observações, pode-se então concluir que a potência eólica real, isto é, a aproveitável para produzir eletricidade corresponde a seguinte expressão:

$$P = 1/2\rho AV^3 C_p \eta_1 \eta_2$$

Onde:

$C_p = \text{Coeficiente de Betz.}$

$\eta_1 = \text{Perdas mecânicas.}$

$\eta_2 = \text{Perdas do gerador elétrico.}$

6. PROJETO

Neste capítulo, será inserido alguns conceitos de projeto de viabilidade de aerogeradores. Tais conceitos serão apresentados por meio de um projeto prático dos procedimentos necessários a serem realizados para estudar a implantação de uma micro geração eólica.

Neste projeto, será estudado a viabilidade de implantar uma micro geração eólica para alimentar os ar condicionados do bloco de professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) localizado na cidade de Pau dos Ferros-RN.

A cidade de Pau dos Ferros está localizada no oeste do estado do Rio Grande do Norte, com localizações geográficas, latitude: 06° 06' 33" S, longitude: 38° 12' 16" W, altitude: 193 metros acima do nível do mar, com área territorial de 278 km².

Para tal projeto, foram coletados dados relacionados às máquinas de condicionadores de ar, tais como as quantidades do setor e suas respectivas potências como mostra abaixo.

Tabela 3 - Quantidades e potências dos condicionadores de ar do bloco de professores

Condicionador de ar	Potência Unitária	Quantidade	Total Parcial
18.000 BTU's	1,060 kW	35	37,1 kW
36.000 BTU's	2,303 kW	4	9,212 kW

De acordo com a Tabela 3, a potência total instalada no bloco de professores é de 46,32 kW. Levando em consideração que o tempo médio de utilização do bloco dos professores é de 8h por dia, da segunda a sexta-feira (5 dias), 1h por dia no sábado (1 dia) e 0,5 horas por dia no domingo (1 dia). Então, a média de tempo mensal é de:

$$t = 22 * 8 + 4 * 1 + 4 * 0,5 = 182 \text{ h/mês}$$

Portanto, os consumos mensais e anuais estimados são de:

$$Consumo_{mensal} = 46,32 \text{ kW} * 182 \text{ h/mês}$$

$$Consumo_{mensal} = 8430,24 \text{ kWh/mês}$$

$$Consumo_{anual} = 8430,24 \text{ kWh} * 12$$

$$Consumo_{anual} = 101162,88 \text{ kWh}$$

Após os cálculos do consumo, será apresentado os passos realizados para mostrar a viabilidade de implantação de um sistema eólico para alimentar o bloco de professores do câmpus UFERSA – Pau dos Ferros.

No início do projeto, é necessário obter os dados de velocidade do vento no local que será implantado o sistema. Para o procedimento de cálculo ser o mais real possível, utilizou-se os dados de velocidade do vento disponibilizado pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, da estação situada na Cidade de Apodi-RN. Os dados coletados refere-se às velocidades de vento durante 1 ano, pois conforme afirma Molly (1990), A base de um prognóstico eólico é a medição de ventos pelo período mínimo de 13 meses, tomando-se a média de 10 em 10 minutos e altura mínima definida teoricamente para leitura de dados de vento é de 10 m.

Em um projeto, é necessário obter os dados de vento à altura que será instalado o rotor do aerogerador (50 metros), como os dados foram obtidos a uma altura em torno de 10 metros, será utilizado a Lei logarítmica (CASTRO, 2005), fórmula abaixo, para extrapolar para o valor de 50 metros.

$$v = v_{ref} \cdot \frac{\log(h_2/z_0)}{\log(h_1/z_0)}$$

Onde:

v é a velocidade que desejamos estimar;

v_{ref} é a velocidade que foi medida à altura de 10 m;

h_2 altura que desejamos estimar o valor da velocidade v ;

h_1 altura que foi medido o v_{ref} .

z_0 é a rugosidade do terreno.

