



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INGRYD KELY COSME MELO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UMA TURBINA EÓLICA DE
PEQUENO PORTE NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO –
UFERSA, CAMPUS ANGICOS**

ANGICOS – RN

2018

INGRYD KELY COSME MELO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UMA TURBINA EÓLICA DE
PEQUENO PORTE NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO –
UFERSA, CAMPUS ANGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Marcus Vinícius Sousa Rodrigues,
Prof. Dr.

ANGICOS – RN

2018

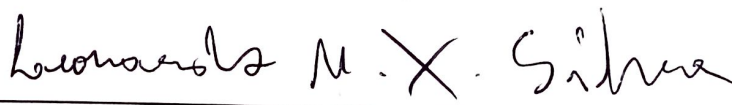
**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UMA TURBINA EÓLICA
DE PEQUENO PORTE NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-
ÁRIDO – UFERSA, CAMPUS ANGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Multidisciplinar de Angicos - CMA da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como
requisito para graduação e Título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

DATA DA APROVAÇÃO: 13/09/18

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcus Vinícius Sousa Rodrigues, UFERSA.
Orientador

Prof. Me. Leonardo Magalhães Xavier Silva, UFERSA.
Primeiro membro

Prof. Dr. Rafael da Costa Ferreira, UFERSA.
Segundo membro

© 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.

M528a Melo, Ingryd Kely Cosme.
ANÁLISE DA VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UMA
TURBINA EÓLICA DE PEQUENO PORTE NA UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA, CAMPUS
ANGICOS / Ingryd Kely Cosme Melo. - 2018.
44 f. : il.

Orientador: Marcus Vinícius Sousa Rodrigues.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Energia Eólica. 2. Aerogeradores. 3.
Viabilidade . I. Rodrigues, Marcus Vinícius Sousa
, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFRSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

*Ao meu avô Leidimar Cosme de Araújo (In
Memoriam).*

*Dedico este trabalho à minha família e amigos, que sempre se fizeram presentes nos
momentos em que mais precisei.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, amigos e namorado por terem me incentivado, ajudado e apoiado em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador e co-orientador, pelo suporte e por todo o conhecimento compartilhado.

Agradeço ao professor Dr. Edwin Luize Ferreira Barreto, por ter me auxiliado durante o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço à banca por ter aceito o convite e por todas as sugestões a fim de enriquecer este trabalho.

RESUMO

O avanço tecnológico, o crescimento populacional e a preocupação com a utilização de fontes esgotáveis de combustível, incentivam a busca por energias alternativas que possam atender os limites impostos pela própria natureza e as necessidades de uma nação. Nesse sentido, esse trabalho adotou como método de pesquisa um estudo de caso com objetivo de verificar a viabilidade de instalação de uma turbina eólica de pequeno porte na Universidade Federal Rural do Semi-Árido localizada na cidade de Angicos/RN. Com dados de velocidade dos ventos coletados a partir de estações anemométricas no território do RN, foi realizada uma interpolação a fim de estimar a quantidade mensal de energia gerada em kWh por dois modelos de aerogeradores de pequeno porte e, por meio disso, foi estimado o valor em reais da energia mensal que seria gerada pelo campus universitário com a atuação de cada turbina eólica.

Palavras-chave: Energia Eólica. Aerogeradores. Viabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Moinho de vento persa de modelo vertical.....	12
Figura 2	– Comportamento dos ventos de circulação global	15
Figura 3	– Perfil vertical da velocidade do vento.....	16
Figura 4	– Fluxo de ar através de uma área transversal A.....	17
Figura 5	– Gráfico da curva de potência de um aerogerador.....	18
Figura 6	– Parques eólicos (a) <i>offshore</i> e (b) <i>onshore</i>	20
Figura 7	– Componentes de turbinas de eixo horizontal (a) e vertical (b).....	21
Figura 8	– Modelos de Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal.....	22
Figura 9	– Turbinas eólicas de eixo horizontal com configuração <i>upwind</i> (a) e <i>downwind</i> (b).....	23
Figura 10	– Turbinas de eixo vertical: a) tipo Darrieus; b) tipo H; c) tipo Savonius.....	24
Figura 11	– Campus universitário da UFERSA em Angicos/RN.....	26
Figura 12	– Localização da UFERSA - campus Angicos no estado do Rio Grande do Norte.....	27
Figura 13	– Modelo (a) GERAR 246 e (b) RAZEC 266.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Curva de geração de energia mensal do aerogerador GERAR 246.....	32
Gráfico 2	– Curva de geração de energia mensal do aerogerador RAZEC 266.....	32
Gráfico 3	– Estimativa de geração mensal de energia.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Gastos e consumo mensal de energia elétrica na UFERSA - campus Angicos.	28
Tabela 2	– Estações climatológicas utilizadas na pesquisa, com seus códigos e coordenadas.....	29
Tabela 3	– Velocidade média mensal dos ventos na UFERSA.....	31
Tabela 4	– Estimativa de geração mensal de energia do aerogerador GERAR 246 e do aerogerador RAZEC 266.....	33
Tabela 5	– Valores que poderiam ser economizados mensalmente pelos aerogeradores citados.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica:	Associação Brasileira de Energia Eólica
a.C.:	Antes de Cristo
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPEL:	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CERNE:	Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia
CLS:	Camada Limite Superficial
CNPJ:	Cadastro de Pessoa Jurídica
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte
CP:	Coeficiente de Potência
CPF:	Cadastro de Pessoa Física
CRESESB:	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
GWEC:	<i>Global World Energy Council</i>
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET:	Instituto Nacional de Meteorologia
Kg:	Quilograma
kWh:	Quilowatt-hora
m:	Metro
MW:	Megawatt
RN:	Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 O VENTO	15
2.2 A ENERGIA EÓLICA.....	17
2.3 TURBINAS EÓLICAS	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 MATERIAIS	26
3.1.1 Área de estudo	26
3.1.2 Dados de velocidade dos ventos	28
3.1.3 Aerogeradores.....	29
3.2 MÉTODOS	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5. CONCLUSÃO.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica consiste na energia cinética contida nos movimentos das massas de ar na atmosfera (ventos), produzidos essencialmente através do aquecimento diferenciado das camadas de ar pelo Sol (geração de diferentes densidades e gradientes de pressão) e através movimentos de rotação da Terra sobre o seu próprio eixo (REIS, 2011).

A energia proveniente dos ventos é utilizada pelo homem há séculos. Especula-se que a origem de sua utilização se deu no Egito há cerca de supostamente 3000 anos. No entanto, segundo Fadigas (2011), a informação mais confiável extraída de fontes históricas é de que os moinhos de vento surgiram na Pérsia por volta de 200 a.C., sendo utilizados em atividades agrícolas como moagem de grãos e bombeamento d'água, tornando capaz, a partir da percepção do vento como fonte natural de energia, a substituição da força motriz humana (ou animal) nestas tarefas que exigiam cada vez mais os esforços manuais. A Figura 1 mostra um moinho de vento persa primitivo.

Figura 1 – Moinho de vento persa de modelo vertical



Fonte: Deutsche Museum (2010)

Até o século XIX, conforme Pinto (2014), a força proveniente dos ventos objetivava apenas a produção de energia mecânica, mas com o advento da eletricidade, percebeu-se que estes equipamentos poderiam ser utilizados como geradores de energia elétrica e que a potência gerada poderia ter finalidades como aquecimento e iluminação através da conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação e, por fim, em energia elétrica.

Mesmo existindo desde a antiguidade, a energia eólica só foi utilizada em larga escala para geração de eletricidade a partir das altas sucessivas do preço do petróleo em 1973, com o objetivo de suprir a demanda energética (DUTRA, 2001). Atualmente, existem milhares de turbinas eólicas em operação ao redor do mundo gerando, além de energia mecânica, eletricidade.

