

POTENCIAL PARA INSTALAÇÃO DE AEROGERADORES RESIDÊNCIAIS NO MUNICÍPIO DE MACAU/RN

Túlio de Brito Batista ¹
Gabriela Nogueira Cunha ²
José Paiva Lopes Neto ³
Emerson Medeiros de Lima ⁴
Rafael da Costa Ferreira ⁵

RESUMO

Estabelecendo a eficiência com que a intensidade dos ventos à 10 metros de altura, seriam capazes de gerar energia segundo as Normativas da Legislação Brasileira, nessa pesquisa, foram obtidos e processados dados climatológicos de 30 anos do município de Macau. Os resultados revelam que a região litorânea apresenta elevados valores de velocidade média dos ventos, o que a coloca em destaque na produção de energia. Desta forma, atribuindo uma residência com 4 ocupantes e consumo médio mensal estimado em 200kWh, no litoral norte do estado, Macau foi considerada apta do ponto de vista técnico a instalação de aerogeradores, suprimindo completamente a demanda energética ao longo do ano.

Palavras-chave: Intensidade dos ventos, Geração de energia, Aerogeradores eólicos.

INTRODUÇÃO

A energia eólica é uma energia produzida pela intensidade com que os ventos se locomovem ao longo do tempo, considerada uma das fontes mais baratas e inesgotável, que não emitem gases poluentes e não geram resíduos. Esta fonte vem sendo utilizada desde os primórdios da sociedade, com máquinas que através da força aerodinâmica de arrasto sobre placas, eram capazes de converter potencial eólico em energia mecânica. Sua principal matéria prima, os ventos, são originados pela associação entre o aquecimento exercido por energia solar sobre a superfície terrestre em rotação planetária.

No Brasil, a maior parte de toda sua energia elétrica consumida, cerca de 61%, advém das hidrelétricas, que mesmo sendo considerada uma energia limpa, prejudicam a fauna e a flora da região, inundando grandes extensões territoriais (ANEEL, 2017). Segundo Amarante et al. (2001), com a crescente escassez de recursos naturais, a ideia de sustentabilidade surge como uma alternativa de preservação desses recursos tão importantes e ao mesmo tempo pouco

¹ Bel. em Ciência e Tecnologia; Estudante de Eng. Civil, UFERSA, Angicos-RN, tuliodebrito@hotmail.com;

² Bel. em Ciência e Tecnologia; Estudante de Eng. Civil, UFERSA, Angicos-RN, gabi2007nc@hotmail.com;

³ Bel. em Ciência e Tecnologia; Estudante de Eng. Civil, UFERSA, Angicos-RN, netopaiva240@gmail.com;

⁴ Estudante de Ciência e Tecnologia, UFERSA, Angicos-RN, emerson_lima@outlook.com;

⁵ Professor orientador: Doutor, UFERSA, Angicos-RN, rafael@ufersa.edu.br.

utilizados, de maneira correta e inteligente. Estudos apontam que o potencial eólico continental brasileiro é estimado em 143 GW, maior do que a geração total de energia no país, que gira em torno de 113 GW.

O aproveitamento dos ventos como fonte energética cresce mundialmente, cerca de 28,6 % ao ano, com uma previsão do Comitê Internacional de Mudanças Climáticas de que até 2030 o mundo esteja utilizando 30 mil MW gerados a partir de energia eólica (PEREIRA, 2009). De acordo com Fadigas (2011) o potencial de crescimento no percentual de participação na matriz energética nacional e mundial é notório. Essa crescente procura e o desenvolvimento de novas tecnologias, permitem que grandes inovações surjam gradativamente, proporcionando que pesquisas à respeito das Turbinas Eólicas de Eixo Vertical (TEEV), sejam feitas por todo o mundo, com destaque para a Alemanha, Espanha e França.