A partir do mapa do Atlas eólico do RN, verificou-se que a rugosidade de Pau dos Ferros é aproximadamente 0,25.

A Tabela 4 apresenta as médias anuais para altura de 10 metros e para altura de 50 metros.

Tabela 4 - Médias anuais

	Média (10 m)	Média (50 m)
Média Anual	2,2741 m/s	3,2097

Fonte: Autor.

Os dados discretos das velocidades dos ventos diários, mensais e anuais são pouco adequadas para estimar a energia disponível e a energia gerada pelos possíveis equipamentos, é conveniente obter uma função contínua de distribuição das frequências com que ocorra cada faixa de velocidade do vento.

Neste trabalho, será utilizado a distribuição de Weibull. Vários relatos mostram que a função de densidade de probabilidades de Weibull, representada pela equação abaixo, é um modelo adequado para caracterizar a distribuição de velocidades do vento em diversas regiões, além de representar de maneira bastante aproximada o histograma de distribuição de velocidades e ser uma função de fácil associação ao regime de ventos que se deseja simular.

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right]$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{V}\right)^{-1.085}$$

$$c = \frac{V}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$

Onde:

c é o fator de escala;

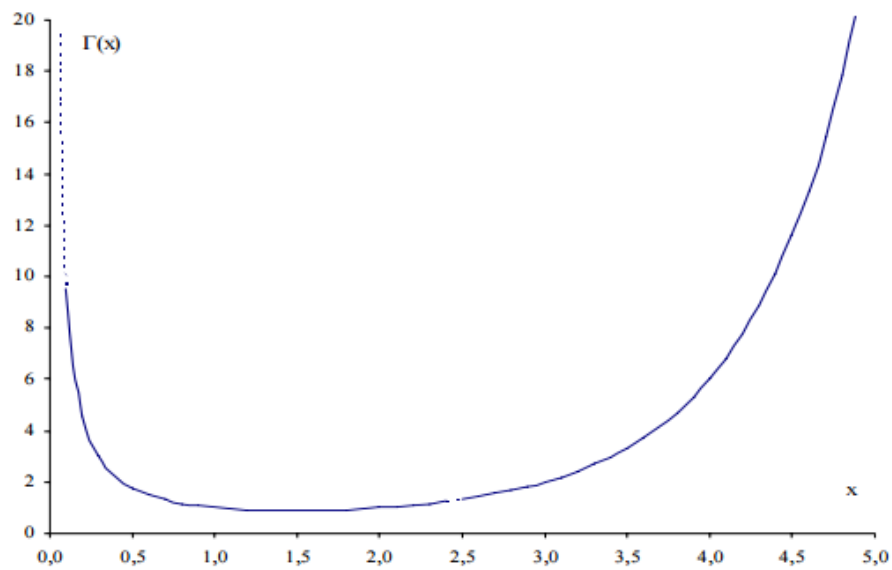
k é o fator de forma (adimensional);

V é a velocidade média.

Γ é a função gama.

A partir do gráfico da função gama, podemos encontrar o valor de $\Gamma(1+1/k) = 0.893$.