Para Dutra (2001), os principais benefícios da utilização da energia eólica para fins de geração de energia elétrica são a não necessidade do uso da água como elemento motriz ou fluido refrigerante e, também, o fato de não haver produção de resíduos radioativos ou gasosos, mas, como qualquer outra energia, há algumas características desfavoráveis ao meio ambiente que, através de planejamento, podem ser significativamente minimizadas ou eliminadas, como: impacto visual, ruído, interferência eletromagnética, ofuscamento e danos à fauna.

Conforme a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), em 2017, o Brasil chegou ao oitavo lugar no Ranking de capacidade instalada de energia eólica elaborado pelo Global World Energy Council (GWEC), e tem alguns dos melhores ventos do mundo, possuindo fatores de capacidade acima da média mundial e atingindo mais de 70% nas épocas de ventos favoráveis. Este fato coloca o país em posição de destaque no cenário mundial de geração de energia elétrica a partir dos ventos, entre países como China e Estados Unidos.

De acordo com o Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (CERNE), na avaliação por estados, o Rio Grande do Norte mantém a liderança, permanecendo como maior produtor do País, com 1.087,6 MW médios em 2017 – havendo aumento de 39% em relação ao mesmo período do ano passado – e com a maior capacidade instalada, somando 3.209 MW, aumento de 19% em relação ao ano anterior.

No entanto, a produção energética a partir da energia eólica, depende das características dos ventos na região, pois, conforme Pinto (2014), a disponibilidade de recursos eólicos varia de acordo com as condições geográficas. Isso torna necessário a realização de estudos prévios a respeito, levando em consideração a intensidade dos ventos, pois, a partir disso, será possível definir a viabilidade de instalação de turbinas eólicas na área analisada.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade de instalação de aerogerador no campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em Angicos/RN, por meio da análise dos ventos na região através da interpolação de dados obtidos de torres anemométricas situadas no estado do Rio Grande do Norte.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho busca verificar a viabilidade de implantação de um sistema de aerogerador para geração de energia elétrica no campus universitário da Universidade Federal Rural do Semi-Árido na cidade Angicos/RN.

1.1.2 Objetivos específicos

Especificamente, os objetivos específicos deste projeto de pesquisa são:

- Obter dados de ventos por meio de estações meteorológicas
- Tratar os dados obtidos
- Selecionar o modelo de turbina a ser instalada
- Estimar a energia a ser gerada
- Verificar a viabilidade de uso da turbina para geração de eletricidade

2. REFERENCIAL TEÓRICO

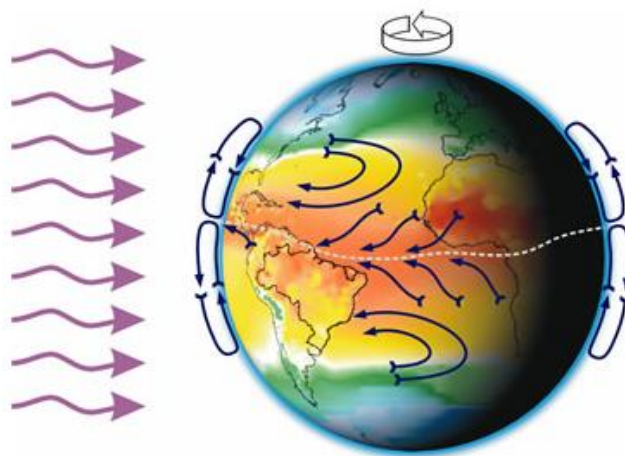
2.1 O VENTO

Conforme Teixeira (2009), os ventos são advindos da diferença de temperatura das massas de ar provocada pela forma e quantidade de energia solar que incide sobre a superfície da Terra.

De acordo com Grotzinger (2013), nos polos a radiação solar incide obliquamente sob a superfície terrestre (resultando em temperaturas mais frias), enquanto que na superfície equatorial os raios solares incidem quase perpendicularmente, concentrando temperaturas mais elevadas nessa região.

Devido a esses fatores, segundo Fadigas (2011), a quantidade de radiação solar absorvida pela superfície terrestre próxima à linha do Equador é maior que a absorvida nos polos, fazendo com que os ventos dos polos circulem para o Equador, a fim de substituir o ar quente que sobe nos trópicos e move-se até os polos, finalizando o ciclo. A Figura 2 ilustra a circulação global dos ventos.

Figura 2 – Comportamento dos ventos de circulação global



Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001)

Conforme CRESESB (2008), os ventos planetários, devido os mecanismos responsáveis por sua produção (aquecimento na zona equatorial e resfriamento nos polos) estarem sempre presentes na natureza, atuam de forma constante em alguns locais no globo terrestre. São classificados em:

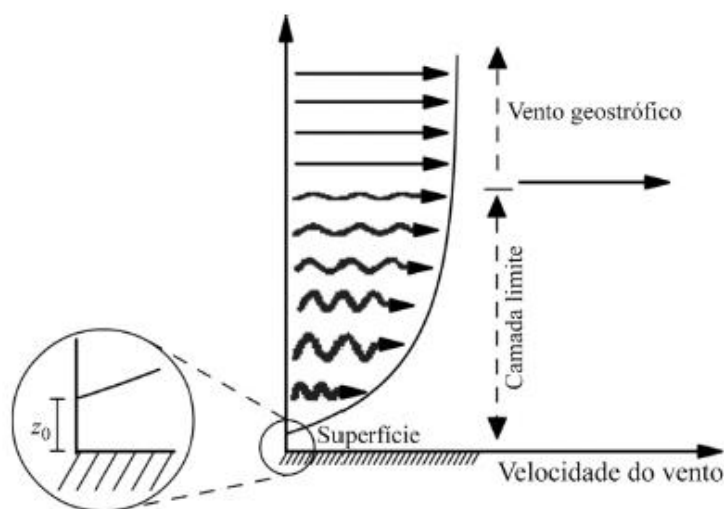
- Alísios: sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes;
- Contra-Alísios: sopram do Equador para os polos, em altas altitudes;

- Ventos do Oeste: sopram dos trópicos para os polos;
- Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

Os ventos mais fortes, mais constantes e mais persistentes, segundo Castro (2003), ocorrem a cerca de 10 km da superfície terrestre, entretanto, como não é possível utilizar os aerogeradores nessas zonas, o espaço de interesse para o aproveitamento eólico encontra-se limitado a algumas dezenas de metros na atmosfera, a chamada Camada Limite Superficial (CLS).

De acordo com Martins (2007), essa camada compreende os primeiros 50-100 metros da atmosfera e possui ventos turbulentos que sofrem interferência da superfície, de modo que a topografia local é capaz de influenciar a velocidade do ar, sendo nula em alturas próximas à superfície e, aproximadamente, geostrófica (não sofre influência do atrito da superfície) na atmosfera livre, assim, resultando em uma variação da velocidade com a altura. A Figura 3 mostra o comportamento do vento dentro da CLS, sendo o comprimento da rugosidade (z_0) a altura próxima à superfície onde a velocidade é nula.

Figura 3 – Perfil vertical da velocidade do vento



Fonte: Martins (2007)

Conforme Rodrigues (2011), o vento, por ser um fenômeno natural, possui variações em seu comportamento (gerando redução ou aceleração na velocidade) ao longo do tempo, em função da estação do ano e, também, com a presença de obstáculos nas redondezas, devendo-se, assim, evitar áreas de mata fechada, com morros e prédios, a fim de obter um bom aproveitamento eólico.

Segundo Lopez (2012), qualquer corpo exposto à ação dos ventos absorve parte de sua energia. Portanto, para que o trabalho de um aerogerador seja satisfatório é necessário que esse absorva o máximo de energia.

2.2 A ENERGIA EÓLICA

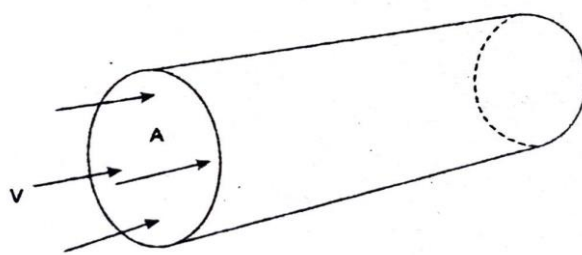
A energia eólica utilizada para geração de energia elétrica é a energia cinética E_c do vento que se desloca com certa velocidade:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.1)$$

em que m é massa de uma partícula de ar (kg) e v é a velocidade do ar (m/s) (PICOLO, 2014).

