

Protótipo de aerogerador para produção de energia elétrica em pequena escala

Adriana Flak (Fateb) drika_flak@hotmail.com
Alex Sandro dos Santos (Fateb) alex.sandro.santos@hotmail.com
Carlos Camargo de Queiroz (Fateb) carloscq@klabin.com.br
Cleberson Luiz Contin (Fateb) cleberson.contin@yahoo.com.br
Deivid Henrique Pedlowski (Fateb) deividpedlowski@gmail.com

Resumo:

O presente trabalho tem como objetivo o estudo e projeto de um gerador de energia eólica, para fins didáticos pedagógicos, proposto pelo colegiado de Engenharia Mecânica da FATEB- Faculdade de Telêmaco Borba, cuja principal finalidade foi possibilitar aos acadêmicos uma visão ampla do contexto interdisciplinar importante para formação acadêmica e futuro profissional, integrando aos conhecimentos necessários para projeção e construção de um protótipo de um gerador eólico e conversão em energia elétrica em pequena escala. O modo mais comum de conversão de energia eólica em elétrica é por meio de aerogeradores. Estes são geradores elétricos integrados a um eixo composto de hélices e pode ser implantado em terra ou mar, onde a presença do vento é mais regular. É um equipamento que tem se popularizado rapidamente por ser uma fonte de energia renovável e não poluente. Existem dois tipos básicos de rotores eólicos, os de eixo vertical e os de eixo horizontal. Os rotores diferem em seu custo relativo de produção, eficiência e na velocidade do vento em que se tem a sua maior eficiência. Neste trabalho o protótipo de eixo horizontal construído utilizou materiais alternativos, gerou 4 volts de tensão com velocidade média do vento de 7 m/s.

Palavras-chave: Energia Renovável, Energia Eólica, Energia Elétrica.

Prototype wind turbine to produce electricity on a small scale

Abstract

This work aims the study and design of a wind power generator, for educational teaching purposes, proposed by FATEB- Mechanical Engineering Faculty of Telemaco Borba collegiate, whose the main purpose was to allow academics a broad view of interdisciplinary context important for academic and professional future, integrating the knowledge required for designing and building a prototype of a wind power generator and conversion of electrical energy on a small scale. The most common way of wind energy conversion into electricity is through wind turbines. These are electric generators integrated with a compound of propeller shaft and can be implanted on land or sea, where the presence of wind is more regular. It is a equipment that has become popular quickly due to be a renewable source and not pollutant. There are two basic types of wind rotors, the vertical axis and the horizontal axis. The rotors differs in its relative cost of production, efficiency and the wind speed that it has its better efficiency. In this work the horizontal axis prototype built used alternative materials, generated 4 volts voltage with average wind speed of 7 m/s.

Key-words: Renewable energy, Wind energy, Electrical Energy.

1. Introdução

Uma das questões mais importantes da atualidade refere-se às questões energéticas, pois a qualidade de vida das sociedades está diretamente ligada ao consumo de energia elétrica. Hoje

a eletricidade é usada para incontáveis práticas e processos da vida humana e com o crescimento da demanda energética em virtude da melhoria no padrão de vida, gera-se uma grande preocupação com alguns aspectos essenciais para a política e planejamento energético de todas as economias, esta preocupação está diretamente ligada ao desenvolvimento social e econômico, e os custos ambientais para atender esse aumento no consumo de energia (MARTINS et al., 2007).

O esgotamento de combustíveis fósseis se tornou uma das questões mais importantes nas últimas décadas, este fator tem grande efeito na economia, e acarreta na elevação dos preços dos combustíveis, e em consequência surgem problemas políticos e sociais nas principais regiões produtoras. Segundo Martins et al., (2007), fatores ambientais também têm uma grande parcela dentre estas preocupações energéticas da atualidade, pois em épocas de estiagem a produção de energia nas hidroelétricas é comprometida. Com base neste contexto pode-se dizer que o mundo não está mais seguro quanto suas fontes energéticas, mas a inserção de recursos complementares na matriz energética de um país, com a adoção de fontes renováveis de energia, pode minimizar os impactos causados por crises que afetam o mercado de combustíveis fósseis ou por instabilidades na geração hidroelétrica em épocas de estiagem. Para tentar conter estes efeitos, a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico vêm recebendo grande incentivo em todo o mundo, no que diz respeito a fontes renováveis de energia. Dentre as fontes de energias limpas, a que mais vem se destacando é a energia mecânica contida nos ventos, e demonstra grande potencial para contribuir no atendimento dos requisitos necessários, quanto aos custos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental (FLORES, 2014).