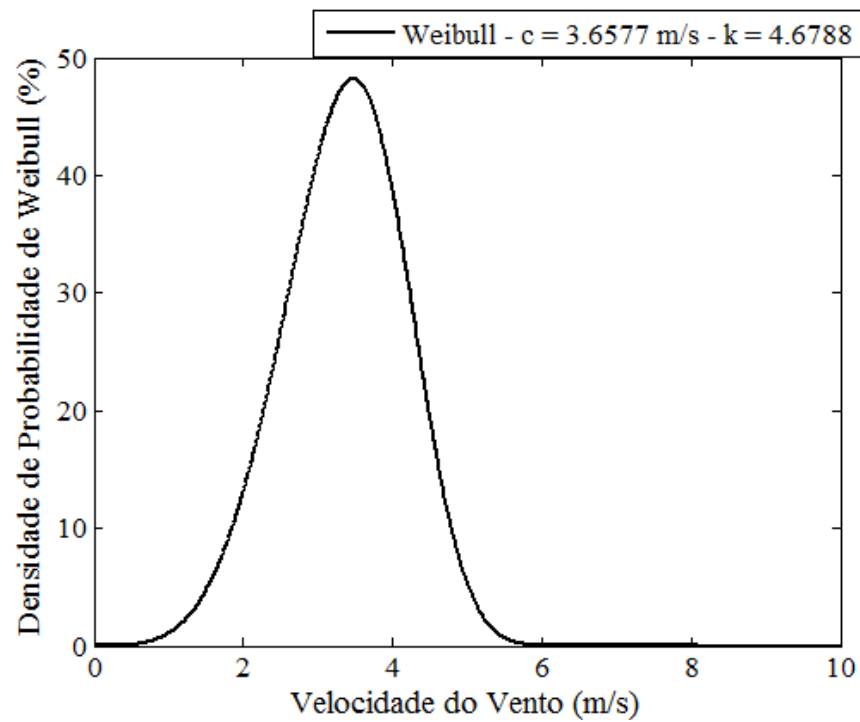
Figura 25- Gráfico da Função Gama



Fonte: http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2246/material/apostilas/A3_Probabilidade_2.pdf

A partir dos dados encontrados, e utilizando o software computacional Matlab, encontramos os valores da distribuição de Weibull. A Figura 26 mostra o resultado do gráfico para os dados do vento para 50 metros.

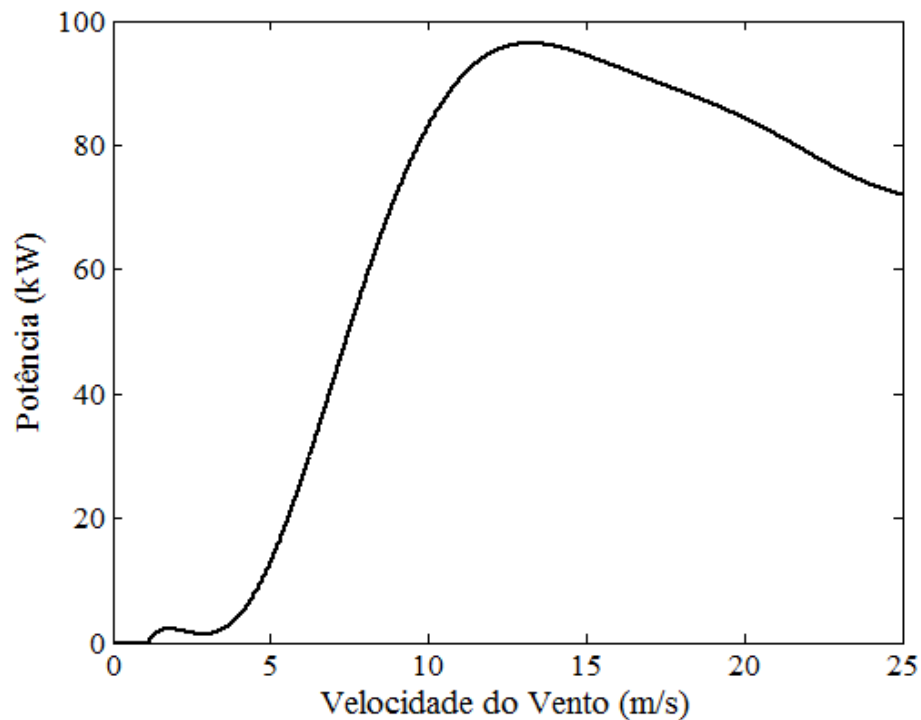
Figura 26 - Distribuição de Weibull



Fonte: Autor.

