

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE TURBINA EÓLICA PARA INSTALAÇÕES COMERCIAIS E RESIDENCIAIS

Fábio Luiz Argentino

fabio.argentino@gmail.com

Sergio Katsumi Beppu

sergio.beppu@gmail.com

Resumo

Preliminarmente este trabalho demonstrará um panorama da situação energética da atualidade, alertando para o possível colapso do sistema e pontuando as formas de energia limpas e renováveis, como por exemplo, a eólica na matriz energética brasileira e mundial.

Particularmente, serão abordados no trabalho os tipos de turbinas eólicas existentes e suas diversas formas e aplicações, assim como o funcionamento e características dos componentes do conjunto elétrico necessário para a produção de energia elétrica para uma pequena instalação.

Porém a ênfase deste projeto será dada ao estudo e construção (fabricação do protótipo) de uma turbina eólica de eixo horizontal de pequeno porte. A turbina construída neste projeto revelou ser capaz de fornecer potência da ordem de 2 a 3 W, insuficientes para suprir a demanda de uma instalação comercial ou residencial.

Secundariamente foi abordada a aplicação da turbina eólica desenvolvida com dimensões superiores em um sistema de conversão eólico-elétrico para suprir a demanda de energia de uma pequena instalação residencial.

Utilizando-se um modelo com diâmetro 5 vezes superior e com o dobro de largura seriam necessárias a instalação de 12 conjuntos turbina-gerador capaz de gerar 395W e capaz de suprir a demanda de 5 kWh de uma residência.

Para este conjunto ainda deveria ser utilizado um inversor de corrente já que a energia gerada pelo conjunto eólico-elétrico é em corrente contínua e 4 baterias de 12 Volts do tipo estacionárias com capacidade de carga de 150Ah.

Palavras chave: Energia Eólica, Turbina Eólica, Rotor eólico, Energia renovável, Instalações Comerciais e Residenciais.

1. Introdução

Uma das maiores preocupações do século XXI é com a escassez das reservas naturais de combustíveis fósseis chamadas de fontes de energia não renováveis. Em contrapartida, desenvolvimento científico e tecnológico proporciona um grande aumento da utilização de fontes de energia renováveis: Energia eólica, solar, das marés, geotérmica, biomassa, entre outras.

A vida moderna tem sido movida à custa de recursos esgotáveis que levaram milhões de anos para se formar. O uso desses combustíveis em larga escala tem mudado substancialmente a composição da atmosfera e o balanço térmico do Planeta provocando o aquecimento global, degelo nos pólos, chuvas ácidas e envenenamento da atmosfera e todo meio-ambiente. As previsões dos efeitos decorrentes para um futuro próximo, são catastróficas. Alternativas como a energia nuclear, que eram apontadas como solução definitiva, já mostrou que só podem piorar a situação. Com certeza, ou buscamos soluções limpas e ambientalmente corretas ou seremos obrigados a mudar nossos hábitos e costumes de maneira traumática.

É com base de observação dos fatos atuais da situação energética mundial, que este trabalho tem como objetivo a construção de uma pequena turbina eólica para instalações residenciais ou comerciais de pequeno porte, demonstrando que de forma racional é possível aproveitar uma fonte de energia limpa, renovável e abundante em grande parte do Brasil e do Mundo.

2. Panorama da Energia Eólica

A energia dos ventos é uma abundante fonte de energia renovável, limpa e disponível em todos os lugares. A utilização desta fonte energética para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início há pouco mais de 30 anos e através de conhecimentos da indústria aeronáutica os equipamentos para geração eólica evoluíram rapidamente em termos de idéias e conceitos preliminares para produtos de alta tecnologia.

No início da década de 70, com a crise mundial do petróleo, houve um grande interesse de países europeus e dos Estados Unidos em desenvolver equipamentos para produção de eletricidade que ajudassem a diminuir a dependência do petróleo e carvão.