De acordo com Lopez (2012), considera-se um fluxo de ar movendo-se à uma velocidade v , perpendicular à uma seção transversal de um cilindro imaginário.

Figura 4 – Fluxo de ar através de uma área transversal A



Fonte: Lopez (2012)

Considerando que a energia cinética varia com o passar do tempo, então teremos a potência P disponível no vento:

$$P = \frac{1}{2} \mu v^2 \quad (2.2)$$

onde μ é fluxo de massa de ar (kg/s). Sendo o fluxo da massa de ar dado por:

$$\mu = \rho A v \quad (2.3)$$

em que ρ é massa específica do ar (kg/m³) e A é a área da seção transversal (m²).

Substituindo o fluxo da massa de ar μ (2.3) na equação 2.2, resulta na potência disponível no vento com a ausência de uma turbina eólica:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.4)$$

De acordo com Fadigas (2011), a potência do vento depende da área de captação (área varrida pelas pás das turbinas) e é proporcional ao cubo de sua velocidade, de modo que qualquer variação da velocidade do vento pode ocasionar em grandes alterações na potência.

Conforme Martins (2007), a potência eólica, que é a energia total disponível por unidade de tempo, não é totalmente convertida em potência mecânica através das pás das turbinas.

Segundo Castro (2003), há um máximo teórico para o rendimento da conversão eletromecânica a partir da aplicação de conceitos da mecânica dos fluidos, no qual possui o valor de 59,3% e é chamado de Limite de Betz, sendo esse percentual um coeficiente de potência (C_p).

De acordo com Pinto (2013), a potência elétrica de uma turbina eólica é dada por:

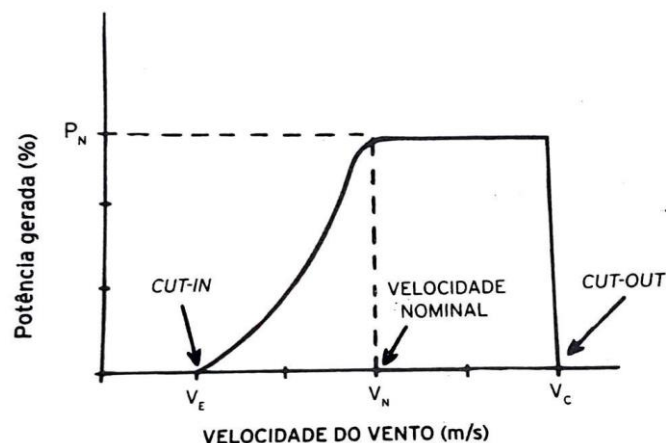
$$P_{el} = \frac{1}{2} \rho A v^3 n \quad (2.5)$$

onde n é a eficiência da turbina.

A eficiência da turbina eólica pode ser entendida como o rendimento considerando as perdas no conjunto das transmissões mecânicas e as perdas no gerador (SANTOS; RODRIGUES; FERREIRA, 2016).

Conforme Fadigas (2011), a estimativa do potencial eólico consiste na determinação da energia e potência gerada de uma turbina em um determinado local. Contudo, na prática, a potência elétrica gerada por uma turbina é indicada pela chamada curva de potência ou curva característica do aerogerador. A Figura 5 exemplifica uma curva de potência de uma turbina eólica.

Figura 5 – Gráfico da curva de potência de um aerogerador



Fonte: Reis (2011)

Reis (2011) explica que o aerogerador dá início à produção de eletricidade com ventos na velocidade de partida (*cut-in*), chega à potência nominal quando a velocidade do vento alcança a velocidade nominal de projeto e a turbina desliga quando a velocidade do vento é excessiva (*cut-out*), para evitar danos à estrutura.

A partir da curva de potência certificada pelo fornecedor, segundo Rossetto (2015), é possível determinar a relação entre a velocidade do vento e a potência gerada através do cruzamento de cada medição da velocidade do vento com a potência da curva do aerogerador.

De acordo com Lima (2011), a eficiência de geração de um determinado local em função de um determinado aerogerador é determinada pelo fator de capacidade (FC), que representa a razão entre a energia estimada de geração em um dado intervalo de tempo neste local e a energia máxima que pode ser gerada pelo aerogerador operando de forma contínua com sua potência nominal no mesmo intervalo de tempo e é dada por:

$$FC = \frac{E}{P_n T} \quad (2.6)$$

Onde E é a energia estimada de geração (kWh) em um dado intervalo de tempo, P_n é a potência nominal (kW) do aerogerador e T é o intervalo de tempo analisado.

Conforme ELETROBRAS (2000 apud Gnoatto, 2017), o aerogerador é considerado tecnicamente viável quando o fator de capacidade for igual ou acima de 0,1.

2.3 TURBINAS EÓLICAS

Segundo Pinto (2013), as turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores, são equipamentos que convertem parte da energia cinética do vento em energia elétrica, podem ser classificadas de acordo com a orientação do eixo de rotação em relação ao solo - Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal (TEEH) ou Turbinas Eólicas de Eixo Vertical (TEEV) – e quanto à sua potência nominal, a saber:

- Pequeno porte (até 50kW de potência nominal),
- Médio porte (potência de 50kW a 1000kW),
- Grande porte (superior a 1MW de potência).

Uma concentração ou aglomerado de turbinas eólicas com finalidade de gerar eletricidade denomina-se de parque eólico, são utilizadas para alimentar localidades remotas e distantes da rede de transmissão, podem ser classificados em parques eólicos *onshore* (Figura 6b), quando os aerogeradores são instalados em terra ao longo da costa marítima ou interior, e

em *offshore* (Figura 6a), quando os aerogeradores são instalados no mar (PORTAL ENERGIA, 2016). A Figura 6 apresenta essas classificações.

Figura 6 – Parques eólicos (a) *offshore* e (b) *onshore*.



(a)



(b)

Fonte: Portal Energia (2016)

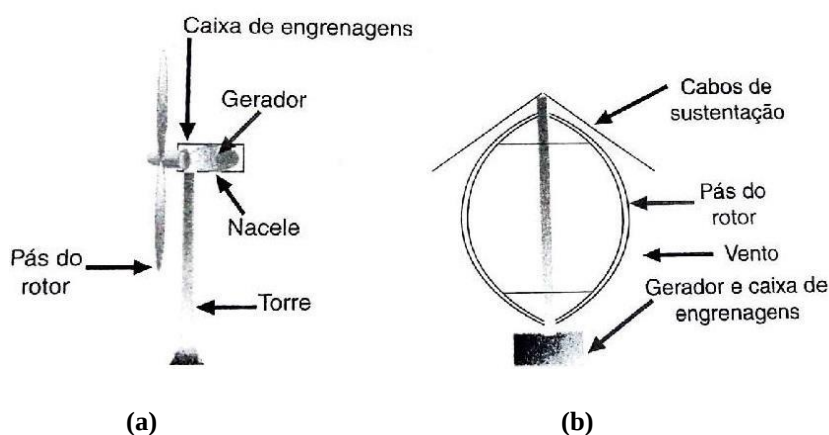
Conforme Gonçalves et al. (2013), o princípio de funcionamento de uma turbina eólica compreende dois processos de conversão: primeiramente, a energia do vento retirada através do rotor é convertida em energia mecânica e, posteriormente, o conjugado mecânico é convertido em eletricidade através do gerador, podendo assim alimentar a rede elétrica.

O processo de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica, conforme Menezes (2012), é realizado da forma descrita a seguir.

O vento faz girar as pás da turbina, que estão acopladas à um eixo ligado à uma caixa de transmissão (a fim de aumentar a velocidade de rotação) que, por sua vez, é ligado a um gerador elétrico, sendo este o responsável pela conversão da energia mecânica produzida pela rotação do eixo em energia elétrica.