A proximidade da zona de convergência intertropical, põe a região nordeste e consequentemente o Estado do Rio Grande do Norte em destaque, atraindo fortes investimentos no setor nos últimos anos, colocando o Estado como maior produtor de energia eólica do Brasil. Com grandes perspectivas de crescimento no setor, que se comparado ao ano de 2016, podem chegar a 26,5% da capacidade atual de 3,4 gigawatts (GW), este percentual representa 1.316,7 megawatts médios (MW), energia gerada em 127 usinas eólicas instaladas no estado (CERNE, 2017).

Os aerogeradores residenciais são classificados de acordo com o eixo ao redor do qual as pás da turbina giram, sendo estas as: Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal (TEEH) que são encontradas em maior quantidade no mercado e turbina eólica de eixo vertical. Turbinas de grande porte, para potências superiores a 1000kW, são ligadas diretamente à rede elétrica e utilizadas em grandes parques eólicos. Já as turbinas de pequeno porte, como as de eixo vertical, segundo Menezes (2012), são ideais em alturas baixas, como no telhado das residências e em áreas urbanizadas, a sua capacidade de operar em baixas alturas é uma vantagem, pois conseguem minimizar os custos referentes à torre de sustentação e possuem a capacidade de operar com números de Reynolds inferiores devido aos ventos fracos (MATHEW, S, 2011).

Aplicado a pequenas edificações, o uso de aerogeradores eólicos de pequeno porte, atrai cada vez mais pessoas que buscam facilidade de implementar ferramentas economicamente viáveis que ajudem a reduzir o consumo de energia elétrica tradicional, sem provocar o aumento dos gases do efeito estufa. A instalação de fontes alternativas de energia nas residências em grande escala, o que incluem aerogeradores de pequeno porte, podem proporcionar aumento potencial na produção de energia do país, gerando empregos e atraindo investimentos no setor.

Além do que, a transferência da lucratividade do processo de produção energética para a população, torna-se uma forma economicamente viável de melhorar a sua qualidade de vida.

No entanto, o sucesso na produção de energia residencial depende das características intrínsecas a cada localidade, no que se refere a intensidade com que o vento incide em cada região. Desta forma são necessários estudos que orientem a população e que definam áreas prováveis potencialmente favoráveis do ponto de vista técnico para utilização dessa tecnologia. Desta forma, realizou-se o estudo buscando o mapeamento das regiões potenciais a utilização de aerogeradores residências, como forma de orientar a população e empresas que buscam a aplicação dessa tecnologia na região, reduzindo os riscos no que diz respeito a viabilidade técnica para sua utilização.

METODOLOGIA

Modelos de aerogeradores residenciais

Os aerogeradores residenciais são classificados conforme a orientação com que o eixo ao redor das pás da turbina giram, o qual os rotores de eixo vertical também são movidos pela força de arrasto e pela força de sustentação, sendo assim divididos em: Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal (TEEH) ou em inglês Horizontal-axis wind turbines (HAWTs) e as Turbinas Eólicas de Eixo Vertical (TEEV) ou em inglês Vertical-axis wind turbine (VAWTs).

Os rotores verticais são divididos em dois grupos, os do tipo Darrieus movidos por força de sustentação, e o Savonius com menores custos e eficiência. Ambos capazes de gerar energia com intensidades de ventos baixas, estas suficientes para iniciarem o giro das pás, funcionando basicamente com força de arrasto. Nas turbinas eólicas de eixo horizontal o eixo do rotor é paralelo ao fluxo de vento e o ângulo de ataque, em qualquer ponto da pá. Movidos principalmente pelas forças de arrasto (drag) e a de sustentação (lift). Os rotores giram por forças de sustentação e através da potência gerada força de arrasto (MARQUES, 2012).

Com ao fluxo de vento que movimenta as pás, divide-se as turbinas eólicas em: upwind quanto à posição do rotor em relação à torre, necessita de um sistema de orientação do vento, em que o disco varrido pelas pás está à montante do vento e downwind quando está a sentido jusante do vento e sua a orientação é feita automaticamente (MARQUES, 2012).

Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Macau localizado no Estado do Rio Grande do Norte, na região nordeste do país e banhado pelo Oceano Atlântico. É caracterizado pelo clima do Seridó Oriental e seu bioma predominantemente é a caatinga, com temperaturas superiores a 27°C e áreas que passam por longos períodos de seca, caracterizada pela elevada variabilidade espacial e temporal das precipitações (IDEMA, 2016). De acordo com Bezerra (2007), sua formação geológica e geomorfológica é constituída por topografia suave e ondulada, formados por rochas cristalinas com grandes limitações, devido à pequena capacidade de retenção da água e a susceptibilidade à erosão.

O Brasil-RN, localizado na região equatorial do globo terrestre, sofre constante influência dos ventos alísios, que ocorrem entre 0° e 30° de latitude. Estes são resultados de deslocamentos de massas de ar quente e úmido que se realizam de forma concêntrica em direção às áreas de menor pressão atmosférica das zonas equatoriais do globo terrestre, a Zona de Convergência Intertropical. Através de uma diferença térmica ocasionada pelo aquecimento solar sobre a superfície terrestre, e uma diferença de pressão atmosférica entre o equador e os polos, ocorre uma movimentação das massas de ar atmosféricas caracterizando o chamado efeito de “circulação geral da atmosfera”. O qual as massas de ar quente e de leve densidade proveniente do equador sobem e seguem rumo aos polos onde sofrem esfriamento e descem, gerando uma camada de ar fria e de alta densidade que sai dos polos em direção ao equador (ANEEL, 2003).

Figura 1: Localização do município de Macau/RN



Fonte: Autoria própria.

Processamento e base de dados

Para realização do trabalho foram utilizadas estações meteorológicas distribuídas pelo município de Macau, de acordo com a disponibilidade de normais climatológicas. Com latitude de 05 06'54"S e longitude de 36 38'04"W, foram coletados dados de velocidade média mensal e anual do vento a 10 metros de altura (altura recomendada para instalação de aerogeradores residenciais), obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

De posse dos dados característicos de aerogeradores residenciais, foram estabelecidos a capacidade de geração de energia mensal e anual para microrregião escolhida, definindo-se diferentes classes de aptidões para instalação dos aerogeradores: Baixa aptidão, aptidão moderada e Alta Aptidão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação de modelos de aerogeradores residenciais adequados a instalação

Existem três componentes principais do vento que determinam a potência disponível para um sistema de conversão de energia eólica: a velocidade do vento, as características (turbulência) e a sua massa específica. A velocidade do vento é de extrema importância, pois a potência é diretamente proporcional à velocidade do vento. Além disso, a velocidade varia com a altitude sobre o solo, pela fricção causada por montanhas, árvores, edifícios e outros objetos. A turbulência determina os modelos de ventos globais e os movimentos do ar daquela região, determinando aproximadamente os recursos eólicos de uma localidade, definindo se um recurso eólico é viável. As massas específicas de ar em temperaturas baixas elevam-se, aumentando a fluidez das moléculas em certo volume de ar. Logo, a maior fluidez das moléculas em cima da pá de uma turbina produz um rendimento mais alto da potência produzida. Um aerogerador obtém sua potência de entrada convertendo a força cinética do vento em torque. A quantidade de energia transferida do vento para o rotor depende da massa específica do ar, da área do rotor (diâmetro das pás) e da velocidade do vento (MÉNDEZ, 2013).