Explica-se este espantoso aumento da capacidade de geração de energia eólica na Europa especialmente na segunda metade da década de 90, devido à vertiginosa queda do uso do carvão como alternativa principal para a geração de eletricidade neste mesmo período e também pelo desenvolvimento tecnológico dos projetos de energia eólica que consistem em sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, etc.

Mas foi principalmente devido à redução dos custos do projeto, que era um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, que houve este significativo avanço nas últimas duas décadas.

Segundo a WWEA ^[13] (World Wind Energy Association) ao final de 2006 a capacidade instalada de produção de energia eólica chegou a 73,5 GW. Esta mesma entidade acredita chegarmos a 160GW instalados em 2010, isto em vista do crescimento anual de 25% nos últimos dois anos.

O Brasil não desponta de uma grande capacidade instalada, apenas 237 MW é a capacidade atual, porém recentemente em 2006 foi construída a segunda maior “Wind Farm” do mundo com 150MW. Este projeto grandioso significou um crescimento de mais de 500% na matriz de energia eólica do país.

Conforme dados referentes ao BEN - Matriz Energética 2006, temos que a utilização de Turbinas eólicas para gerar energia elétrica é insignificante, porém de 2005 para 2006 houve um crescimento muito significativo de 263%, totalizando 236 GWh na matriz energética brasileira. Isto se deve a efetivação de um grandioso projeto, o Parque (Usina) Eólico de Osório (RS), levando o Brasil aos atuais 237 MW de capacidade instalada.

2.1. Potencial Eólico Brasileiro

Para a avaliação do potencial eólico de uma região faz-se necessária à coleta de dados de vento com precisão e qualidade, pois este será o primeiro e fundamental passo a um projeto de aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia.

Estudos recentes de diversas instituições ligadas à geração de energia através do vento estimam que o potencial eólico brasileiro seja de 60 GW.

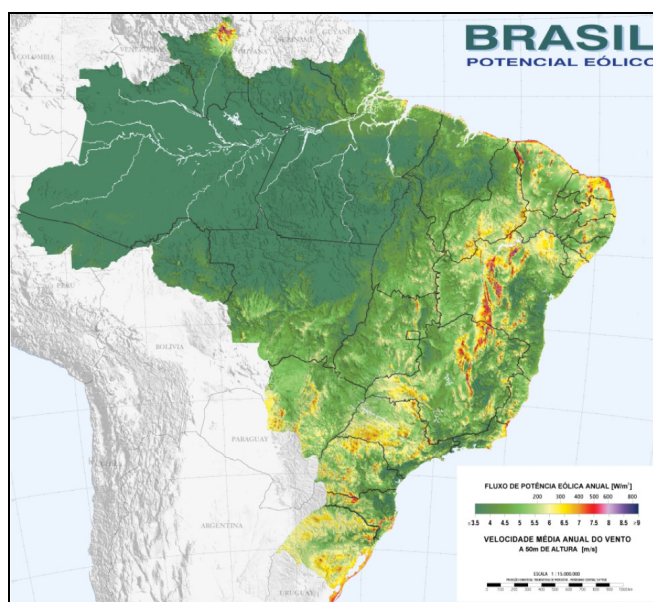


Figura 1 - Potencial Eólico Brasileiro. Fonte CRESESB ^[16].

Os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha/Pernambuco apenas no início dos anos 90. Os bons resultados obtidos com aquelas medições favoreceram a determinação precisa do potencial eólico daqueles locais e a instalação de turbinas eólicas.

Outros estados brasileiros seguiram o exemplo e com o apoio da CBEE ^[5] e da ANEEL ^[15] em 1998, conseguiu-se levantar um mapa preliminar dos ventos no Brasil gerado a partir de simulações computacionais com modelos atmosféricos.

Analisando o gráfico do potencial eólico brasileiro, percebe-se que grande parte do Sul do país apresenta índices de velocidades de ventos superiores a 6,5m/s e favoráveis a construção de parques eólicos, como o de Osório no Rio Grande do Sul.