Após a distribuição de Weibull, é necessário a curva de potência do aerogerador. Neste trabalho, será utilizado o aerogerador de 100 kW da WEG, cuja curva de potência para a localidade do campus levando em conta a densidade do ar de $1,17 \text{ kg/m}^3$ é apresentada na Figura 27.

Figura 27 - Curva de Potência do Aerogerador



Fonte: Autor.

De acordo com Lopes e Almeida (2003), pode-se determinar a energia capturada pela turbina em um determinado período, utilizando o procedimento descrito a seguir.

$$N(x) = f(V).t$$

Onde:

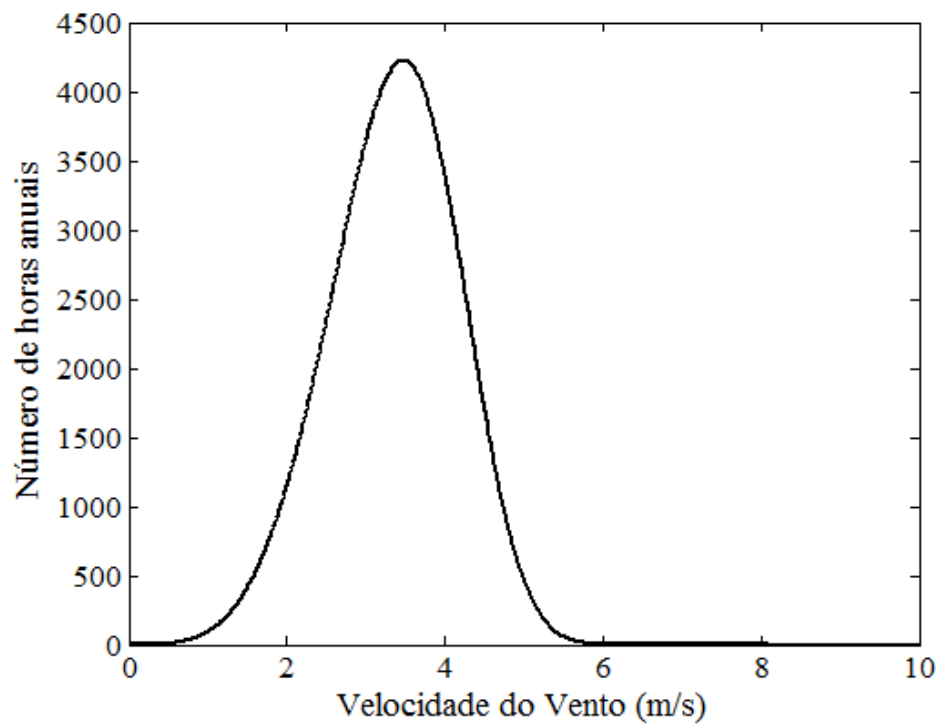
$N(x)$ é o intervalo de tempo durante o qual cada velocidade do vento ocorreu;

$f(V)$ é a função densidade de probabilidade de Weibull;

t é o número de horas do período considerado (nosso projeto, 1 ano, 8760 horas)

A Figura 28 apresenta o gráfico do número de horas anuais em função da velocidade do vento.

Figura 28 - Número de horas anuais em relação a velocidade do vento



Fonte: Autor

Para encontrar a energia anual convertida, basta realizar a operação da fórmula abaixo.

