



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

MICRO TURBINAS EÓLICAS DE BAIXO CUSTO

CON10-1313

Daniel Augusto Azevedo Moori, daniel.moori@gmail.com¹
João Flesch Fortes, joao.fortes@poli.usp.br²
Leandro Molon, lmolon@yahoo.com.br³

¹Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Rua Teodoro Sampaio, 316, apto 5, Pinheiros, São paulo, cep 05406-000.

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Rua Estado de Israel, 847 ap 111, São Paulo, cep 04022-002.

³Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Rua Mendeleiev, 200 - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo - Campinas - SP - Caixa Postal: 6122 - cep 13.083-970.

Resumo: *O objetivo deste presente trabalho consiste no aproveitamento da energia cinética do vento a partir de um gerador eólico de baixo custo, com pás de Policloreto de Vinilo (PVC) e gerador com motor de corrente contínua, fazendo a conversão em energia mecânica em energia elétrica. As turbinas têm como aplicação o atendimento de cargas isoladas de baixa potência que não justifique a conexão com a rede de distribuição ou que necessite ter um sistema dedicado de fornecimento de energia. A finalidade da pesquisa é desenvolver um projeto simples e de baixo custo. Para o gerador elétrico escolheu-se usar um pequeno motor de corrente contínua com caixa de redução já acoplada a ele. Tubos de PVC foram utilizados como material para confecção dos rotores das turbinas. Todos os componentes podem ser facilmente adquiridos no mercado e tanto os componentes quanto a construção ficam com um custo inferior a US\$100,00 por gerador. O valor médio atual de um gerador eólico comercial para a mesma aplicação é de US\$400,00. Foram feitas análises numéricas e experimentais para validar o modelo. Dentre elas dimensionamos os rotores para uma potência de geração de 100 W. Obtido os melhores projetos, realizamos a construção de protótipos. Esses foram testados em túnel de vento e em campo, para validar os dados obtidos numericamente. Com ensaios e simulações efetuados, pode-se escolher o conjunto mais adequado à região a ser instalado, sem mudanças significativas no custo. Variando o número de pás e conjunto motor redutor de acordo com as características eólicas locais.*

Palavras-chave: *Energia Eólica; Baixo Custo; Sustentabilidade*

1. INTRODUÇÃO

O estudo de micro turbinas eólicas surgiu devido à necessidade de suprir pequenas cargas isoladas da rede de distribuição de energia elétrica. Sistemas de alarme, iluminação e monitoramento em geral podem ser abastecidos por geradores de potência de 100W. Sistemas eólicos de baixa potência já existem no mercado, porém devido ao custo elevado desta tecnologia, são poucas as aplicações economicamente viáveis. Uma forma de ampliar a utilização de micro turbinas eólicas é reduzir o custo deste produto. Micro turbinas eólicas de baixo custo são de fácil construção de forma que o próprio consumidor pode montar. Este artigo consiste em dimensionar um gerador eólico de baixo custo para uma geração de 100W de potência e avaliar se este aero gerador pode ser técnica e economicamente viável.

2. DESCRIÇÃO DO GERADOR EÓLICO

Com a intenção de manter uma construção simples e de baixo custo, optamos em utilizar como gerador um motor de corrente contínua (cc) com caixa de redução acoplada. Para construção das pás do rotor foi utilizado um tubo de PVC.

O aero gerador que foi construído é do tipo eixo horizontal. A Figura (1) mostra o desenho da turbina eólica com indicação de cada um de seus componentes.