Outra faixa com ótimo potencial a ser explorado é o litoral do Nordeste. Alguns projetos já são desenvolvidos nesta área, porém a demanda de energia desta região é pequena quando comparada às Regiões Sul e Sudeste.

3. Turbina Eólica

É a máquina que converte a energia cinética do vento em energia elétrica, sendo composta por vários elementos que podem ser divididos em:

- **Rotor elétrico:** parte responsável por captar a energia do vento e transformar em energia mecânica de rotação. São divididos em rotores de eixo horizontal ou de eixo vertical. Os de eixo horizontal são o tipo mais comum e devem ter mecanismos de controle para que o rotor fique em posição perpendicular ao vento. Os rotores de eixo vertical não necessitam de um mecanismo de controle, porém as forças resultante são alternadas limitando o rendimento.

- **Transmissão e caixa multiplicadora:** transmite a energia mecânica do rotor até o gerador. É utilizada para adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade mais elevada dos geradores convencionais.
- **Mecanismos de controle:** utilizados para orientar o rotor na direção do vento, controlar a velocidade e carga, podendo ser mecânico, aerodinâmico ou eletrônico.
- **Controle de potência:** evita o sobrecarregamento elétrico e do sistema de transmissão, devido ao aumento do fluxo de ar.
- **Gerador:** faz a conversão eletro-mecânica.
- **Torre:** parte estrutural que suporta todo peso e carga da turbina e posiciona o rotor a uma altura necessária para o seu funcionamento.
- **Sistema de armazenamento de energia:** utilizado para armazenar energia durante o período de ventos de alta velocidade e usá-la quando o consumo de energia não puder ser atendido devido à insuficiência de vento. Ela pode ser feita através de baterias ou em energia potencial gravitacional.
- **Transformador:** Faz o acoplamento elétrico entre o aerogerador e a rede elétrica, com ele é possível alterar a tensão do gerador para a tensão da rede elétrica.

4. Circuito Elétrico

4. 1. Gerador Elétrico

O gerador é a parte da máquina eólica responsável pela transformação da energia mecânica em energia elétrica. Ele foi inventado no século XIX por Michael Faraday na Inglaterra e por Joseph Henry nos Estados Unidos.

Consistia basicamente de um ímã que se movimenta dentro de uma espira, ou vice-versa, provocando o aparecimento de uma força eletromotriz registrada em um galvanômetro.

Nesse trabalho será utilizado um gerador elétrico de corrente contínua devido às características do rotor eólico que opera com velocidade variável.

4. 2. Armazenamento de Energia

Como já foi citado anteriormente, o gerador eólico tem como função converter energia cinética proveniente do vento em energia elétrica, sendo que como objetivo deste projeto destinar esta energia para uma residência ou pequena instalação comercial.

Sabe-se que a velocidade e direção dos ventos sofrem aleatoriedade, são fenômenos naturais que não temos domínio, nem controle. É indispensável para o projeto um sistema que armazene a sobra de energia produzida para ser utilizada nos períodos em que há escassez do potencial eólico, ou também para suprir os picos de demanda de energia da residência ou instalação.

Geralmente para fazer a função de armazenamento de energia são utilizadas baterias, ou melhor, um conjunto de baterias agrupadas. Em alguns sistemas pode-se armazenar esta sobra de energia em forma de energia potencial gravitacional.

Existem as baterias conhecidas como de ciclo raso ou popularmente também chamadas de baterias automotivas.

São utilizadas em 100% dos automóveis com motores à combustão, responsáveis por dar a partida no motor de arranque e por o motor à combustão em funcionamento.

Estas baterias são projetadas para suprir grande quantidade de carga sem perda de eletrólito e não aceitam serem descarregadas plenamente. O descarregamento repetitivo acima de 10% de sua capacidade faz com que sua vida útil seja encurtada de forma sintuosa.

Com essas características, não é viável utilizar este tipo de bateria no sistema turbina-gerador para uma instalação do porte deste projeto.

Para o fim que é necessário neste projeto, baterias conhecidas como de ciclo profundo ou baterias estacionárias são as recomendadas para compor o conjunto de baterias do sistema de armazenamento de energia.