As turbinas eólicas possuem componentes básicos. A Figura 7 apresenta alguns deles.

Figura 7 – Componentes de turbinas de eixo horizontal (a) e vertical (b)



Fonte: Pinto (2013)

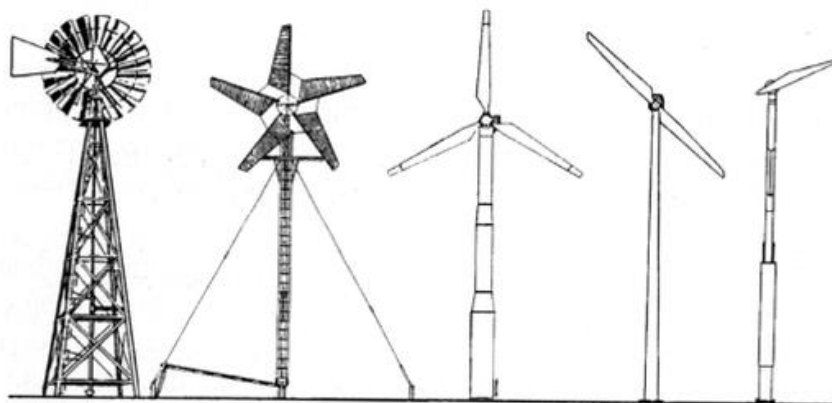
As pás são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico, são fixadas através de flanges em uma estrutura metálica a frente do aerogerador denominada cubo, que apresenta os rolamentos para fixação das pás, e, o eixo é o responsável pelo acoplamento do cubo ao gerador, fazendo a transferência da energia mecânica da turbina (CRESESB, 2017).

A nacele é o compartimento onde o gerador elétrico e suas conexões entre a caixa de engrenagem e o eixo das pás são protegidos, também abriga o sistema de controle que conta com sensores de velocidade e direção do vento em sua parte externa (DUTRA, 2001).

As turbinas são acionadas por forças de sustentação e de arrasto, onde os rotores que funcionam por força de sustentação trabalham com maior velocidade de rotação e são mais eficazes que os movidos pela força de arrasto, para uma mesma velocidade, sendo o mais comum os movidos por forças de sustentação (DUTRA, 2008).

Conforme Reis (2011), as TEEH (Figura 7a) são predominantemente movidas por forças de sustentação (atuam perpendicularmente ao escoamento), de forma que estes equipamentos necessitam de mecanismos capazes de garantir que a seção reta varrida pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento, e, por possuírem baixos torques de partida, operam apenas com altas velocidades. A Figura 8 mostra os modelos de TEEH já projetados.

Figura 8 – Modelos de Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal



Fonte: Reis (2011)

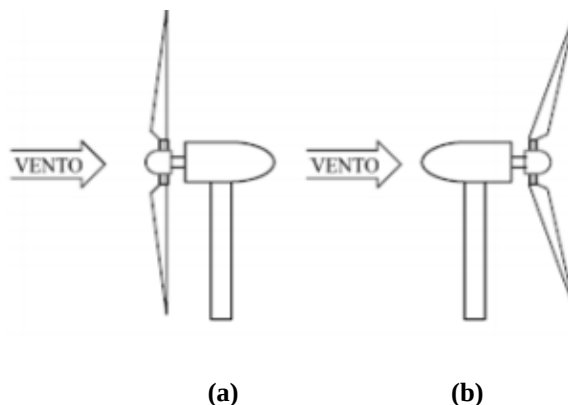
As TEEHs com grande número de pás, segundo Lopez (2012), são utilizadas na conversão de energia eólica em energia mecânica e são aplicadas em atividades como bombeamento d'água, enquanto que as turbinas de uma a três pás são utilizadas na geração de eletricidade. No entanto, as turbinas de três pás são as mais comuns para esse fim, visto que esta configuração apresenta maiores vantagens técnicas devido à alta eficiência, estabilidade estrutural e menor produção de ruído.

Conforme Fadigas (2011), as turbinas de uma ou duas pás apresentam características que as tornam eficientes e mais econômicas em determinadas aplicações, como a geração de energia em parques eólicos *offshore*.

Em concordância, Pinto (2013) afirma que isso se dá devido a possibilidade de geração de maior ruído acústico, presença de maior velocidade média do vento e menor turbulência das massas de ar, visto que a superfície do mar é mais suave e, conseqüentemente, cria uma camada de turbulência mais fina.

Segundo Castro (2003), as TEEHs são classificadas em *upwind*, quando o vento ataca as pás pela frente, de forma que o vento incidente não é perturbado pela torre, e em *downwind*, quando o vento ataca as pás pelo lado de trás, possibilitando o auto alinhamento do rotor na direção do vento. Contudo, essa configuração vem sendo progressivamente abandonada devido o escoamento ser perturbado pela torre antes de incidir no rotor, o que ocasiona a presença de esforços vibratórios nas pás pela torre, desgastando-as mais rapidamente. A Figura 9 ilustra essas classificações.

Figura 9 – Turbinas eólicas de eixo horizontal com configuração *upwind* (a) e *downwind* (b)



Fonte: Lopes (2009)

Embora a TEEV (Figura 7b) tenha sido a primeira turbina eólica a ser usada no aproveitamento de energia eólica, conforme Bhutta (2012), estas não podem ser utilizadas para a geração de eletricidade de grande porte devido sua eficiência ser inferior às TEEH, mas são adequadas para a geração de eletricidade em condições em que as TEEH tradicionais não são capazes de fornecer eficiências razoáveis.

Chong et al. (2013) declara que as TEEV podem ser consideradas para a geração de energia eólica de pequeno porte, devido à sua baixa velocidade de entrada do vento, bom comportamento de partida e simplicidade na fabricação.

Em concordância, Eriksson (2006) afirma que as TEEV possuem vantagem no caso de ambientes urbanos, pois podem ser instaladas em locais onde os ventos são turbulentos, sendo fortes ou apenas rajadas de vento além disso, diferente das TEEH, as TEEV são mais silenciosas e baratas.

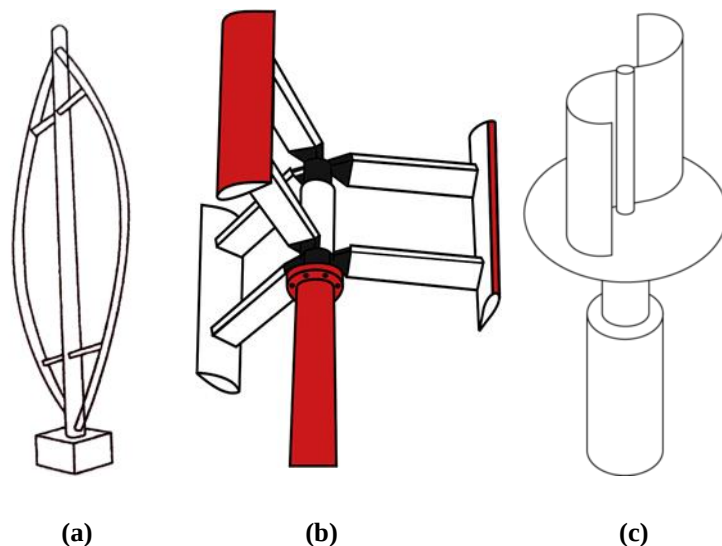
Em relação às TEEV, Menezes (2012) declara que essas facilitam as operações de manutenção pela possibilidade de serem instaladas em pequenas alturas, permitindo a colocação dos dispositivos de conversão de energia em alturas mais baixas ou ao nível do solo, por outro lado, não são tão eficientes quanto as TEEH e por esse motivo normalmente são utilizadas em pequenos projetos e em instalações de pequenas potências.

Grant, Johnstone e Kelly (2008) relataram que a turbina eólica acoplada ao telhado de um edifício tem um potencial significativo de adaptação para o edifício existente com impacto visual mínimo.