$$E_c(V) = f(V) \cdot t \cdot P(V)$$

Onde

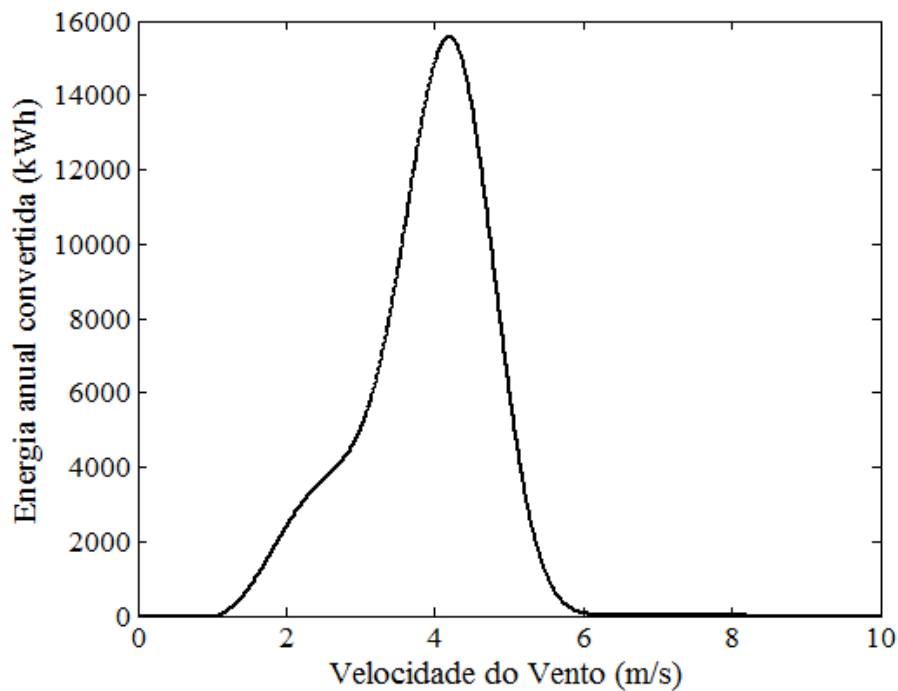
$E_c(V)$ é a energia convertida

$f(V)$ densidade de probabilidade Weibull

t é o número de horas do período considerado (nosso projeto, 1 ano, 8760 horas)

A Figura 29 apresenta o resultado da energia anual convertida.

Figura 29 - Energia anual convertida em função da velocidade do vento



Fonte: Autor.

Para encontrar a energia total convertida (E_{tc}) basta realizar a integração da energia convertida anual para os limites de 3 (*cut-in*) a 25 m/s (*cut-out*). Como pode verificar nos gráficos, em 10 m/s a produção nessa região para o aerogerador é nula. Então, será realizada a integração de 3 a 10 m/s.

$$E_{tc} = \int_{v_{min}}^{v_{max}} E_c(V)$$

Para realizar essa integração, utilizou-se o método numérico do trapézio simples. E o resultado foi:

$$E_{tc} = 28560 \text{ kWh}$$

Conforme calculado acima, o bloco de professores possui um consumo anual estimado de 101162.88 kWh. Então, 101162.88 kWh/28560 kWh é igual a 3,5421. Então é necessário 4 aerogeradores do modelo especificado.

Segundo a empresa Cosern do grupo Neoenergia, o preço pelo kWh/mês é de R\$ 0,5697 correspondente a Abril de 2016. Logo para um consumo mensal temos:

$$Total \text{ Mensal}_{em \text{ reais}} = Potencia \text{ mensal consumida em kWh} . Pre\c{c}o \text{ por kWh}$$

$$Total \text{ Mensal}_{em \text{ reais}} = 8430,24 . 0,5697$$

$$Total \text{ Mensal}_{em \text{ reais}} = 4802,70$$

Em um ano, gasta-se com energia, em torno de R\$ 57.632,00 com o bloco de professores. O preço do aerogerador é em torno de R\$ 2.795.690,00. E é necessário 4 para garantir a geração para atender ao bloco de professores, portanto, o custo será de R\$11.182.760,00. Portanto, o retorno do investimento só viria em torno de 195 anos, o que torna a implantação inviável.

O resultado era esperado já que a velocidade média do vento é muito baixa reduzindo a potência gerada pela turbina.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dependência energética mundial cresce fortemente, por esse motivo, aliado com a pressão sócio-ambiental focado nos empreendimentos de geração energética, a busca por energia renovável aumenta de forma brusca, principalmente quando se trata de energia limpa, nesse panorama se aplica a energia eólica.