Estas são projetadas para repetidas descargas em mais de 80% de sua capacidade. Elas fornecem uma pequena corrente por um longo período de tempo com uma corrente relativamente constante.

5.Características da turbina eólica

5. 1. Energia do Vento

A energia utilizada pela turbina eólica é a energia cinética da massa de ar em movimento, é calculada considerando um volume de ar à frente do rotor, que se movimenta à velocidade constante.

$$E_e = \frac{1}{2} \rho A L_e v^2 \quad (1)$$

E a potência média é a energia dividida pelo intervalo de tempo:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A \frac{L_e}{t} v^2 \quad (2)$$

onde:

ρ : densidade do ar

A : área de captação de ar do rotor eólico

L_c : comprimento de um cilindro fictício, em que está contido ar

v : velocidade do ar à montante do rotor

Assim foi calculada potência do vento em função da área do rotor e a velocidade do vento, admitindo uma densidade do ar de $1,15 \text{ kg/m}^3$.

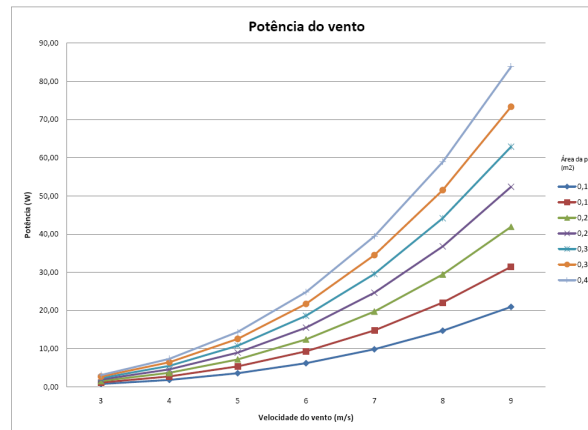


Figura 3 – Potência disponível do vento em função da área de captação e da velocidade do vento.

5.2. Característica do rotor eólico

A conversão da energia cinética do vento em energia mecânica pode ser calculada através da diferença de velocidade do ar, antes (v) e depois do rotor (v_2):

$$E_r = \frac{1}{2} m (v^2 - v_2^2) \quad (3)$$

E a potência é obtida derivando a equação da energia em relação ao tempo, resultando em:

$$P_t = \frac{1}{4} \rho A (v^2 - v_2^2) (v + v_2) \quad (4)$$

Para a seleção dos rotores eólicos é importante conhecer dois parâmetros: o coeficiente de potência e o coeficiente de velocidade de ponta, que serão descritos a seguir.

5.2.1. Coeficiente de Potência

Razão entre a potência mecânica convertida pelo rotor e a potência disponível do vento, depende das velocidades do ar antes e depois do rotor:

$$C_p = \frac{\text{Potência disponível no eixo}}{\text{Potência disponível (recuperável)}} = \frac{P_t}{P_v} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v^2 - v_2^2) (v + v_2)}{\frac{1}{2} \rho A v^3} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v} \right] \quad (5)$$

5.2.2. Lei de Betz

Devido á vários fatores não é possível converter toda a energia do vento em energia mecânica. Assim o máximo C_p ocorre para uma razão de velocidade de $v_2/v=1/3$, onde C_p é 0,593. Em consequência disso, a máxima potência que pode ser extraída é de 59%.

Coeficiente de velocidade de ponta:

É a razão entre a velocidade da ponta do rotor e a velocidade do vento, dado por:

$$\lambda = \frac{\text{Velocidade linear da ponta do rotor}}{\text{Velocidade do vento livre}} = \frac{R \omega_r}{v} = \frac{2 \pi f_r R}{v} \quad (6)$$

com:

ω_r : velocidade angular do rotor

O aumento de λ_{max} consegue-se diminuindo as inclinações do perfil do rotor e fixando λ_{max} , quanto maior o número de pás, mais suave serão os seus perfis.