Países líderes em geração eólica mostram o rápido crescimento desta tecnologia, e que é possível atender às implicações socioeconômicas. O Brasil não está muito atrás nessa corrida energética, segundo a revista BBC Brasil publicado em novembro de 2015, em menos de uma década, o Brasil passou de um país nulo em energia eólica para se tornar o 10º maior produtor do mundo (ABEEÓLICA, 2015).

A tecnologia de utilizar a energia dos ventos já era conhecida pelo homem à cerca de 2000 a.C., mas a utilização deste recurso voltado para a geração de energia elétrica começou no século XX com o avanço da rede elétrica, no final do século XIX, precisamente em 1888, Charles F. Brush, um industrial voltado para a eletrificação em campo, ergueu na cidade de Cleveland, Ohio, o primeiro “cata-vento” destinado à geração de energia elétrica, este fornecia 12 kW em corrente contínua para carregamento de baterias as quais eram destinadas para o fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes (CRESCESB, 2009; FARIAS e SELITTO, 2011). O aerogerador de Brush foi o começo da evolução dos geradores eólicos, os modelos mais modernos de grande porte são capazes de gerar 250 kW. Essa tecnologia moderna utilizada como suplemento na geração de energia surgiu na Alemanha em 1950, com pás fabricadas com materiais compostos, controle de passo e torre na forma tubular esbelta. Após a primeira grande crise do petróleo em 1980, vários países inclusive o Brasil, realmente se preocuparam em desenvolver pesquisas na utilização de energia eólica como fonte alternativa de energia (RÜNCOS et al., 2000). Em 1990 a Dinamarca e Alemanha já conseguiram tecnologia suficiente para produzir geradores eólicos que contribuíssem de forma mais significativa ao sistema elétrico, vendo que essa tecnologia estava dando certo varias instituições começaram a incentivar este novo mercado causando consequentemente uma competição entre estes países líderes em geração eólica. Devido esta competição o avanço dessa tecnologia aconteceu muito rápido, sendo possível assim desenvolver novas técnicas de construção dos aerogeradores permitindo aumentar a capacidade unitária das turbinas, obtendo assim reduções graduais e significativas nos custos do quilowatt e redução no custo de geração da energia elétrica (RÜNCOS et al., 2000).

No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha (PE), no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas do Brasil (FILIPE et al., 2010; MME, 2016).

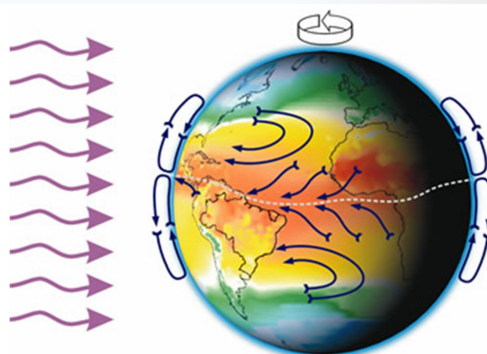
Até 2006, a geração de eletricidade a partir do vento era inexpressiva no Brasil. Isso havia começado a mudar antes, em 2002, com o lançamento de um programa de incentivo a fontes de energia renovável pelo governo federal, que ganhou força a partir de 2009, quando passaram a ocorrer leilões para a criação de usinas e a contratação do fornecimento desse tipo de energia, como o que foi realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Mas a geração de energia eólica é alvo de críticos que veem prejuízos ambientais e privatização de áreas comunitárias para a criação dos parques. Além disso, ainda há dificuldades na transmissão energética. Existem hoje no país 322 usinas, com capacidade de produção de 8,12 gigawatts, o equivalente à usina hidrelétrica de Tucuruí, no Pará, a segunda maior em operação no Brasil, segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (Abreeólica). Essa fonte de energia responde atualmente por 5,8 % da matriz nacional e abastece 6 milhões de residências (BBC Brasil, 2015; COUTINHO, 2015).