De acordo com Fadigas (2011), uma das vantagens das TEEV é o aproveitamento dos ventos vindos de qualquer direção, diferente das TEEH, essas não necessitam de mecanismo para direcionar o rotor com a mudança da direção do vento.

A máquina de eixo vertical mais conhecida, segundo Pinto (2013), é o rotor de Darrieus (Figura 10a), que é construída com duas ou três pás curvas - cada uma com uma ponta fixada na extremidade superior do eixo vertical e a outra ponta na inferior do mesmo eixo -, esse tipo de turbina apresenta deficiência em sua inicialização, de forma que faz-se necessário o uso de um motor de partida. A Figura 10 ilustra as turbinas eólicas de eixo vertical do tipo Darrieus, Rotor H e Savonius.

Figura 10 – Turbinas de eixo vertical: a) tipo Darrieus; b) tipo H; c) tipo Savonius.



Fonte: (a) Pinto (2013); (b) I. Hashem (2017); (c) Pinto (2013) adaptada.

O rotor de Savonius (Figura 10c), também denominado rotor S, segundo Pinto (2013), tem sua pá em forma de “S”, possui alto torque e baixa rotação, podendo trabalhar com ventos de baixa velocidade e é predominantemente movido por forças de arrasto (atuam na direção do escoamento), sendo essa configuração usualmente aplicada em projetos de bombeamento de água ou ventilação devido seu menor rendimento.

Outro modelo de eixo vertical desenvolvido foi uma variação do Rotor de Darrieus, o chamado Rotor H (Figura 10b), que, segundo Fadigas (2011), foi proposto com a finalidade de vencer as dificuldades de manutenção, transporte e instalação das pás curvas da turbina tipo Darrieus.

Eriksson (2006), após comparar as características das TEEV, concluiu que as TEEV tipo Rotor H são mais vantajosas que as TEEV tipo Darrieus e Savonius, devido à sua simplicidade e facilidade de produção, bem como seu alto rendimento energético, pois essa configuração consegue alcançar ventos mais altos e menos turbulentos por ser colocada no topo de uma torre, assim como as TEEH.

Conforme Fadigas (2011), os aerogeradores de pequeno porte podem ser ligados à rede (*on grid*) por meio de inversores de potência, caracterizando a geração de forma distribuída, ou à sistemas de armazenamento em bando de baterias (*off grid*), sendo este um elemento crítico devido ao preço e capacidade limitada de armazenamento.

Fadigas (2011) afirma que a geração de forma distribuída é uma tendência mundial e pode ser definida como fontes de geração elétrica de menores capacidades de potência distribuídas nas redes de distribuição (mais próximas dos pontos de consumo) e tem inúmeras vantagens frente à geração centralizada, tais como: menores tempos de maturação, menores investimentos, menores impactos ambientais e redução de perdas nas linhas, entre outras.

Com o intuito de incentivar a geração distribuída e diversificar a matriz energética do país, no Brasil, entrou em vigor o Sistema de Compensação Energética definido na Resolução Normativa nº 482/2012. Dessa forma, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), qualquer um que possua Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) e que gere a própria energia para sua residência ou estabelecimento, pode negociar o empréstimo da energia excedente com a concessionária local e assim ganhar créditos na conta de luz, gerando vantagens financeiras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Essa seção apresenta os materiais utilizados para a realização da pesquisa.

3.1.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 11) é o campus universitário da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) localizado na cidade de Angicos (Figura 12), estado do Rio Grande do Norte, região nordeste do Brasil e influenciada pelos ventos alísios.

O regime de ventos sobre o estado do Rio Grande do Norte apresenta uma grande sazonalidade, em geral, com a ocorrência de ventos mais intensos nos meses de final de inverno e primavera (agosto a novembro), e mais brandos nos meses de final de verão e outono (fevereiro a maio) (CRESESB, 2003).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade de Angicos possui cerca de 11.724 habitantes e área territorial de 741,582 km² (dados do ano de 2017). As coordenadas geográficas do campus são 5°39'16.1" de Latitude Sul e 36°36'48" de Longitude Oeste.

Figura 11 – Campus universitário da UFERSA em Angicos/RN



Fonte: UFERSA (2014)

Figura 12 - Localização da UFERSA - campus Angicos no estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Google Earth®

O campus universitário da UFERSA na cidade de Angicos/RN entrou em funcionamento em 2009, mas somente após dois anos passou a ocupar a sede própria. Atualmente, a instituição possui cerca de 1500 alunos ativos e oferece 6 cursos de graduação: Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Bacharelado em Sistemas de Informação, Licenciatura em Computação e Informática e Pedagogia.

O campus é atendido em alta tensão, enquadrando-se, atualmente, como consumidor do Subgrupo A2, em que, segundo a Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Cosern), possui nível de tensão de atendimento entre 2,3 e 25kV. Os valores gastos com o consumo de energia elétrica da UFERSA foram fornecidos pela própria instituição e são referentes ao ano de 2017, no qual teve como média de consumo anual o valor de 671053,5 kWh . Esses valores podem ser vistos na Tabela 1, bem com a quantidade mensal em kWh consumida pelo campus.

Tabela 1 – Gastos e consumo mensal de energia elétrica na UFERSA - campus Angicos.

MÊS	CONSUMO (kWh)	VALOR PAGO
JAN	28218,12	13283,81
FEV	32605,44	12393,68
MAR	64436,19	34086,03
ABR	64218,42	31709,34
MAI	64386,63	36172,3
JUN	49509,6	27540,91
JUL	56308,14	31635,41
AGO	63604,59	37809,83
SET	64890,21	37649,97
OUT	63325,08	37628,76
NOV	51107,07	27938,65
DEZ	68444,04	39352,55

Fonte: Autoria própria.

Conforme a Cosern, os valores pagos dependem do produto entre a quantidade de energia consumida em kWh (quilowatt-hora) e da tarifa de energia estabelecida pela ANEEL, acrescido dos tributos. Além disso, depende também do sistema de bandeiras tarifárias criado pela ANEEL, de forma que o preço também varia de acordo o custo da geração da energia elétrica e, consequentemente, induz os consumidores ao uso consciente da energia. Na Tabela 1, os valores pagos mensalmente pelo campus foram calculados levando em consideração o preço em reais do kWh e a quantidade consumida de energia por mês (ANEXO A).

3.1.2 Dados de velocidade dos ventos

Os dados que serviram de base para a realização deste estudo foram obtidos a partir de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instaladas em 4 localidades no estado do Rio Grande do Norte e consistem na velocidade média do vento à 10 metros da superfície no período de 1961 a 1990. A Tabela 2 apresenta as estações climatológicas que foram utilizadas na pesquisa, com seus respectivos códigos e coordenadas de posição.

Tabela 2 – Estações climatológicas utilizadas na pesquisa, com seus códigos e coordenadas.

Código	Estação	UF	Latitude (S)	Longitude (W)
82693	Cruzeta	RN	06°24'42"	36°47'23"
82691	Florânia	RN	06°07'38"	36°49'05"
82594	Macau	RN	05°06'54"	36°38'04"
82598	Natal	RN	05°47'42"	35°12'34"

Fonte: Autoria própria

3.1.3 Aerogeradores

Foram escolhidos dois modelos de aerogeradores de pequeno porte da empresa ENERSUD®. O modelo de eixo horizontal – GERAR 246 – possui potência nominal de 1000W e é capaz de começar a gerar energia a partir de 2,0 m/s. Já o modelo de eixo vertical, tipo H-Darrieus – RAZEC 266 -, sua velocidade de partida é de 2,5 m/s e potência nominal de 1500W. A Figura 13 apresenta ambos os modelos.