6. Equacionamento e Modelagem do rotor eólico

Para esse projeto, foi escolhido um tipo de rotor que tem o princípio de funcionamento semelhante a uma turbina de impulsão, por isso os cálculos de torque, potência e rotação seguem a mesma formulação desse tipo de turbina.

A partir da equação da quantidade de movimento angular para um volume de controle rotativo e considerando as seguintes hipóteses: O torque devido às forças de superfície é desprezado; O torque devido às forças de campo é desprezado; A massa de água sobre a pá é desprezada; Ocorre escoamento permanente sobre a pá; Todo o ar que passa sobre o rotor coincide com as pás; Ocorre escoamento uniforme em cada seção; Não há variação da velocidade do ar em relação à pá. E também a seguinte denominação da velocidade e raio do rotor:

$$\vec{r}_1 = R\hat{e}_r \quad (7)$$

$$\vec{r}_2 = R\hat{e}_r \quad (8)$$

$$\vec{V}_1 = (V - U)\hat{e}_\theta \quad (9)$$

$$\vec{V}_2 = (V - U)\cos\theta \hat{e}_\theta + (V - U)\sin\theta \hat{e}_r \quad (10)$$

Tem-se que o torque no eixo é:

$$\vec{T}_{saída} = -\vec{T}_{eixo} = R(1 - \cos\theta)\rho VA(V - U)\hat{k} = \rho QR(V - U)(1 - \cos\theta)\hat{k} \quad (11)$$

onde U é a velocidade da pá. E a potência produzida correspondente:

$$\dot{W}_{saída} = \vec{\omega} \cdot \vec{T}_{saída} = R\omega(1 - \cos\theta)\rho VA(V - U) = \rho QU(V - U)(1 - \cos\theta) \quad (12)$$

Na Figura 4 encontra-se o esquema do rotor eólico, mostrando os parâmetros dimensionais utilizados nos cálculos de torque e potência.

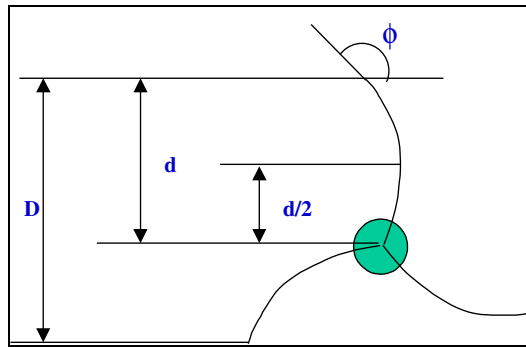


Figura 4 – Esquema do rotor eólico com os parâmetros dimensionais.

A máxima potência é calculada derivando a equação da potência em relação à velocidade da pá e igualando a zero.

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{2} \text{ ou } U = \frac{V}{2} \quad (13)$$

A rotação da turbina é obtida da velocidade da pá:

$$U = \omega R \Rightarrow \omega = \frac{2U}{d} \quad (14)$$

7. Dimensionamento do protótipo

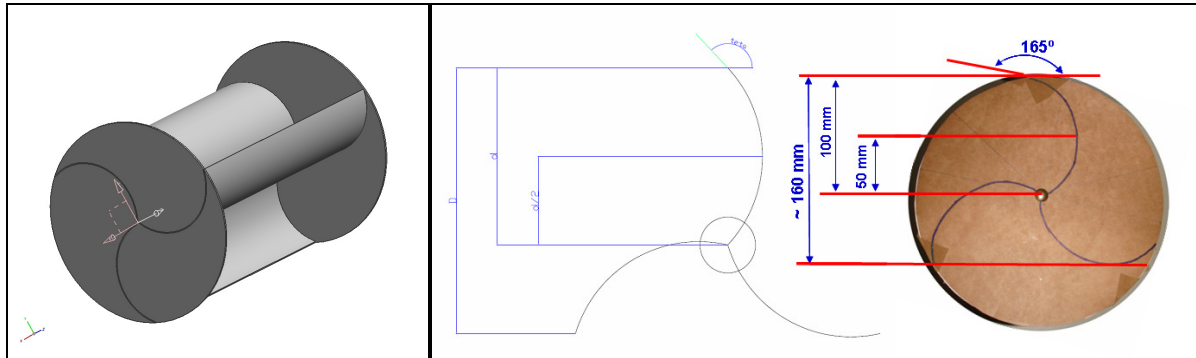
Definiu-se para o projeto do sistema de conversão eólico-elétrico que este rotor seria construído com as seguintes dimensões conforme se têm na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões do rotor eólico para o sistema eólico-elétrico.