De acordo com o Conselho Global de Energia Eólica, o Brasil tem a 10ª maior capacidade de geração do mundo e, em 2014, foi o quarto que mais ampliou esse potencial, atrás de China, Alemanha e Estados Unidos. Essa transformação fez do Nordeste o polo da energia eólica no Brasil: a região responde por 75 % da capacidade de produção nacional (o restante se concentra no Sul do país) e 85 % da energia gerada de fato no país por essa fonte. Dos cinco maiores Estados produtores, quatro são da região norte: Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Piauí – o Rio Grande do Sul completa a lista (CRESCESB, 2009; ABEEÓLICA, 2016).

A energia eólica pode ser considerada como uma das formas em que se manifesta a energia proveniente do Sol, uma vez que os ventos têm origem no aquecimento diferenciado da atmosfera. Essa não uniformidade no aquecimento da atmosfera deve ser creditada, entre outros fatores, à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra. Cerca de 2 % da irradiação solar é transformada em energia eólica, essa conversão começa ocorrer em regiões da linha do equador onde ocorre um maior aquecimento nas massas de ar e após é estendida para as regiões norte e sul do planeta (SILVA, 2012).

As regiões tropicais recebem os raios solares perpendicularmente. Essas regiões são mais aquecidas do que as regiões polares. Consequentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos. Existem locais no globo terrestre nos quais os ventos jamais param de “soprar”, pois os mecanismos que os produzem (aquecimento no equador e resfriamento nos polos) estão sempre presentes na natureza conforme Figura 1 (SILVA, 2012). Estes ventos são chamados de planetários ou constantes, e podem ser classificados em:

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



Fonte: Adaptado (CRESCESB, 2009)

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

Os procedimentos para avaliar o local, no qual se deseja instalar aerogeradores, devem levar em consideração todos os parâmetros regionais que influenciam nas condições do vento. Os principais influenciadores na geração do vento são:

- A variação da velocidade com a altura;
- A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções;
- Presença de obstáculos nas redondezas;
- Relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

Em função de certas características dos ventos, tais como incerteza, incontabilidade e variabilidade das velocidades a integração da energia eólica nos sistemas elétricos de potência é um desafio, e para mitigá-los faz-se necessário a integração de modelos eficientes de previsões de velocidades dos ventos no planejamento e na operação do sistema elétrico (OLIVEIRA, 2008).

O aproveitamento da energia cinética dos ventos para produção de eletricidade se dá através de um processo de conversão de energia que utiliza as turbinas eólicas acopladas aos geradores elétricos (CCEE, 2016).

A integração entre vento e o rotor da turbina produz o torque eletromecânico que é transferido ao gerador, uma vez que a energia eólica é produzida através da energia cinética. Embora o ar possa se mover na vertical, a denominação “vento” é comumente aplicada apenas ao movimento horizontal, paralelo a superfície do planeta. A meteorologia estuda a velocidade e a direção do vento, juntamente com a temperatura, umidade e pressão do ar atmosférico, estas são as variáveis mais importantes empregadas na descrição meteorológica da atmosfera terrestre, sendo o vento responsável pelo transporte de umidade e energia na atmosfera.

Quando associados a eventos como furacões e tornados o vento pode causar grandes destruições, mas também ele pode ser empregado como uma fonte alternativa de energia por meio de sua conversão da sua energia cinética em outras formas de energia, especialmente a elétrica. Estes conceitos são extremamente importantes para o estudo e entendimento do deslocamento das massas de ar.