Perante a normativa estabelecida pela legislação brasileira (ANEEL N°482/2012), que define o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Toda a produção excedente de energia elétrica, gerada por micro ou mini geração residencial, pode ser injetada diretamente na rede, resultando em créditos (kWh) que a unidade consumidora terá até o momento que necessite de energia vinda da distribuidora, o que reduz os custos com sistemas de armazenamento. Caso a energia gerada pelo próprio sistema residencial não supra a demanda consumida pela família,

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

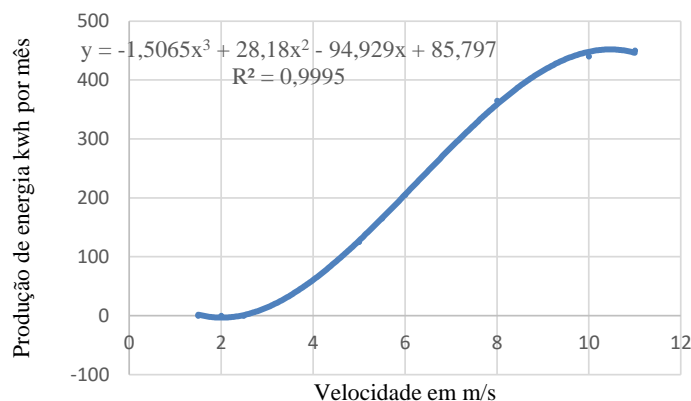
os créditos serão resgatados e a diferença entre a energia gerada e a energia consumida será paga (FARIAS, 2016).

Segundo Mendez (2013), o aerogerador de eixo vertical ou Turbina Eólica de Eixo Vertical (TEEV) é mais indicado para atender as necessidades de suprir a demanda energética residencial, por apresentar um custo de produção mais baixo que o Turbina Eólica de Eixo Horizontal (TEEH), além de poder absorver o fluxo de vento em todas as direções, sem o uso de qualquer sistema guiado de pás, o mesmo trabalha em baixas rotações e níveis de ruídos, podendo ainda resistir a ventos de alta velocidade.

Desta forma, ao analisar a magnitude das variáveis, a turbina de eixo vertical como aerogerador torna-se mais indicado para uso residencial. Para tanto, adotou-se o modelo H-Darrieus RAZEC 266 (Figura 2) fornecido pela ENERCUD, como característico para esse tipo de turbina, sendo capaz de gerar energia a partir de uma velocidade de 2,5m/s, torque de partida de 0,3Nm e potência nominal de 1500W, composto por um rotor de diâmetro equivalente a 2,0m com 3 pás e 2,66m de altura.

Abaixo, o Gráfico 1 apresenta a curva característica da potência do aerogerador de eixo vertical selecionado, o H-Darrieus (RAZEC 266), o qual uma interpolação de pontos gerou uma equação polinomial de 3º grau para produção mensal de energia em função da velocidade dos ventos a 10 metros de altura, ao longo dos meses do ano, apresentando ótima precisão que podem ser comprovados ao analisar o R^2 .

Gráfico 1: Curva característica de um aerogerador de eixo vertical do tipo H-Darrieus (RAZEC 266)



Fonte: Baseado em dados disponibilizados pela ENERSUD©.

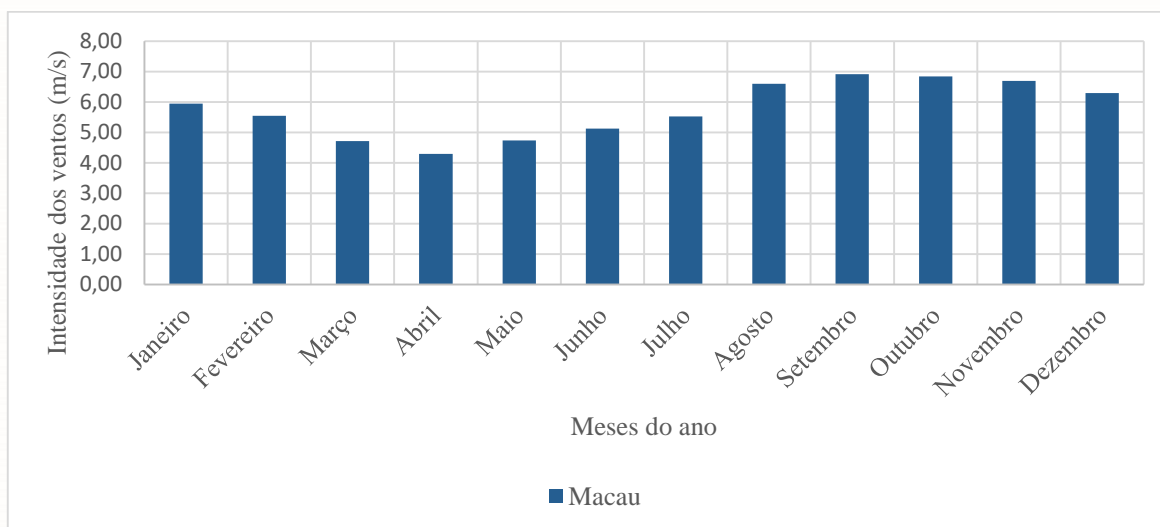
Figura 2: Aerogerador de eixo vertical do tipo H-Darrieus (RAZEC 266)