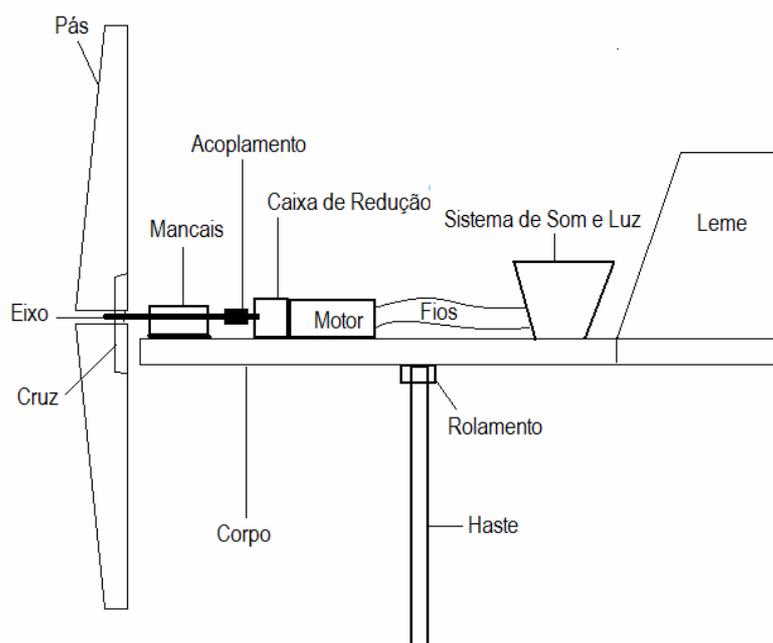


Figura 1. Detalhes da turbina eólica de eixo vertical de baixo custo

As pás do rotor foram construídas à partir de tubos de PVC de 150mm de diâmetro e 0,8m de comprimento, utilizado para tubulação de esgoto em residências.

As 4 pás são fixadas em uma cruz de aço que vai parafusada em uma das duas pontas do eixo (8 mm de diâmetro) de transmissão de potência do aero gerador. O eixo de transmissão de potência é apoiado sobre dois mancais (cubo de bicicleta). Na outra extremidade do eixo de transmissão de potência temos um acoplamento entre a ponta do eixo de potência e o eixo da caixa de transmissão do motor. O acoplamento é parafusado na ponta do eixo de potência e fixado por meio de chaveta no eixo de transmissão do motor. A caixa de transmissão e o motor já foram adquiridos como um conjunto montado.

Os mancais (cubo de bicicleta) e o motor são fixados de forma que quando as pás giram, a carcaça dos mancais e a carcaça do motor ficam rígidas ao corpo.

Para o direcionamento das pás com o fluxo da ar, há um leme na extremidade do corpo oposta às pás . Para permitir rotação ao longo da direção vertical foi montado um rolamento que fixa o corpo ao mastro de sustentação. O mastro de sustentação fica fixo ao chão e o seu diâmetro varia com a altura que vai ser posicionado o gerador eólico.

O conversor eletro-mecânico utilizado é um pequeno motor redutor de corrente contínua de baixa potência. A excitação nesses motores é feita por ímãs permanentes, assim não é necessária uma fonte de corrente externa para gerar energia.

A redução integrada ao motor no modo gerador é vista ao contrário então ela atua como uma caixa multiplicadora, que faz a rotação do rotor elétrico ser maior que a rotação das pás, importante para aumentar a eficiência da geração. A rotação típica da turbina se encontra entre 100 e 300 rotações por minuto (RPM). Para um bom rendimento de conversão a rotação deve ser superior a 1000 RPM.

Os geradores eólicos em exposição foram equipados com um sistema de luz e som. O sistema de luz continha um jogo de leds de alto brilho e um circuito eletrônico que os acendia conforme a tensão gerada. Como a tensão varia linearmente e diretamente proporcional à rotação das pás, quanto maior a velocidade do vento maior o número de leds acesos. O sistema de som era basicamente uma sirene piezo elétrica que tinha seu som modulado de acordo com a rotação da turbina.

3. INSTALAÇÕES EM CAMPO

As turbinas foram expostas em dois simpósios, um evento de arte e um modelo didático foi incluído no acervo da Fundação Energia e Saneamento do Estado de São Paulo. Todos funcionaram perfeitamente gerando sons e luz. Além dessas, outras com diferentes configurações foram instaladas em diversos lugares para a coleta de dados e estão em funcionamento há mais de 6 meses. Os detalhes de algumas instalações estão a seguir:

3.1. Escola Politécnica - USP

Quatro geradores eólicos foram instalados na USP como parte de uma mostra artística. A Figura (2) mostra uma das turbinas instaladas em frente ao prédio de Engenharia civil.