A Equação 1, descreve a energia cinética (**E**) de uma massa de ar (**m**) em movimento a uma velocidade (**v**) (TERCIOTE, 2002):

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad 1$$

Considerando a mesma massa de ar (m) em movimento a uma velocidade (v) perpendicular a uma seção transversal de um cilindro (Figura 2), pode se observar que a potência disponível no vento que passa pela seção A, transversal ao fluxo de ar é dada pela Equação 2:

$$P = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \quad 2$$

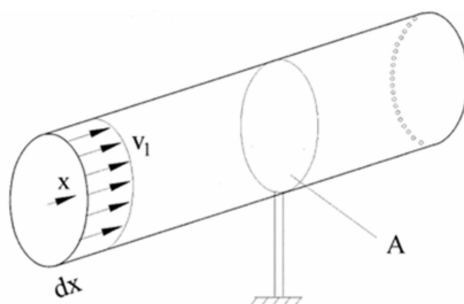
Onde:

P = potência do vento [W]

ρ = massa específica do ar [Kg/m^3]

A = área da seção transversal [m^2]

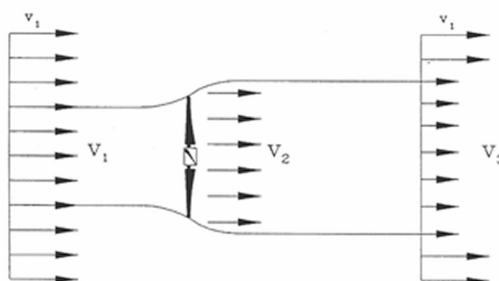
v = velocidade do vento [m/s]



Fonte: (CRESCESB, 2009)

Figura 1 - Fluxo de ar através de uma área transversal A

Quando se reduz a velocidade do deslocamento da massa de ar, a energia cinética proveniente do vento é convertida em energia mecânica através da rotação das pás, porém essa potência disponível no vento não pode ser totalmente aproveitada pelo aerogerador na conversão de energia elétrica. Por esta razão foi introduzido o coeficiente de potência (c_p), que pode ser descrito como a fração da potência eólica disponível que é extraída pelas pás do rotor. O físico alemão Albert Betz conseguiu determinar o valor máximo desta parcela de energia extraída do vento (c_p máximo), para isto ele considerou um conjunto de pás em um tubo, sendo que, v_1 é a velocidade do vento na região interior às pás, v_2 a velocidade do vento no nível das pás e v_3 a velocidade do vento após deixar as pás conforme Figura 3 (TERCIOTE, 2002; PICCOLO et al., 2014).



Fonte: (CRESCESB, 2009)

Figura 2 - Perda da velocidade do vento ao passar por um conjunto de pás

Betz nota que o deslocamento do fluxo de ar é homogêneo, e como a redução na pressão de ar é mínima, a densidade do ar pode ser considerada constante, então Betz concluiu que, a

energia cinética extraída pelo aerogerador é a diferença entre a energia cinética a montante e a energia cinética a jusante do conjunto de pás, portanto a energia extraída do vento por sua vez é dada pela Equação 3.

$$E_{ex} = \frac{m \cdot (v_1^2 - v_3^2)}{2} \quad 3$$

Fazendo algumas relações entre a equação da massa de ar, o teorema de Rankine-Froude, a Equação 4 e a potência do vento, Betz concluiu que o coeficiente de potência em função de $\frac{v_1}{v_2}$ é 0,59.

O coeficiente de potência será utilizado para calcular a potência mecânica extraída do vento pelo aerogerador, que por sua vez também depende de vários fatores. Como este estudo se trata da geração de energia elétrica, esta potência mecânica pode ser obtida por duas equações (Equação 4 e 5):

$$P_{mec} = \frac{\rho \cdot A \cdot v_w^3 \cdot c_p(\lambda\beta)}{2} \quad 4$$

$$\lambda = \frac{R \cdot \omega_{wt}}{v_w} \quad 5$$

Onde:

c_p - coeficiente de potência do aerogerador

λ - razão entre a velocidade tangencial da ponta da pá e a velocidade do vento incidente

ω_{wt} - velocidade angular do rotor [rad/s]

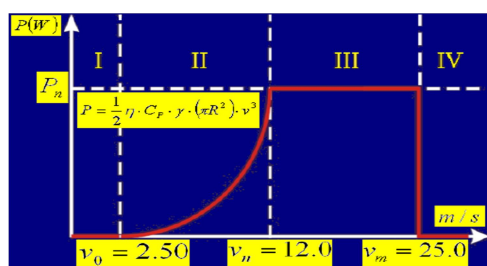
R - raio do rotor [m]

ρ - densidade do ar [Kg/m³]

A - área varrida pelo rotor [m²]

v_w - velocidade do vento incidente no rotor [m/s] (FONSECA,2012).