Dimensões do protótipo do Rotor	
Dâmetro do rotor (m)	0,2
Largura do rotor (m)	0,3
Ângulo teta (graus)	165°

Na Figura 5 vê-se um modelo gerado tridimensionalmente em CAD (SOLIDWORKS) do protótipo do rotor. Na Figura 6, têm-se um esquema detalhado das pás do rotor e a curvatura das mesmas.

Para as condições ambientais, foi considerado que a densidade do ar como $\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$.



Figuras 5 e 6 – Desenho 3D do protótipo do rotor eólico e Esquema da curvatura das pás do protótipo do rotor eólico.

Já foi visto no capítulo anterior deste Artigo o equacionamento para o cálculo do torque produzido pelo rotor eólico, da rotação do rotor e da potência gerada pelo mesmo em função da velocidade que o vento atinge suas pás.

A partir das equações 7, 8, 9, 10 e 11 pode-se determinar o torque gerado pelo vento no rotor para diversas velocidades do vento conforme na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Torque gerado pelo rotor eólico.

Vel. Vento (m/s)	Torque (Nm)
4	0,05
5	0,08
6	0,12
6,5	0,14
7	0,17
8	0,22
9	0,27

A partir da equação 14, pode-se calcular a rotação da turbina. Assim, vê-se na Tabela 3 os resultados da rotação da turbina em função da velocidade do vento, tanto em rad/s como em rpm:

Tabela 3 – Rotação do rotor em função da velocidade do vento.

Vel. Vento (m/s)	4,00	5,00	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00
rotação (rad/s)	10,00	12,50	15,00	16,25	17,50	20,00	22,50
n (rpm)	95,49	119,37	143,24	155,18	167,11	190,99	214,86

A partir da equação 12, pode-se calcular a potência gerada no rotor da turbina eólica. Na Tabela 4 têm-se os resultados calculados de potência para variações na velocidade do vento:

Tabela 4 – Potência gerada pelo eixo da turbina eólica.

Vel. Vento (m/s)	Potência (W)
4	0,54
5	0,85
6	1,22
6,5	1,43
7	1,66
8	2,17
9	2,75

8. Construção do protótipo

A construção do protótipo foi dividida em 3 partes, sendo: discos e pás da turbina; eixo e alojamento dos rolamentos; suporte e base do rotor

8.1. Discos e pás

Com o formato do disco e das pás definidos pelos protótipos em papelão, construiu-se as pás através de um gabarito do perfil da pá gerado em CAD, que em seguida foi recortado em uma chapa de alumínio. A construção da pá e do disco foi realizada com chapas de alumínio que possuem baixo peso e grande maleabilidade permitindo que a pá pudesse ser conformada com facilidade. As pás foram parafusadas ao disco, permitindo que elas possam ser trocadas por outras com perfis diferentes para efeito de comparação.

8.2. Eixo e mancais de rolamento

No eixo utilizou-se uma barra cilíndrica de aço carbono, que foi torneada para ser encaixada no mancal e ele foi soldado ao disco para a transmissão de torque. Os mancais são 2 rolamentos 627 2Z posicionados um de cada lado do disco e alojado ao eixo por um ajuste com interferência.

8.3. Suporte e base do rotor eólico

O suporte a base do rotor são os elementos que garantem a sustentação, sendo acoplado ao apoio dos mancais. Para a sua construção foram utilizadas chapas de aço carbono.



Figura 7 – Protótipo do rotor eólico montado

8.4. Custo de fabricação do protótipo

Na tabela 5 tem-se a lista de materiais utilizados, juntamente com a quantidade, custo e aplicação na montagem.

Tabela 5 – Lista de matérias utilizados para construção do protótipo

Material	Quantidade	Custo	Aplicação
Chapa de alumínio com 0,5 mm de espessura	300.000 mm ²	R\$ 28,00	Pás do rotor
Chapa de alumínio com 3 mm de espessura	70.000 mm ²	R\$ 48,00	Disco do rotor
Barra cilíndrica de aço carbono com 10 mm de diâmetro	500 mm	R\$ 3,00	Eixo
Tarugo cilíndrico de aço carbono com 50 mm de diâmetro	70 mm	R\$ 10,00	Alojamento do rolamento
Barra retangular de aço carbono com 20 mm de espessura	20.000 mm	R\$ 10,00	Suporte do rotor
Chapa de aço carbono com 1/2" de espessura	120.000 mm ²	R\$ 10,00	Base do rotor
Rolamento 627 2Z	2	R\$ 10,00	Mancal do eixo

Custos	
Materiais	R\$ 109,00
Mão de obra	R\$ 150,00
Custo Total	R\$ 259,00

9. Dimensionamento do sistema de conversão eólico-elétrico para uma pequena instalação

Através do estudo abordado neste Artigo é possível dimensionar e projetar um sistema de conversão eólico-elétrico para suprir as necessidades de energia em uma pequena instalação comercial ou residencial.

O local escolhido para implementação do projeto é na cidade de Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo, onde a velocidade média do vento é de aproximadamente 6,5 m/s e com regime permanente durante o ano todo.

Nesse estudo de caso, serão estimadas as cargas, potência e consumo para uma residência simples. O consumo diário desta instalação pode ser obtido multiplicando-se a potência consumida pelos diversos aparelhos existentes na instalação, pela suas quantidades e tempo de uso diário conforme vê-se na Tabela 6.

Observa-se que somente o chuveiro elétrico acaba sendo responsável por aproximadamente 27,8% do consumo médio diário. Analisando, consumiria menos que uma geladeira, porém devido à sazonalidade (estações do ano) este valor pode variar o consumo e implicar em demandas extras que faça que o sistema seja superdimensionado e acabe elevando o custo.

Para o caso do chuveiro elétrico uma simples solução seria instalar um sistema de aquecedor solar como sistema alternativo ou um sistema de aquecimento central a gás, evitando o superdimensionamento e desgaste excessivo do sistema de conversão eólico-elétrico para a instalação.

Tabela 6 – Consumo total diário estimado de uma residência simples.

Carga	Potência (W)	Quantidade	Tempo de uso (horas/dia)	Consumo diário (kWh)
Lâmpada Fluorescente	15	6	5,00	0,45
Lâmpada Incandescente	60	2	2,00	0,24
Geladeira	125	1	24,00	3,00
Televisor 20" Colorido	90	1	4,00	0,36
Televisor 14" Colorido	75	1	4,00	0,30
Ferro Elétrico	1000	1	0,25	0,25
Microondas	500	1	0,50	0,25
Chuveiro Elétrico	2500	1	0,75	1,88
CONSUMO TOTAL DIÁRIO (kWh)				6,73
CONSUMO TOTAL DIÁRIO SI CHUVEIRO (kWh)				4,85

O sistema proposto deverá atender então às necessidades de consumo diário de aproximadamente 5kWh, com capacidade de fornecimento contínuo de energia elétrica e baixa manutenção.

A potência média que o sistema deverá fornecer é dada por:

$$P_{\text{Médio}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{diário}}}{24h} = \frac{5.000}{24} \approx 210W \quad (15)$$

Viu-se no dimensionamento do modelo do rotor construído que na faixa de velocidade de vento atribuída para este estudo de caso, poderia ser alcançada uma potência de aproximadamente 1,5 W que quando considerada todas as perdas mecânicas e elétricas do sistema eólico-elétrico seria ainda menor, com isso, existiria a necessidade da instalação de mais de 140 turbinas eólicas para a demanda da instalação estudada.