Fonte: ENERSUD©.

A Figura 3 apresenta a variabilidade mensal e espacial da velocidade do vento, de acordo com as Normais climatológicas de vento a 10m de altura disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a região do município de Macau. Destacando-se com médias anuais de $5,77 \text{ m.s}^{-1}$, justificada pela proximidade desta localidade ao litoral do estado sofrendo forte influência das brisas terrestres e marítimas além da incidência de ventos alísios. Observa-se que esses fatores variam ao longo do ano, atuando com menor intensidade nos meses de final de verão e outono (Fevereiro a Maio), diminuindo assim a força dos ventos que seriam convertidos em energia elétrica, e aumentada nos meses de final de inverno e primavera (Agosto a Novembro). Esses resultados revelam que o período de maior produção de energia eólica concentram-se nos períodos de baixa precipitação, mostrando que a produção de energia eólica vem a funcionar de forma complementar a hidrelétrica, reduzindo o impacto sobre os reservatórios no período de estiagem (ANEEL, 2013).

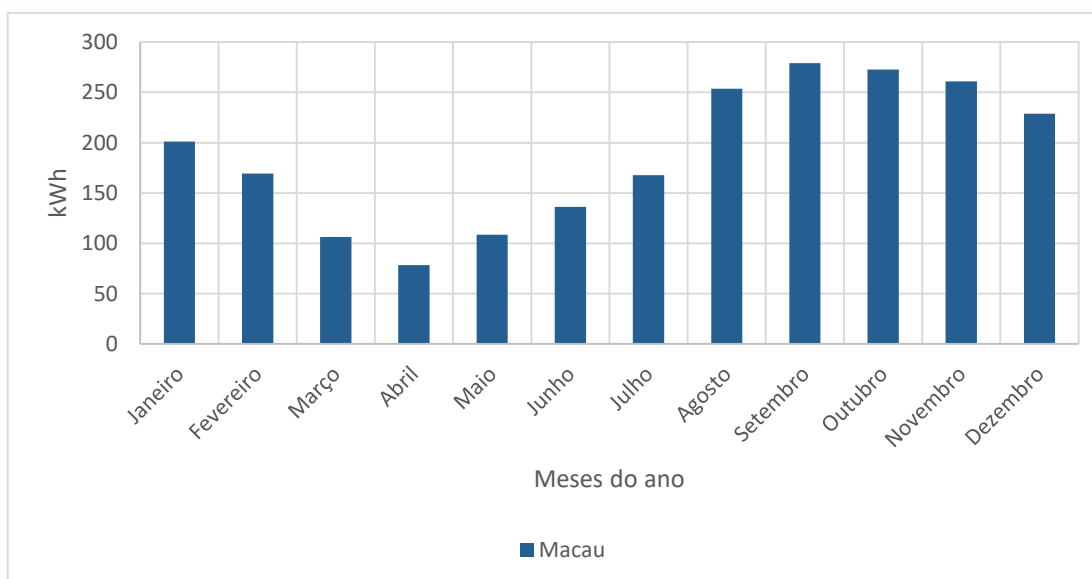
Figura 3: Variabilidade espacial e temporal da velocidade média dos ventos a 10m de altura.