Portanto, a potência elétrica gerada em watts é uma função da velocidade ao cubo do vento. A geração de energia elétrica se inicia com velocidades de ventos da ordem de $v_0 = 2,5$ m/s, abaixo deste valor o conteúdo energético do vento não justifica o seu aproveitamento. Estas faixas de velocidade estão representadas na Figura 4.



Fonte: (Rüncos et al.,2000)

Figura 4 - Curva de geração de energia elétrica

Na região II a velocidade do vento varia de $v_0 = 2,5$ m/s até $v_n = 12,0$ m/s. Nesta região a potência disponível no eixo do gerador varia com o cubo da velocidade do vento e corresponde a região onde se inicia o processo de conversão eletromecânica da energia do vento. Para velocidades de vento superiores a $v_n = 12,0$ m/s e menores que $v_m = 25,0$ m/s, região III, é ativado o sistema de limitação automática de potência da turbina, que pode ser

por controle do ângulo de passo das pás ou por estol aerodinâmico, dependendo do modelo da turbina. Nesta região a potência disponível no eixo do gerador é constante. Para ventos muito fortes com velocidade superior a $v_m=25,0$ m/s, região IV, atua o sistema automático de proteção, reduzindo a rotação das pás e o gerador elétrico é desconectado da rede elétrica (RÜNCOS et al.,2000).

Basicamente o que difere os dois tipos de geradores são a sua complexidade de construção e seu custo relativo de fabricação, mas ambos podem ser movidos por forças de arrasto e sustentação. Lembrando que a força de arrasto é uma força que atua na direção do escoamento, enquanto a força de sustentação é a mesma força exercida sob as asas de um avião para mantê-lo em vôo, a força atua perpendicularmente o escoamento, ou seja, a força aplicada dependerá da aerodinâmica das pás (PICOLO, 2014).

O aerogerador com rotor de eixo vertical: Estes têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devido às forças de Coriolis. Podem ser movidos tanto por forças de sustentação quanto por forças de arrasto. A Figura 5 ilustra este tipo de aerogerador (MOURA, 2007).



Fonte: (CRESCESB, 2009)

Figura 5 - Aerogerador com rotor de eixo vertical

Aerogeradores com eixo horizontal são os mais comuns, e grande parte da experiência e desenvolvimento mundial está voltado para eles. Também são movidos por forças de arrasto e sustentação. Os rotores que giram predominantemente por forças de sustentação permitem liberar muito mais potência, e necessitam de mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Os rotores mais utilizados para a geração de energia elétrica são os de eixo horizontal, de tipo hélice, normalmente composto de três pás conforme Figura 6 (MELEK, 2015).



Fonte: (CRESCESB, 2009)

Figura 6 - Aerogerador com eixo horizontal

Um sistema eólico pode ser utilizado em três aplicações distintas: sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, necessitam de uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, conforme a aplicação, de uma unidade de armazenamento. Ainda dentro destas três aplicações as turbinas podem ser classificadas quanto ao seu tamanho e capacidade de geração: as de pequeno porte que geram menos de 10 kW de potência, utilizadas em residências e fazendas, as intermediárias que geram, entre 10 e 250 kW de potência geralmente utilizadas em sistemas híbridos e tem sua energia distribuída em pequenas redes, e as de grande porte que geram mais de 250 kW de potência que são utilizadas nos parques ou fazendas eólicas (DOS SANTOS 2006; ZEBRAL et al., 2012).

Sistemas isolados, em geral utilizam alguma forma de armazenamento de energias, o mais comum é a utilização de baterias, e necessitam de um controlador de carga para controlar a carga e a descarga da bateria a fim de evitar danos a bateria ou a descarga profunda. A corrente armazenada é do tipo contínua, então para a utilização de aparelhos eletrodomésticos que operam em corrente alternada ainda será necessário a instalação de um inversor de corrente (CÂMARA, 2011).