De acordo com vários contextos mencionados no decorrer do texto, foi visto que o Panorama geral da energia eólica no Brasil, principalmente nos últimos anos, cresceu de forma exponencial, e tende a crescer muito mais, se mostrando uma fonte promissora, que independentemente da crise, vem crescendo cada vez mais a cada ano, proporcionando geração de empregos e gerando a economia local, além de crescer os índices energéticos, em especial na região nordeste, foco produtivo da fonte.

Este trabalho inicialmente buscou trazer informações recentes a respeito de produção, mercados e números estatísticos relacionados à energia eólica no mundo, por conseguinte explorando o panorama geral do Brasil, em diante o nordeste e o Rio Grande do Norte como maior produtor eólico. Explorou os tipos de aerogeradores, suas funcionalidades e partes constituintes, vantagens e desvantagens, mostrando os princípios físicos e aerodinâmicos que funcionam por trás das mesmas. Por fim realizado um projeto para o suprimento da necessidade energética consumida pelas máquinas de condicionadores de ar do bloco de sala de aulas dos professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) campus Pau dos Ferros, por um projeto eólico.

Toma-se como conclusão que a energia eólica é uma ótima fonte quando se refere à investimento, energia limpa e fonte inesgotável. No entanto, necessita-se de uma boa velocidade média de vento na região a ser aplicada, pois a potência gerada trabalha em cima da velocidade do vento, assim, tornando inviável a aplicação em regiões não favoráveis.

Assim, concluindo que para a região do Alto Oeste Potiguar, mais necessariamente na cidade de Pau dos Ferros, não seria viável a implantação de um projeto eólico, tendo em vista a baixa velocidade dos ventos e fatores mostrados ao fim do projeto no corpo do texto.

7.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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.P, **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.

Instituto Alemão de Energia Eólica. **Energia Eólica**. (Traduzido pela Petrobrás) – Wilhelmshaven, Alemanha: DEWI, 1998.

LOPES, T. M. F., and ALMEIDA J. A., 2003, " Análise de Dados da Velocidade do Vento e Potencial Eólico na Cidade do Rio Grande", Anais do II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, (CD-ROM).

Manwell, J, F., McGowan, J, G., Rogers, L, A., et. al., "WIND ENERGY EXPLAINED theory design and application", 2a edição, WILLEY – 2009

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.

World Wide Fund for Natureo, WWF, (**Green Energy Leaders**, p. 16).

EPE, Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2023, 2013.

Disponível em <http://www.revistaecoenergia.com.br/images/revistas/edicao13/pg14a19.pdf> acesso em: (12/04/2016)

Disponível em www.renovaveis.tecnopt.com acesso em: (13/04/2016)

Disponível em <http://cerne.org.br/energia-eolica-mundial-atinge-recorde-de-435-gw-em-2015/> acesso em: (13/04/2016)

Disponível em http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/greenenergyleaders_final_online_version__1_.pdf acesso em: (22/04/2016)

Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf acesso em: (27/04/2016)

Disponível em <http://cerne.org.br/pdfs/CartilhaEolicaCERNE2014.pdf> acesso em: (01/05/2016)

Disponível em <http://seern.com.br/feern-2015-encerra-com-definicao-de-desafios-para-2016/> acesso em: (05/05/2016)

Disponível em <http://www.portalabeeolica.org.br/> acesso em: (17/04/2016)

Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/> acesso em: (18/04/2016)

Disponível em <http://www.gwec.net/> acesso em: (21/04/2016)

Disponível em <http://www.cosern.com.br/Pages/default.aspx> acesso em: (25/04/2016)

Disponível em <http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/3504-bons-ventos-para-o-setor-de-energia.html> acesso em: 16/05/2016.

Disponível em <http://www.eolica.com.br/> acesso em: 17/05/2016.