Figura 13 – Modelo (a) GERAR 246 e (b) RAZEC 266

(a)



(b)

Fonte: ENERSUD®

3.2 MÉTODOS

Com o intuito de estimar a média de velocidade mensal dos ventos na UFERSA, foi feita uma interpolação pelo inverso do quadrado da distância utilizando os valores de velocidade das normais climatológicas provenientes das torres anemométricas mencionadas na Tabela 2. Levou-se em consideração a influência de cada ponto de acordo com o valor da velocidade do vento ponderada de cada estação pelo inverso da distância entre cada torre

anemométrica e a UFERSA que foi medida utilizando a ferramenta Google Earth® a partir das coordenadas das torres e do campus universitário. A expressão que define o método é dada por:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (2.6)$$

onde Z é o valor interpolado, Zi é o valor da variável da i-ésima localidade vizinha, p é igual a 2 e di = distância entre o i-ésimo ponto de vizinho e o ponto de interesse.

Foram escolhidos dois modelos de aerogeradores de pequeno porte (Figura 13), um de eixo horizontal e outro de eixo vertical, com potência nominal diferente, devido à dificuldade em encontrar modelos de eixos diferentes com a mesma potência e que apresentassem a curva de geração de energia, que deve ser fornecida pela empresa.

Em posse das funções obtidas através das curvas de geração dos aerogeradores escolhidos e dos dados interpolados de velocidade do vento, foi estimada a geração de energia mensal dos modelos através da substituição da velocidade média de cada mês na função de cada aerogerador.

A partir da estimativa de geração de energia mensal de cada aerogerador, foi possível determinar o fator de capacidade (Equação 2.6) e os valores que poderiam ser reduzidos na conta de energia no campus universitário. O produto entre o valor estimado de geração mensal de cada aerogerador e o preço do kWh no mês analisado determinou o valor em reais que poderia ser economizado mensalmente pelo campus universitário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da interpolação dos dados de velocidade média dos ventos medida nas estações anemométricas espalhadas pelo estado do Rio Grande do Norte (Tabela 2), foi possível estipular o valor de velocidade média de cada mês para os ventos em Angicos. A Tabela 3 apresenta o resultado da interpolação.

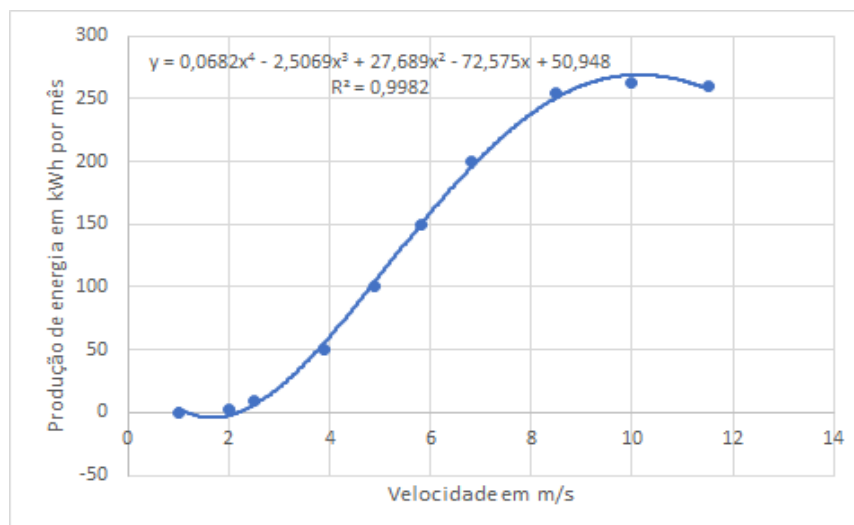
Tabela 3 – Velocidade média mensal dos ventos em Angicos

ESTIMATIVA DE VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS NA UFERSA (m/s)											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
4,52	4,06	3,39	3,21	3,75	4,33	4,81	5,63	5,76	5,29	5,13	4,85

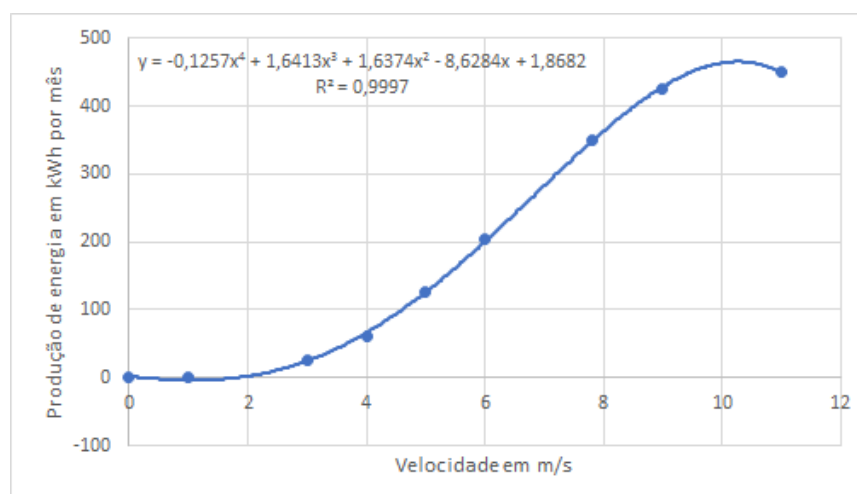
Fonte: Autoria própria

Os ventos com maior intensidade apresentam-se na estação seca (setembro, outubro, novembro e dezembro) e os de menor velocidade na estação chuvosa (fevereiro, março, abril e maio). Como pode ser observado na Tabela 3, a maior velocidade média de vento observada no mês de setembro com intensidade de 5,76 m/s e a menor em abril com intensidade de 3,21 m/s, sendo 4,56 m/s a estimativa da velocidade média anual dos ventos na região.

Portanto, é esperado que o maior valor de geração de energia por meio de um aerogerador, nessas condições de vento, ocorra no mês de setembro e o valor mais baixo no mês de abril, pois, como foi visto na Equação 2.5, a velocidade do vento possui grande influência sobre a potência elétrica de uma turbina eólica. O Gráfico 1 ilustra a curva de geração de energia mensal do aerogerador GERAR 246 (Figura 13a) e o Gráfico 2 apresenta a curva de geração de energia mensal do aerogerador RAZEC 266 (Figura 13b).

Gráfico 1 - Curva de geração de energia mensal do aerogerador GERAR 246.

Fonte: Baseado em dados disponibilizados pela empresa ENERSUD®.

Gráfico 2 - Curva de geração de energia mensal do aerogerador RAZEC 266.

Fonte: Baseado em dados disponibilizados pela empresa ENERSUD®.

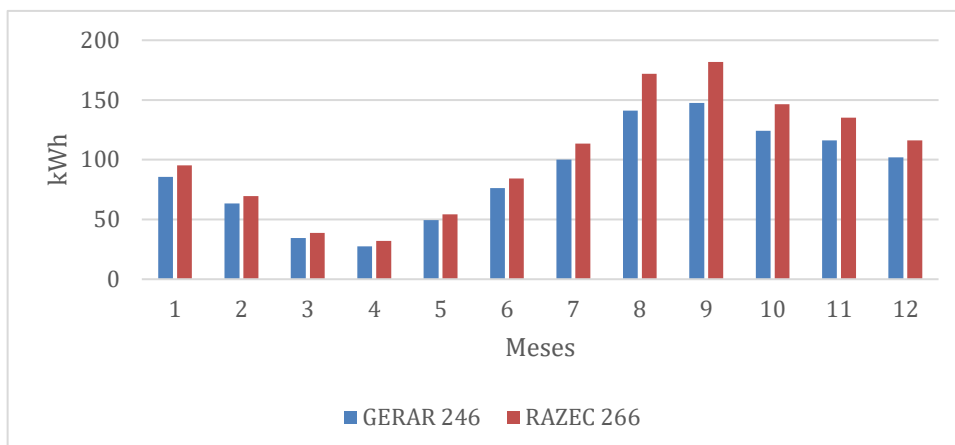
Através da curva de geração de energia fornecida pela empresa ENERSUD® de cada aerogerador escolhido, foi possível gerar uma função polinomial para cada uma delas e, por meio destas, substituindo o valor de cada mês na equação, obter a quantidade de energia gerada mensalmente em kWh por cada aerogerador. É possível observar através do valor de R^2 (varia de 0 a 1), em porcentagem, o quanto o modelo se ajusta aos dados analisados, ou seja, revelando sua elevada precisão com os valores de R^2 superiores a 0,99. A Tabela 4 apresenta os valores estimados de geração mensal em kWh dos aerogeradores escolhidos.

Tabela 4 – Estimativa de geração mensal de energia do aerogerador GERAR 246 e do aerogerador RAZEC 266

Mês	Geração de energia em kWh/mês	
	GERAR 246	RAZEC 266
Janeiro	85,57	95,42
Fevereiro	63,47	69,51
Março	34,47	38,78
Abril	27,61	31,98
Maio	49,45	54,23
Junho	76,29	84,27
Julho	100,00	113,62
Agosto	141,16	171,80
Setembro	147,56	181,79
Outubro	124,17	146,58
Novembro	116,11	135,22
Dezembro	102,01	116,23

Fonte: Autoria própria.

Como visto na Tabela 4, o aerogerador de eixo vertical RAZEC 266 (Figura 13b) apresentou valores de geração de energia, nas condições de vento analisadas, superiores ao aerogerador de eixo horizontal GERAR 246 (Figura 13a), devido a diferença entre a potência nominal deles. O total anual estipulado de geração de energia pelo GERAR 246 foi de 1067,87 kWh e pelo RAZEC 266 foi de 1239,43 kWh. A geração de energia anual média da TEEV estipulada foi de 97,85 kWh/mês, enquanto que o valor de geração anual da TEEH foi de 87,55 kWh/mês. A representação gráfica da Tabela 4 pode ser observada no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Estimativa de geração mensal de energia.

Fonte: Autoria própria.

O mês com maior estimativa de produção energética foi o mês de setembro, onde se obteve um valor estimado de produção de 147,56 kWh para o aerogerador GERAR 246 e 181,79 kWh para o aerogerador RAZEC 266, bem como o mês com o menor valor estimado de produção foi abril, sendo para o aerogerador GERAR 246 o valor estimado de 27,61 kWh e 31,98 kWh para o aerogerador RAZEC 266.

A geração de energia elétrica pelo RAZEC 266 no período do ano de 2017 seria de 0,18% da energia consumida pela instituição nesse mesmo ano, enquanto que a do GERAR 246 seria de 0,16%.

O fator de capacidade foi calculado através da Equação 2.6 utilizando os valores estimados de geração mensal, sendo o intervalo de tempo de 1 ano. O FC do aerogerador RAZEC 266 foi de 0,094 e o FC da TEEV GERAR 246 foi de 0,121. Isso acontece, porque, segundo Menezes (2012), as TEEV não são tão eficientes quanto as de eixo horizontal.

Em posse dos preços por kWh de cada mês, obtidos através da própria UFERSA (campus Angicos), e dos valores de energia gerada por cada aerogerador, foi possível realizar o cálculo do preço de kWh/mês gerado por cada um dos aerogeradores com a finalidade de estimar o valor em reais que poderia ser economizado mensalmente com a atuação destes. A Tabela 5 contém os valores em reais que poderiam ser economizados a partir da geração elétrica dos aerogeradores analisados.

Tabela 5 – Valores que poderiam ser economizados mensalmente pelos aerogeradores citados.

MÊS	ESTIMATIVA DE ECONOMIA EM R\$	
	GERAR 246	RAZEC 266
JAN	163,68	182,52
FEV	91,29	99,97
MAR	133,56	150,26
ABR	99,99	115,82
MAI	99,70	109,34
JUN	320,85	354,42
JUL	410,53	466,44
AGO	584,70	711,61
SET	621,85	766,10
OUT	516,80	610,07
NOV	241,17	280,86
DEZ	209,93	239,20
Total Anual	3494,05	4087,61

Fonte: Autoria própria.

A economia do mês de setembro, que apresentou maior quantidade de kWh gerado, seria de R\$766,10 com a atuação do aerogerador RAZEC 266, que apresentou valores de geração superiores ao aerogerador GERAR 246. Este valor seria de 2,03% da estimativa de valor pago pela UFERSA neste mesmo mês.

5. CONCLUSÃO

A Energia Eólica é a fonte alternativa que mais cresce no Brasil. A implantação de uma turbina eólica de pequeno porte depende de diversos fatores. Visto o grande potencial eólico do estado do Rio Grande do Norte, torna-se imprescindível a realização de estudos acerca das condições de vento na região. Contudo, para a instalação de turbinas em um determinado estabelecimento, faz-se necessário a análise da viabilidade do sistema eólico a fim de evitar investimentos que não trarão a economia desejada para o consumidor.

A partir dos resultados obtidos, esse estudo mostrou que a turbina eólica de eixo vertical RAZEC 266 apresentou baixa eficiência de geração, enquanto que a TEEH GERAR 246 mostrou-se favorável para a produção de eletricidade a partir das velocidades estimadas, o que a torna tecnicamente viável para a geração de energia no local. No entanto, em comparação aos gastos relacionados à energia consumida do campus universitário, os valores mensais que poderiam ser economizados mensalmente por cada aerogerador são ínfimos.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

- A verificação da viabilidade de instalação de uma turbina eólica de maior potência para a produção de energia elétrica no campus;
- A análise da viabilidade de instalação de fontes híbridas para geração elétrica no campus, como a energia eólica em conjunto com a energia solar;
- Levantamento dos valores para aquisição e manutenção dos aerogeradores para determinação da viabilidade econômica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA, Associação Brasileira de Energia Eólica. **Brasil sobe mais uma posição no Ranking mundial de capacidade instalada de energia eólica.** Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/noticias/brasil-sobe-mais-uma-posicao-no-ranking-mundial-de-capacidade-instalada-de-energia-eolica/>>. Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: jun. 2018.

BHUTTA, M.M.A., et al. **Vertical axis wind turbine – A review of various configurations and design techniques**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 16, n. 4, p. 1926-1939.

CASTRO, Rui M. G. **Energias Renováveis e produção descentralizada - Introdução à energia eólica.** 1. ed. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, p. 86, 2003.

CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.** 3. ed. Brasília: CEPEL, 2001. 45 p.

CERNE, Centro de Estratégias em Recursos Naturais & Energia. **Produção eólica no RN avança 39% no primeiro quadrimestre de 2017.** Disponível em: <<http://cerne.org.br/producao-eolica-no-rn-avanca-39-no-primeiro-quadrimestre-de-2017/>>. Acesso em: mai. 2018.

CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **História da Energia Eólica e suas utilizações.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=3>. Acesso em: mai. 2018.

CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **O Recurso Eólico.** 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=3>. Acesso em: jun. 2018.

CRESESB, Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial Eólico do Estado do Rio Grande do Norte.** 2003. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf. Acesso em: set. 2018.

CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Quais são os componentes de um aerogerador?.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=13&filter%5B%5D=>>. Acesso em: jul. 2018.

COSERN, Companhia Energética do Rio Grande do Norte. **Tarifas Grupo A.** Disponível em: <<http://servicos.cosern.com.br/comercial-industrial/Pages/Alta%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-a.aspx>>. Acesso em: ago. 2018.

DUTRA, R. M. **Energia Eólica: Princípios e Tecnologias.** Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf>. Acesso em: jul. 2008.

DUTRA, R. M. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ERIKSSON, S., BERNHOFF, H., LEIJON, M. 2006. **Evaluation of different turbine concepts for wind power**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2006, vol. 12, n. 5, p. 1419–1434.

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia Eólica**. 1º. ed. Barueri: Manole, 2011. 285 p.

GONÇALVES, A. C. R. et al. **Aerogeradores construídos de materiais recicláveis e de pequeno porte**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. 2013. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/6728/443> 0>. Acesso: jun. 2018.

GRANT, A., JOHNSTONE, C., KELLY, N. **Urban wind energy conversion: The potential of ducted turbines**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2008, vol. 33, n. 6, pp. 1157 - 1163.