Os sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia como, turbinas eólicas, geradores a diesel, módulos fotovoltaicos, entre outros. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica aumenta a complexidade do sistema e exige a otimização do uso de cada uma das fontes. Nesses casos é necessário realizar um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega de energia para o usuário. Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistemas de médio a grande porte destinado a atender um número maior de usuários (CÂMARA, 2011).

Os sistemas interligados à rede utilizam um grande número de aerogeradores (parques ou fazendas eólicas) e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Os totais de potência instalada no mundo de sistemas eólicos interligados à rede somam aproximadamente 120 GW (CÂMARA, 2011; NEVES, 2014).

As instalações *off-shore* representam a nova fronteira da utilização da energia eólica. Embora representem instalações de maior custo de transporte, instalação e manutenção, as instalações *off-shore* têm crescido a cada ano principalmente com o esgotamento de áreas de grande potencial eólico em terra. A indústria eólica tem investido no desenvolvimento tecnológico da adaptação das turbinas eólicas convencionais para uso no mar. Além do desenvolvimento

tecnológico, os projetos *off-shore* necessitam de estratégias especiais quanto ao tipo de transporte das máquinas, sua instalação e operação (CRESCESB, 2009; TAVARES, 2010).

2. Metodologia

Para o presente trabalho o modelo do rotor escolhido para construção do protótipo foi o de eixo horizontal, verificado na Figura 7, devido simplicidade construtiva comparada ao rotor de eixo vertical, utilizando para tanto materiais alternativos.



Fonte: (Autores, 2016)

Figura 7 - Protótipo do aerogerador

O aerogerador é composto de 4 pás com dimensões de 800 x 2,5 mm confeccionada a partir de tubos de PVC de 100 mm de diâmetro da marca Tigre. A base para suporte da torre do gerador e hélices foi feita de ferro fundido com diâmetro de 320 mm, para a base foi utilizado um disco de freio dianteiro de uma camionete Hilux da marca Toyota. A haste tubular em aço utilizada para elevação do conjunto (torre) tem altura de 1170 mm. Ao conjunto foi acoplado caixa de rolamento de 70 x 60 mm, proveniente de um conjunto de eixo traseiro de um carro modelo Gol da marca Volkswagen para proporcionar o giro de 360°. Eixo cônico de 40 x 110 mm também proveniente do veículo Gol foi acoplado a caixa de rolamentos. Também foi utilizada uma chapa em aço de 5 x 225 x 340 mm para fixação do gerador e mancal. Um mancal com eixo de 8 mm foi utilizado na fixação da polia motriz de alumínio.

Como gerador foi utilizado um motor de impressora HP de 12 V DC, com dimensões de 27 x 43 mm. A polia motriz é em alumínio com espessura de 6 mm x 300 mm de diâmetro, fabricada a partir de três chapas de alumínio de 2 mm de espessura, duas de 305 mm de diâmetro e uma com 300 mm de diâmetro. Polia com espessura de 6 mm x 10 mm de diâmetro, retirada de um drive de DVD. Os elementos de fixação utilizados foram, 8 parafusos e porcas 4 mm, 6 parafusos e porcas 6 mm, 4 parafusos 12 mm, 10 parafusos e porcas 10 mm, eletrodo revestido marca Elite modelo E 6013. Foram confeccionadas duas flanges uma com 5 mm de espessura por 160 mm de diâmetro e outra com 5 mm de espessura por 40 mm de diâmetro. Para a correia foi utilizado um cordão de borracha com secção circular de 3 mm.

3. Desenvolvimento

Inicialmente foram fabricados dois flanges e soldadas à haste da torre, depois esses flanges foram aparafusados em uma na base de ferro fundido e outra no eixo cônico da caixa de rolamentos. Na parte superior da caixa de rolamentos aparafusou-se a chapa de aço, para a fixação do eixo mancal e do gerador. Foi estipulada uma distancia de 260 mm entre o eixo do mancal e o eixo do gerador. O ângulo de abraçamento (α_c) ou contato é entendido como ângulo formado pelo segmento das retas que unem os pontos de contato da correia a polia e o

centro desta. Se as polias forem do mesmo tamanho, o ângulo de abraçamento será de 180° e teremos uma situação de potência máxima (SANTOS 2012 apud FERREIRA 2011). O ângulo de contato da correia na polia menor foi cálculo pela Equação 6 como segue:

$$Ac = 180^\circ - \left(\frac{D_1 - D_2}{C} \right) \cdot 60^\circ \quad 6$$

$$Ac = 180^\circ - \left(\frac{300 - 10}{260} \right) 60^\circ$$

$$Ac = 113^\circ$$

Onde:

Ac - Ângulo de contato

D_1 - Diâmetro da polia motora

D_2 - Diâmetro da polia movida

C - Distância entre eixos

O ângulo perfeito é de 180° , mas isso proporcionaria uma distância muito grande entre eixos, dificultando a fabricação do protótipo.