Fonte: Autoria própria.

Conforme as normais climatológicas de intensidade dos ventos à 10 metros de altura fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram obtidos dados da estimativa de geração mensal de energia para a localidade (Figura 4), conforme função obtida pela curva característica de geração de energia de um aerogerador de eixo vertical modelo H-Darrieus RAZEC 266 fornecido pela ENERSUD, adotado como padrão neste trabalho. A região de Macau é capaz de gerar 279,11 kWh no mês de setembro e alcança um total anual de 2242,22 kWh.

Figura 4: Estimativa de geração mensal de energia por um aerogerador de eixo vertical.



Fonte: Autoria própria.

Para definição de classes de aptidão, foi determinado o consumo médio de uma família de classe média com base em dados da PROCEL INFO (centro brasileiro de informação de eficiência energética). Desta forma, adotou-se uma residência com 4 pessoas com um consumo médio mensal estimado em 200kWh (Figura 5).

Figura 5: Simulador do consumo de energia elétrica

Aparelhos Elétricos	Quantidade	Dias Estimados	Média	Consumo Médio Mensal (kWh)
		Uso/Mês	Utilização/Dia	
Aparelho de DVD	1	8	2 h	0,24
Aparelho de som	1	20	3 h	6,6
Batedeira	1	8	20 min	0,4
Cafeteira elétrica	1	30	1 h	6,56
Computador	1	30	8 h	15,12
Ferro elétrico automático a vapor 1200 W	1	12	1 h	7,2
Forno micro-ondas 25 L	1	30	20 min	13,98
Geladeira 2 portas	1	30	24 h	48,24
Lâmpada fluorescente compacta - 11 W	6	30	5 h	9,9
Lavadora de roupas	1	12	1 h	1,76
Liquidificador	1	15	15 min	0,8
Torradeira	1	30	10 min	4
TV em cores - 29" (tubo)	2	30	5 h	30,3
Ventilador de mesa	3	30	8 h	51,84
Videogame	1	15	4 h	1,44
Carregador para celular	3	30	60 min	0,14
TOTAL	26	360	64 h 5min	198,52

Fonte: PROCEL INFO

Para calcular o Consumo médio de energia (C_m) em kWh, utilizou-se a (Equação 1), o qual resulta no produto entre W que é a potência do equipamento, o Nh sendo número de horas utilizadas e por fim Nd como o número de dias de uso ao mês, originando assim:

Equação 1

$$C_m = \frac{W \times Nh \times Nd}{1000}$$

Fonte: PROCEL INFO

Com base neste resultados foram definidas classes de aptidão, sendo considerada aptas regiões capazes de suprir mais de 60% do consumo anual desta residência, moderada regiões que apresentem de 20% a 60% do consumo e baixa aptidão com geração de energia menor que 20%. Observa-se que as classes de aptidão moderada e baixa não inviabilizam a instalação desses aerogeradores, mas impõe a necessidade de estudos locais sobre a velocidade do vento. Essas classes de aptidão são determinadas do ponto de vista socioambiental, no entanto são necessários estudos sobre a viabilidade econômica para geração de energia via aerogeradores ou aplicando sistemas híbridos com a mesma finalidade. No entanto, as regiões consideradas aptas tendem a apresentar resultados satisfatórias sob a ótica econômica.

O litoral Norte do Estado apresentou resultados satisfatórios para geração de energia por aerogeradores, apresentando alta aptidão. A cidade de Macau apresenta alta aptidão (>ou=200 kwh), ou seja, é capaz de suprir totalmente a demanda energética desta determinada residência, nos meses de final de inverno e primavera (Agosto a Novembro). Vale salientar que algumas regiões podem optar por aerogeradores com maior capacidade para geração de energia ou sistemas híbridos, o que não inviabilizaria nenhuma região a utilização de energias renováveis, principalmente do ponto de vista ambiental. No entanto são necessários estudos levando-se em consideração o custo benefício para instalação de aerogeradores em cada uma dessas regiões para tomada de decisão.