GROTZINGER, J., JORDAN, T. **Para entender a Terra**. 2. ed. Editora Bookman, 2013. 768 p.

LOPES, A., **Produção eólica e enquadramento técnico econômico em Portugal**. FEUP (Faculdade de Engenharia do Porto), 2009.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Eólica**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2012. 366 p.

MENEZES, A. E. S. **Aproveitamento eólico para uma vila de pescadores**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Elétrica) – UFRJ. Rio de Janeiro, p. 93. 2012.

PICOLO, A.P.; BÜHLER, A.J.; RAMPINELLI, G.A. **Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 4, p. 1-13, 2014.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos da Energia Eólica**. 1º. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 368 p.

PORTAL ENERGIA. **Energia Eólica**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/energia-eolica/>>. Acesso em: jul. 2018.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 3º. ed. Barueri: Manole, 2011. 460 p.

ROSSETTO, Carolina. **Avaliação Econômica da Implantação de Turbinas Eólicas por meio da Análise de Riscos**. Rio de Janeiro, 2015. 32 p. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/cadest/article/view/18881/14371>. Acesso em: ago. 2018.

SANTOS, A. F.; RODRIGUES, M. V. S.; FERREIRA, R. C. **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., 2016. p. 1-9.

TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra** – 2ª edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo. 2009.

ANEXO A

JANEIRO				FEVEREIRO			
CONSUMO ATIVO (kWh)	QUANTIDADE (kWh)	PREÇO	VALOR	CONSUMO ATIVO (kWh)	QUANTIDADE (kWh)	PREÇO	VALOR
BANDEIRA VERDE				BANDEIRA VERDE			
CONSUMO NA PONTA	3270,12	1,58858890	5194,876334	CONSUMO NA PONTA	4675,44	1,19446	5584,62606
CONSUMO FORA PONTA	24948,00	0,32423194	8088,938439	CONSUMO FORA PONTA	27930	0,24379	6809,0547
BANDEIRA AMARELA				BANDEIRA AMARELA			
CONSUMO NA PONTA			0	CONSUMO NA PONTA			0
CONSUMO FORA PONTA			0	CONSUMO FORA PONTA			0
BANDEIRA VERMELHA				BANDEIRA VERMELHA			
CONSUMO NA PONTA			0	CONSUMO NA PONTA			0
CONSUMO FORA PONTA			0	CONSUMO FORA PONTA			0
TOTAL	28218,12		13283,81477	TOTAL	32605,44		12393,6808
MARÇO				ABRIL			
CONSUMO ATIVO (kWh)	QUANTIDADE (kWh)	PREÇO	VALOR	CONSUMO ATIVO (kWh)	QUANTIDADE (kWh)	PREÇO	VALOR
BANDEIRA VERDE				BANDEIRA VERDE			
CONSUMO NA PONTA	4675,44	1,58690049	7419,458027	CONSUMO NA PONTA			0
CONSUMO FORA PONTA	27930	0,32388733	9046,173127	CONSUMO FORA PONTA			0
BANDEIRA AMARELA				BANDEIRA AMARELA			
CONSUMO NA PONTA	5118,75	1,6134715	8258,957241	CONSUMO NA PONTA	5600,49	1,5084794	8448,22402
CONSUMO FORA PONTA	26712	0,35045834	9361,443178	CONSUMO FORA PONTA	25872	0,2895155	7490,34424
BANDEIRA VERMELHA				BANDEIRA VERMELHA			
CONSUMO NA PONTA			0	CONSUMO NA PONTA	4815,93	1,5213016	7326,48201
CONSUMO FORA PONTA			0	CONSUMO FORA PONTA	27930	0,3023376	8444,29001
TOTAL	64436,19		34086,03157	TOTAL	64218,42		31709,3403

MAIO				JUNHO			
CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR	CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR
BANDEIRA VERDE				BANDEIRA VERDE			
CONSUMO NA PONTA			0	CONSUMO NA PONTA	2353,47	1,7366184	4087,079259
CONSUMO FORA PONTA			0	CONSUMO FORA PONTA	18858	0,3256261	6140,656805
BANDEIRA AMARELA				BANDEIRA AMARELA			
CONSUMO NA PONTA			0	CONSUMO NA PONTA			0
CONSUMO FORA PONTA			0	CONSUMO FORA PONTA			0
BANDEIRA VERMELHA				BANDEIRA VERMELHA			
CONSUMO NA PONTA	11214,63	1,69293649	18985,65635	CONSUMO NA PONTA	4925,13	1,7772303	8753,09007
CONSUMO FORA PONTA	53172	0,32322732	17186,64322	CONSUMO FORA PONTA	23373	0,366238	8560,080307
TOTAL	64386,63		36172,29957	TOTAL	49509,6		27540,90644
JULHO				AGOSTO			
CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR	CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR
BANDEIRA VERDE				BANDEIRA VERDE			
CONSUMO NA PONTA	3247,65	1,70613113	5540,916764	CONSUMO NA PONTA			0
CONSUMO FORA PONTA	17388	0,31990956	5562,587429	CONSUMO FORA PONTA			0
BANDEIRA AMARELA				BANDEIRA AMARELA			
CONSUMO NA PONTA	5894,49	1,73273041	10213,56207	CONSUMO NA PONTA	4308,57	1,7149401	7388,939467
CONSUMO FORA PONTA	29778	0,34650884	10318,34024	CONSUMO FORA PONTA	21168	0,3429512	7259,590155
BANDEIRA VERMELHA				BANDEIRA VERMELHA			
CONSUMO NA PONTA			0	CONSUMO NA PONTA	6985,02	1,7281032	12070,83534
CONSUMO FORA PONTA			0	CONSUMO FORA PONTA	31143	0,3561143	11090,46609
TOTAL	56308,14		31635,40651	TOTAL	63604,59		37809,83105

SETEMBRO					OUTUBRO				
CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR		CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR	
BANDEIRA VERDE					BANDEIRA VERDE				
CONSUMO NA PONTA			0		CONSUMO NA PONTA			0	
CONSUMO FORA PONTA			0		CONSUMO FORA PONTA			0	
BANDEIRA AMARELA					BANDEIRA AMARELA				
CONSUMO NA PONTA	5085,78	1,7447971	8873,654195		CONSUMO NA PONTA	5707,17	1,7199208	9815,880335	
CONSUMO FORA PONTA	29190	0,34892192	10185,03084		CONSUMO FORA PONTA	23961	0,3439472	8241,31862	
BANDEIRA VERMELHA					BANDEIRA VERMELHA				
CONSUMO NA PONTA	5372,43	1,75818936	9445,749263		CONSUMO NA PONTA	5390,91	1,7370825	9364,45542	
CONSUMO FORA PONTA	25242	0,36231418	9145,534532		CONSUMO FORA PONTA	28266	0,3611089	10207,10445	
TOTAL	64890,21		37649,96883		TOTAL	63325,08		37737,04882	
NOVEMBRO					DEZEMBRO				
CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR		CONSUMO ATIVO (kwh)	QUANTIDADE (kwh)	PREÇO	VALOR	
BANDEIRA VERDE					BANDEIRA VERDE				
CONSUMO NA PONTA			0		CONSUMO NA PONTA			0	
CONSUMO FORA PONTA			0		CONSUMO FORA PONTA			0	
BANDEIRA AMARELA					BANDEIRA AMARELA				
CONSUMO NA PONTA			0		CONSUMO NA PONTA			0	
CONSUMO FORA PONTA			0		CONSUMO FORA PONTA			0	
BANDEIRA VERMELHA					BANDEIRA VERMELHA				
CONSUMO NA PONTA	6860,07	1,71089647	11736,86955		CONSUMO NA PONTA	11030,04	1,6989202	18739,15732	
CONSUMO FORA PONTA	44247	0,36616676	16201,78063		CONSUMO FORA PONTA	57414	0,3590307	20613,38976	
TOTAL	51107,07		27938,65018		TOTAL	68444,04		39352,54708	