A polia motriz em alumínio foi acoplada ao eixo mancal e nela foram afixadas as pás utilizando dois parafusos em cada uma, respeitando o ângulo de 90° entre cada pá, a polia do drive de DVD foi acoplado ao eixo do gerador, e estas duas foram interligadas por meio da correia de borracha. Com estas informações foi possível calcular a relação de transmissão (i) e o comprimento da correia pela Equação 7.

$$i = \frac{\text{polia motora}}{\text{polia movida}} \quad 7$$

$$i = \frac{300 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 30:1$$

A cada volta da polia motora (pás) a polia movida (gerador) dará 30 voltas.

Comprimento da correia calculado pela Equação 8:

$$L = 2 \cdot C + \left(\frac{\pi}{2} \right) \cdot (D + d) + \left(\frac{(D - d)^2}{4 \cdot C} \right) \quad 8$$

$$L = 2 \cdot 260 + \left(\frac{\pi}{2} \right) \cdot (300 + 10) + \left(\frac{(300 - 10)^2}{4 \cdot 260} \right) = 1087.76 \text{ mm}$$

Onde:

L - Comprimento da correia

C - Distância entre eixos

D - Diâmetro da polia maior

d - Diâmetro da polia menor

Para evitar problemas como o escorregamento a correia foi confeccionada com 1080 mm, para que a tensão gerada pela correia melhore o atrito da mesma com as polias.

Após a construção do protótipo foram simulados geração de ventos utilizando ventiladores, Com o auxílio de um anemômetro da marca Minipa, modelo MDA11 e multímetro ICEL Manaus modelo AT -3020, foi verificado que este protótipo é capaz de gerar uma tensão de aproximadamente 4 volts a uma velocidade do vento da ordem de 7m/s.

4. Conclusão

Sabe-se que a nossa região (Campos Gerais) não é a mais propícia para a instalação destes tipos de equipamentos, se faz necessário um estudo mais aprofundado sobre a aerodinâmica das pás do rotor para um melhor aproveitamento do vento, porém como principal objetivo deste trabalho foi o incentivo a pesquisa em seu contexto, pode-se verificar desde a concepção até a aplicação do aerogerador os conceitos adquiridos. Os equipamentos requerem uma velocidade mínima de vento para que entrem em funcionamento, que em geral situa-se em torno de 3,5 m/s. Entretanto, ventos muito fortes não são adequados, pois danificam o equipamento e geram excessiva variação na tensão da rede elétrica à qual o equipamento está conectado. Aerogeradores com potência de 1,5 MW funcionam a velocidade máxima de 25 m/s (COSTA et al., 2009). Serão necessários ajustes no projeto a fim de melhorar a capacidade de captação de vento e assim maior geração de energia, porém em testes preliminares foi possível gerar 4 volts de tensão (corrente contínua) com vento a uma velocidade de 7 m/s.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Colegiado de Engenharia Mecânica da Faculdade de Telêmaco Borba (FATEB), pelo incentivo a pesquisa.

Referências

ABEEÓLICA (Associação Brasileira de Energia Eólica). Energia eólica: em 9 anos, Brasil passa de país nulo a 10º maior produtor. 2015. Disponível em :
<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/4093-energia-e%C3%B3lica-em-9-anos,-brasil-passa-de-pa%C3%ADs-nulo-a-10%C2%BA-maior-produtor.html>.

ABEEÓLICA (Associação Brasileira de Energia Eólica). Novo olhar para o Brasil, um dos maiores produtores de energia eólica do mundo 2016. Disponível em :
<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/4382-novo-olhar-para-o-brasil,-um-dos-maiores-produtores-de-energia-e%C3%B3lica-do-mundo.html>.