Este estudo sobre a viabilidade técnica pra instalação de aerogeradores leva em consideração que o excedente produzido em meses de maior intensidade dos ventos, poderá ser utilizado na forma de créditos em período subsequentes de baixa produção de energia, o que está de acordo com a Resolução Normativa ANEEL nº482/2012 que define o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, com a possibilidade de inseri-la na própria rede convencional de energia, gerando economia e descontos nas tarifas a serem cobradas mensalmente. Esse é o conceito de geração de energia descentralizada ou distribuída, que vem atraindo cada vez mais a população em zonas rurais e locais de difícil acesso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estado do Rio grande do Norte apresenta condições favoráveis a instalação de aerogeradores, no entanto precisa-se levar em consideração características intrínsecas a cada localidade. A região litorânea se destaca com elevados níveis de velocidade média dos ventos e na estimativa de produção mensal e anual de energia através de aerogeradores, em que o município de Macau, apresentou elevados níveis de produção, sendo considerada apta, do ponto de vista técnico a instalação de aerogeradores.

REFERÊNCIAS

O.A.C. do Amarante, M. Brower, J. Zack e A.L. Sá, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001)

Agência Nacional De Energia Elétrica, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

PEREIRA, J. P.. Energia: Eficiência e alternativas. Editora Ciencia Moderna: São Paulo, 2009.

FADIGAS, E. A. F. A. Energia eólica. Barueri – SP: Editora Manoele Ltda, 2011.

V FÓRUM ESTADUAL DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE DO RIO GRANDE DO NORTE , 5º., 2017, Auditório principal do IFRN - Campus Natal Central. Geração eólica no Rio Grande do Norte deve fechar 2017 com crescimento perto de 30% ... Rio Grande do Norte: CERNE, 2017. 1 p.

MENEZES, A. E. da S. Aproveitamento eólico para uma vila de pescadores. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2012.

MATHEW, S.; PHILIP, G. S. Advances in wind energy conversion technology. Springer, 2011.

MARQUES, F. et al. Aerogeradores de eixo vertical. Energia Eólica, 2012. Disponível em: <<https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogador-de-eixo-horizontal/gerador-eolico-de-eixo-vertical/>>. Acesso em: 12 Jul 2019.

MARQUES, F. et al. Aerogeradores de eixo horizontal. Energia Eolica, 2012. Disponível em: <<https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogador-de-eixo-horizontal/custo-comparativo/>>. Acesso em: 12 Jul 2019.

IDEMA, Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN, 2016 - Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte 2001, <http://www.idema.rn.gov.br/> Acesso em: 12 Jul. 2019.

BEZERRA JÚNIOR , José; SILVA, Nubelia . CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA MICRORREGIÃO DO SERIDÓ ORIENTAL DO RIO GRANDE DO

NORTE . 2007. 14 p. Microsoft Word - 078-091 jose gilberto.doc (Graduando em Geografia)- CEFETRN, Rio Grande do Norte, 2007.

ANEEL, Atlas de Potencial Eólico do Estado do Rio Grande do Norte, Agência Nacional de Energia Elétrica, Rio Grande do Norte, 1º Ed, 2003

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 12 Jul. 2019.

MÉNDEZ, R. Análisis de desarrollo de un parque Eólico. Tesis (para obtener el título de ingeniero mecánico electricista) - Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2013.

FARIAS, Alane. O USO DE TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL DE PEQUENO PORTE PARA USO RESIDENCIAL. In: Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, XXIII., 2016, Teresina-PI. ... Rio Grande do Norte: ABCM, 2016. p. 1-9.

ENERCUD - Disponível em < <http://www.enersud.com.br/>>. Acesso em: 12 Jul. 2019.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica