

UM ESTUDO DE CASO DE PROJETO INTEGRADOR: DESENVOLVIMENTO DE TURBINA E GERADOR EÓLICO

Igor Affonso Augustin

Milena Maia

Pietro Stolf

Ricardo Nogueira Cavalieri

Rodrigo Schmitz

Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Joinville

Igor.augustin@catolicasc.org.br

Luciano de Souza Ribeiro Bueno

Moisés Luiz Parucker

Professores do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Joinville

Luciano.bueno@catolicasc.org.br

Resumo. *O projeto é um estudo de caso da integração de várias disciplinas da engenharia mecânica no desenvolvimento de um captador eólico que seja capaz de transformar a energia mecânica, por meio da movimentação das pás provocada pelo vento em energia elétrica. Utilizando conceitos matemáticos e físicos, escolha adequada de materiais e componentes, além do cálculo de equilíbrios mecânicos e valores de tensão e corrente gerado, foi possível verificar a eficiência energética do aparato construído.*

Palavras-chave: *Energia eólica. Sustentabilidade. Projeto Integrador.*

1. INTRODUÇÃO

A crescente escassez de recursos não renováveis gera a necessidade do emprego de formas alternativas de energia.

Segundo Martins (2008, p. 1): “Nas últimas décadas a segurança no suprimento de energia está associada às perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo”. Por

este motivo, tem-se observado um grande crescimento de métodos renováveis de geração de energia. Entre esses métodos, a energia eólica se destaca, por ser uma forma extremamente limpa e de rápida instalação.

Este projeto integrador trata do desenvolvimento de um gerador eólico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gerador e caixa

Para desenvolver os componentes centrais do gerador, faz-se necessário o conhecimento das leis de indução de Faraday, que permitem calcular a corrente elétrica induzida pelo movimento de um ímã em relação a bobina.

2.2 Lei de indução de Faraday

A lei da indução de Faraday define que quando o fluxo de um campo magnético varia em relação a um circuito elétrico, ocorre a movimentação dos elétrons de condução gerando assim uma corrente

elétrica induzida. Entretanto, se o imã for mantido estático em relação ao circuito e o campo não variar, a corrente se mantém nula. “Quando o imã pára de se mover, o número de linhas de campo que atravessam a espira deixa de variar e a corrente induzida e a força motriz induzida desaparecem” (HALLIDAY, 2012).

Pode-se definir a lei de Faraday pela seguinte equação:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi}{dt} \quad \text{Eq. (1)}$$

$\mathcal{E}$ = Força eletromotriz.

$\frac{d\phi}{dt}$ = Derivada do fluxo em relação ao tempo.

Quanto às aplicações da lei de Faraday, pode ser destacado o uso em geradores que consiste de muitas espiras em série e em paralelo formando conjuntos de bobinas. O conjunto das bobinas num gerador é chamado enrolamento, que é montado em torno de um núcleo de aço silício (material ferromagnético) e que constitui armadura, onde é induzida a força eletromotriz (tensão).

2.3 Cabine

Na cabine estão alojados, entre outros equipamentos, o veio principal, o travão de disco, a caixa de velocidades (quando existe), o gerador e o mecanismo de orientação direcional.

O veio principal de baixa rotação transfere o binário primário do rotor para a caixa de velocidades. Em situações de emergência devidas a falha no travão aerodinâmico ou para efetuar operações de manutenção é usado um travão mecânico de disco.

A caixa de velocidades (quando existe) é necessária para adaptar a frequência do rotor da turbina à frequência do gerador.

O gerador, na essência, é um dispositivo bastante simples, que usa as propriedades da

indução eletromagnética para produzir tensão elétrica (LAYTON, 2011).