Figura 2. Gerador eólico instalado na EPUSP

3.2. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Rio Claro

Um aro gerador ficou exposto na UNESP em Rio Claro durante um simpósio realizado no mês de outubro de 2009. Ele foi posicionado a 4 metros do chão utilizando um caibro de madeira com seção quadrada com 40 mm de lado. Ao longo dos três dias funcionou gerando sons e luz. A Figura (3) mostra a turbina instalada no dia 22 de outubro de 2009.



Figura 3. Gerador eólico instalado na UNESP campus de Rio Claro

3.3. Museu da Energia localizado em Corumbataí

A pedido da Fundação Energia e Saneamento do Estado de São Paulo, um modelo didático foi instalado no Museu da Energia em Corumbataí. A turbina eólica faz parte do “Roteiro de Fontes Alternativas”, onde se enfatiza questões da influência na geração de energia elétrica, por exemplo, sobre o efeito do aquecimento global.

A Figura (4) mostra a turbina didática do museu da energia.



Figura 4. Turbina eólica didática instalada no Museu da Energia em Corumbataí

4. DIMENSIONAMENTO DO ROTOR

Para dimensionamento do raio do rotor foram utilizadas as seguintes equações segundo Fox et al:

$$C_p = \eta_1 \quad (1)$$

$$C_p \eta_2 \eta_3 = \frac{P}{FEC} \quad (2)$$

$$FEC = \frac{1}{2} \rho V^3 \pi R^2 \quad (3)$$

Inicialmente foram estimadas as eficiências da Equação (1) e Equação (2) conforme segue abaixo:

(1) Consideramos a máxima eficiência das pás em torno de $\eta_1 = 0,32$, que é um valor esperado para pequenas turbinas eólicas segundo Hirahara et al.

(2) Para eficiência de perdas mecânicas devido os mancais e engrenagens foi considerado $\eta_2 = 0,90$, que é um valor razoável de eficiência para sistemas mecânicos conforme Juvinal et al.

(3) Para eficiência do gerador foi considerado $\eta_3 = 0,80$, que é um valor típico para pequenos motores de corrente contínua conforme Fitzgerald et al.

Pela Eq. (1), temos que $C_p = 0,32$.

Substituindo C_p , η_2 , η_3 e potência final $P = 100W$ na Equação (2) temos que fluxo de energia cinética $FEC=390W$.

Para cálculo do raio do rotor isolamos R na Equação (3), consideramos densidade do ar a $25^\circ C$ e Pressão Atmosférica $\rho=1,19$ (kg/m³) e velocidade do vento $V=6,9m/s$. Assim obtemos $R=0,80m$ aproximadamente.

5. ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO

Os ensaios em túnel de vento foram realizados no Laboratório do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas).

O túnel é do tipo blower (soprador) com circuito aberto. A seção de testes quadrada de 400mm X 400mm. Os testes realizados tinham como intuito apenas obter uma ordem de grandeza dos valores de rotação do rotor em função da velocidade do vento. Para obtermos esses valores de rotação em função da velocidade do vento, utilizamos a parte externa do túnel de vento, à jusante da seção de testes. A velocidade do vento foi medida com um anemômetro de hélice. Para cada velocidade de teste, foram tomados três valores de velocidade ao longo do raio do rotor, à montante do rotor. À partir desses valores foi obtida a velocidade do vento média ao longo do rotor. Também para cada velocidade de teste era medida a tensão de saída do gerador através de um multímetro digital. As medidas de tensão foram utilizadas depois para obtermos os valores de rotação do rotor através da curva de calibração de tensão em função da rotação. Os valores obtidos de velocidade do vento e rotação, apresentados na Figura (5), foram utilizados para calcular a razão de velocidade periférica *RVP*.

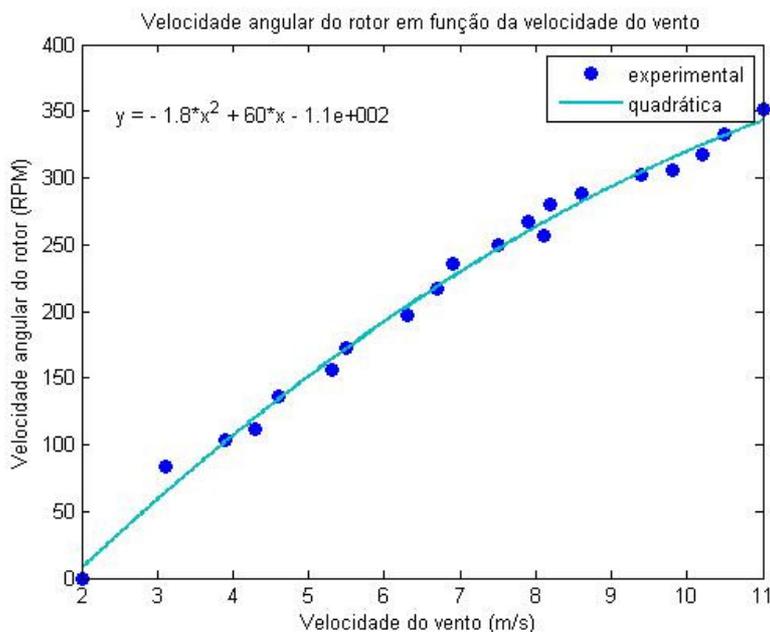


Figura 5. Velocidade angular do rotor (rotações por minuto) e velocidade do vento (m/s)

Para cálculo da *RPV* foi utilizada a seguinte equação segundo Fox et al:

$$RVP = \frac{\omega R}{V} \quad (4)$$

Onde V (m/s) é velocidade do vento, ω (rad/s) é rotação do rotor e R (m) o raio do rotor. Foram obtidos valores de *RVP* em torno de 2,8, que é um valor esperado para turbinas de pás múltiplas segundo Hirahara et al.

6. DIREITOS AUTORAIS

O presente trabalho está em fase experimental, não foram feitas patentes para nenhum dos dispositivos mencionados. Após o aprofundamento dos estudos e do desenvolvimento dos protótipos serão apresentadas propostas de patentes para avaliação.

7. CONCLUSÃO

O trabalho consiste de um projeto preliminar, que foi elaborado, construído e financiado pelos próprios autores. Nos testes em campo os protótipos funcionaram gerando energia, porém não foram feitas as instrumentações adequadas para uma discussão sobre eficiência energética. Portanto as propostas para trabalhos futuros são: elaborar um modelo numérico detalhado sobre o aero gerador, obter os modelos mais interessantes para desenvolver os protótipos, testes em túnel de vento e em campo com instrumentação, estudo sobre outros tipos de geradores mais eficientes e com menos desgaste, estudo sobre formas de armazenamento de energia. Todos esses tópicos serão abordados e avaliados com ênfase ao baixo custo. Há um grande potencial de pesquisas envolvendo o conceito de baixo custo. Algumas das propostas já estão em andamento, com orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos P. da Silva do Departamento de Sistemas de Energia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas.

8. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos amigos Raphael Felipe Gama Ribeiro e Leandro Vanucci Zaccarias, que ajudaram nos testes em túnel de vento e em muitas idéias.

9. REFERÊNCIAS

- Hiraharaa, H.; Hossainb, M. Z.; Kawahashia, M.; Nonomurac, Y. ,2005.”Testing basic performance of a very small wind turbine designed for multi-purposes”, *Renewable Energy* 30,pp. 1279–1297.
- Fox, R. W.; McDonald, A. T.; Pritchard, P. J.,1998. “Introduction to Fluid Mechanics”. 5th ed.: John Wiley & Sons Canada, Ltd.
- Juvinall, R. C.; Marshek, K. M.,1991. “Fundamentals of machine component design”. 2th ed.: John Wiley & Sons Canada, Ltd.
- Fitzgerald, A. E.; Kusko, A. ; Kingsley Jr., C.,1975. “Electric Machinery”. 3rd ed.: McGraw-Hill Book Company.