BONATTO, A; BARROS,C,R; GEMELI,R,A; LOPES, T,B; FRISON,M,D. Interdisciplinaridade no ambiente escolar. IX ANPED SUL, 2012. Acessado em 21/08/2016 às 14:00 horas. Disponível em:
<http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/paper/viewFile/2414/501>

BRASIL. Ministério da Educação-MEC, Secretaria de Educação Básica. Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, 2006.

BRITISH BROADCASTING CORPORATION (BBC): Disponível em:
http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/11/151110_energia_eolica_nordeste_rb. Acessado dia 19/03/2016.

CÂMARA,C,F. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, do curso de PósGraduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de especialista em Formas Alternativas de Energia. 2011.

CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). Acessado em 30/08/2016. Disponível em :
https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde_atuamos/fontes?_afzLoop=591569335182372#%40%3F_afzLoop%3D591569335182372%26_adf.ctrl-state%3D18pbo19p20_4

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – Energia Eólica Princípios e Tecnologias - Ricardo Dutra 2009.

COSTA, R, A; CASOTTI,B,P; AZEVEDO,R,L,S. Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 29, p. 229-278, mar. 2009.

COUTINHO, M.O. Perspectivas energéticas brasileiras de 2005 a 2030. Monografia submetida ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

DOS SANTOS, A.; RAMOS, D.; DOS SANTOS, N.; OLIVEIRA, P. Projeto de geração de energia eólica. Energia eólica. 2006. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/mecanica/polari/energiaeolicatcc.pdf>>.

FARIAS, L.M.; SELLITTO, M.A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011

FILIPPE, D.B.L.; LOBATO, E.M.; QUINTAN, V.C. Energia eólica: análise sobre o potencial eólico brasileiro. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, p. 267-278, 2010.

FLORES, T.S. Um Breve Estudo Comparativo Entre as Energias Eólica e Nuclear. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 37 Ed. Especial UFVJM, 2014, p. 24–29. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM

FONSECA, M.R. Influência do ângulo de pitch no desempenho de um aerogerador de pequeno porte projetado com perfil aerodinâmico NREL S809. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação da Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará. 2012

MARTINS, F. R, GUARNIERI, R. A, PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, São José dos Campos, SP Brasil, 17/10/2007.

MELEK, V.C. Estudo comparativo de viabilidade econômica entre uma usina eólica e uma usina híbrida (eólica-fotovoltaica). 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME): Disponível em: http://www.mme.gov.br/programas/proinfo/menu/programa/tecnologias_contempladas.html acessado dia 19/03/2016.

MOURA, A.S. Avaliação de metodologias de projeto de fundações superficiais de aerogeradores assentes em areia de dunas. Tese de doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 2007.

NEVES, P.S. Interligação da geração eolielétrica com o sistema elétrico de potência. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2014.

OLIVEIRA, J.B. Sistemas Inteligentes e wavelets para previsão de ventos e geração eólica. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de pós graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

PICOLO, A.P.; RÜHLER, 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. vol.36 n.4 São Paulo. 2014.

RÜNCOS, F.; CARLSON, R.; KUO-PENG, P.; VOLTOLINI, H.; BATISTELA, N. J. Geração de energia eólica – tecnologias atuais e futuras. WEG Maquinas - GRUCAD-EEL-TET-UFSC, 2000.

SILVA, L.O. Energia Eólica. Dossiê Técnico. BRT - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2012. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwNw==>

SANTOS, R.T. Levantamento de curvas de rendimento de um sistema de mecânica por correia. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

TAVARES, B. J. Parques Eólicos Offshore: Estudo de soluções de interligação do tipo HVAC e HVDC, FEUP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 2010.

TERCIOTE, R. Eficiência energética de um sistema eólico isolado. Anais 4º Encontro de Energia Meio Rural 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100056&script=sci_arttext&tlng=pt

ZEBRAL, D.E.; ARÊAS, G.S.A; SILVA, J.A. Energia Eólica: o uso de energias renováveis nas plataformas de petróleo. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 2, n. 1, p. 55-61, 2012.