2.4 Pás do rotor

As pás atuam como barreiras para o vento. Quando o vento força as pás a se mover, transfere parte de sua energia para o rotor. (LAYTON, 2011)

Alguns fabricantes optaram por ligas de alumínio que apresentam melhores propriedades mecânicas, mas têm a desvantagem de a sua resistência à fadiga se deteriorar rapidamente (CASTRO, 2009)

Já os compósitos constituem os materiais mais usados nas pás das turbinas eólicas, destacando-se os plásticos reforçados com fibra de vidro. Estes materiais são relativamente baratos, robustos, resistem bem à fadiga e são moldáveis, o que é uma vantagem importante na fase de fabricação (CASTRO, 2009). Sob o ponto de vista das propriedades mecânicas, as fibras de carbono constituem a melhor opção. Contudo, o seu preço elevado é ainda um obstáculo.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a geração de energia, optou-se pela ligação em série de quatorze bobinas com o campo produzido por quatorze imãs, estando estes alternados. Foram utilizados imãs utilizados em sistemas magnetron responsáveis pela geração de micro-ondas em eletrodomésticos.

Em relação a turbina, foi selecionado o modelo Savonius para a construção da turbina, com rotor de eixo vertical que dispensa o mecanismo de orientação direcional do vento. O desenho deste rotor é relativamente simples, o que possibilita a economia na fabricação.

A fabricação do rotor se deu a partir de latas previamente utilizadas para o armazenamento de tinta, com capacidade de 18 litros, pois esta apresentou de dimensões adequadas à fonte de vento (tubo de 200

mm). As latas foram cortadas em partes iguais, sendo unidas no eixo por suas extremidades. A figura 1 apresenta esquema da estrutura proposta, sendo que o modelo foi construído com 12 pás ligadas ao eixo do rotor.

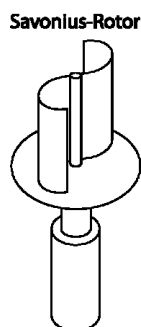


Figura 1. Rotor de Savonius.

A rotação gerada pelo vento no rotor não é suficiente para manter girando na velocidade necessário o eixo que contém os ímãs. Neste sentido, fez-se necessário o uso de um sistema de redução para que a rotação aumente como necessário. O sistema é composto por duas polias, sendo que a maior se trata de um aro de bicicleta de 22 polegadas e a menor é fabricada com uma relação de raio de aproximadamente 1:7.22 o que também fará com que o torque aumente no eixo do rotor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o fim de calcular a eficiência obtida pelo gerador, necessitou-se verificar alguns dos valores relacionados à fonte de ar que movimentará as pás do gerador. A seguir estão descritas as equações que evidenciam o trabalho realizado pelo ar. Para o balanço de massa:

$$\frac{dm}{dt} = \Sigma m_e - \Sigma m_s \quad \text{Eq. (2)}$$

A equação 09 descreve a entrada e saída de massa de ar. Para o balanço de energia:

$$\frac{dE}{dt} = Q - W + m_e \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) - m_s \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad \text{Eq. (3)}$$

A equação 10 descreve a entrada e saída da energia no sistema, levando em consideração o trabalho realizado e o calor gerado.

Levando em consideração que o regime do sistema é fechado, podemos fazer as seguintes considerações:

$$\frac{dE}{dt} = 0 \quad \frac{dm}{dt} = 0 \quad \text{Eq. (4)}$$

Aplicando essas considerações nas formulas previamente citadas, temos as seguintes relações:

$$W = m \left(\frac{V_s^2}{2} - \frac{V_e^2}{2} \right) \quad \text{Eq. (5)}$$

Podemos considerar que a velocidade final do gás liberado é zero, pois sua energia cinética é dissipada rapidamente ao entrar em contato com o ar. Portanto:

$$W = m \left(\frac{V_s^2}{2} \right) \quad \text{Eq. (6)}$$

Para descobrir a massa do gás aplicado nas pás, utilizamos a equação de Clapeyron:

$$PV = \frac{m}{PM} RT \quad \text{Eq. (7)}$$

Experimentalmente foram alcançados os seguintes valores para serem utilizados na equação:

$$\begin{aligned}
 T &= 300K \\
 R &= 0,082 \\
 PM &= 29,1 \text{ g/mol} \\
 P_{\text{inicial}} &= 10 \text{ atm} \\
 P_{\text{final}} &= 1 \text{ atm} \\
 V &= 2830 \text{ l}
 \end{aligned}$$

Desta forma foram utilizadas as equações (2) e (3) e os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Massa de ar gerada.

pressão (bar)	Varição massa (g)	Tempo (seg)	Vazão (m³/s)	V mas (kg/s)	Velocidade (m/s)	Potencia (watts)
0	3107,178862	0	0	0	0	0
1,5	2592,947154	66	0,032071084	0,039287078	1276,067893	31986,54245
1,8	2490,100813	55	0,036958825	0,04527456	1470,54491	48953,17103
2	2421,536585	49	0,040342134	0,049419114	1605,162505	63665,32671
2,5	2250,126016	39	0,047098399	0,057695539	1873,985756	101308,2491
3	2078,715447	28	0,060603949	0,074239837	2411,354509	215838,614
3,5	1907,304878	20	0,077849179	0,095365244	3097,520401	457497,2406
4	1735,894309	13	0,109004352	0,133530331	4337,145368	1255908,178
4,7	1495,919512	5	0,244231757	0,299183902	9717,672849	14126441,5

O estabelecimento da potência do vento permitiu calcular a potência gerada:

$$P = U \cdot i$$

Eq. (8)

P = Potência (W)

U = Tensão (V)

I = Corrente (A)

Tabela 2. Resultados experimentais da potência gerada pela força do vento.

Pressão (bar)	Tensão (V)	Corrente (i)	Potência (W)	Tempo (s)	Trabalho (J)
1,5	46	0,05	2,3	66	151,8
1,8	50	0,08	4	55	220
2	56	0,12	6,72	49	329,28
2,5	64	0,13	8,32	39	324,48
3	76	0,14	10,64	28	297,92
3,5	79	0,17	13,43	20	268,6
4	85	0,19	16,15	13	209,95
4,7	91	0,22	20,02	5	100,1

Através da interpolação de Lagrange foi possível definir uma função que relaciona a potência do vento com a potência gerada, sendo que os dados obtidos para o gerador foram representados por “f(x)” e os dados coletados do vento são representados por “x”:

$$P(x) = 0.572541 x^7 - 32.9312 x^6 + 785.232 x^5 - 10046.6 x^4 + 74681.7 x^3 - 319683. x^2 + 722280. x - 611498. \quad \text{Eq. (9)}$$

A partir do método estatístico de ajuste exponencial, foi possível aproximar uma função exponencial para os dados obtidos:

$$y = 9348,673 \cdot e^{0,324072 \cdot x} \quad \text{Eq. (10)}$$

Esta apresentou uma precisão de: 0,943043. A figura 2 apresenta os resultados obtidos.

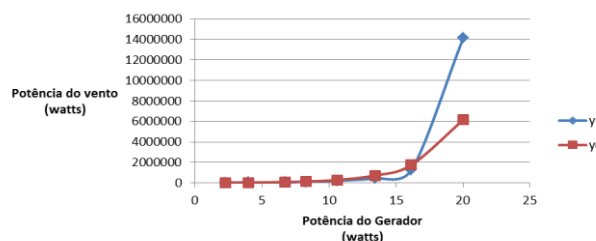


Figura 2. Potência gerada em função do vento.

5. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos foi possível demonstrar que a geração de energia através de fontes renováveis se mostra acessível. A partir do princípio de indução é possível produzir força eletromotriz em corrente alternada associado a conceitos de momento de forças e rotação.

6. REFERÊNCIAS

- CASTRO, R. M.G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada:** Introdução à energia eólica. Lisboa: DEEC, 2009. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/162031/1/AvaliacaoEconomica_ed4_1.pdf>. Acesso em 25 mar. 2013
- HALLIDAY, David. **Fundamento de física:** Eletromagnetismo. 9. Ed. Rio de Janeiro. LTC, 2012.
- LAYTON, J. **Como funciona a energia eólica.** Disponível em: <http://www.fiec.org.br/artigos/energia/energia_eolica.htm>. Acesso em 25 mar. 2013.
- MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; e PEREIRA, E.B. **O aproveitamento da energia eólica.** Revista brasileira de ensino de física. São Jose dos Campos, v.30, n.1, 2008. p.1304-1317.