Por este fato, será feito o dimensionamento de uma nova turbina eólica semelhante ao protótipo construído para fornecer e suprir a demanda de energia para esta pequena instalação.

Este tipo de turbina construído pode ser utilizado para iluminação de parques e estacionamentos diante da baixa potência produzida. No estado do Hawai (USA), existe este tipo de aplicação em parques e estacionamentos, com rotores eólicos de dimensões semelhantes à construída neste projeto.

9.1 Dimensionamento do rotor eólico para a instalação

O rotor deve ser dimensionado a partir dos dados de velocidade do vento e da potência mecânica necessária no eixo do gerador elétrico. Deve ser considerado o rendimento total do sistema eólico-elétrico, pois a potência convertida pelo rotor deve suprir a potência média da carga da instalação.

Será admitido que toda energia gerada seja armazenada no banco de baterias.

No estudo de geradores elétricos de corrente contínua, observou-se que para utilizá-lo, seria necessário um torque superior a 9,55 Nm para que o mesmo seja viável no projeto. Deve-se ponderar este fato para dimensionar o rotor neste caso.

Considerando os rendimentos no sistema da Tabela 7 e a partir da equação 16 obtêm-se a potência necessária que o rotor eólico deverá converter com a velocidade do vento estimada para o projeto.

$$P_T = \frac{P_{\text{Med}}}{\eta_G \cdot \eta_B \cdot \eta_I} = \frac{210}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cong 395W \quad (16)$$

Tabela 7 – Rendimentos e Carga do sistema.

Parâmetro	Valor
Pmed: Potência Média da carga	210 W
η_G : Rendimento do Gerador	0,7
η_B : Rendimento do banco de baterias	0,85
η_I : rendimento do inversor de cargas	0,9

Dessa forma, o rotor eólico deverá disponibilizar 395 W para o eixo do gerador elétrico. Para alcançar o torque necessário pelo gerador elétrico, segundo o catálogo do fornecedor o torque de 9,55 Nm, deve-se acoplar uma caixa multiplicadora de torque (Engrenagens ou polias) à saída do eixo do rotor eólico para exercer este trabalho.

Para um rotor com as seguintes características identificadas na Tabela 8 serão obtidos os seguintes resultados presentes na Tabela 9:

Tabela 8 – Características do rotor.

Dimensões do Rotor	
Dâmetro do rotor (m)	1,0
Largura do rotor (m)	0,8
Ângulo teta (graus)	165°

Tabela 9 – Torque, Potência e rotação do rotor eólico do sistema.

Ângulo	165
Vel. Vento (m/s)	Torque (Nm)
6,5	9,55
Vel. Vento (m/s)	6,50
rotação (rad/s)	3,25
n (rpm)	31,04
Vel. Vento (m/s)	Potência (W)
6,5	31,04

A partir destes cálculos observa-se a necessidade da instalação de 12 turbinas eólicas para suprir a demanda de energia desta instalação estudada.

9.2 Dimensionamento do banco de baterias

O banco de baterias da instalação deve ser capaz de suprir a carga durante todo o dia, sem que aja nenhuma geração.

Optando-se pela utilização de baterias de 12 volts, pode-se calcular a capacidade de armazenamento necessária a partir da equação 17.

$$Q_{bb} = \frac{\text{Consumo}_{diário}(Wh)}{V_B} = \frac{5000(Wh)}{12V} = 415[A \cdot h] \quad (17)$$

No catálogo online da Baterias Moura, opta-se pelo tipo de bateria Moura Clean^[25] modelo 12MF150, pois ela é do tipo estacionária, específica para a reserva de energias alternativas, com capacidade de carga de 150 Ah e um fator de carga de 80%, ou seja, pode ser descarregada até 80% de sua capacidade sem ser comprometida.

A partir da equação 13.4 calcula-se o número de baterias necessárias para a instalação.

$$N_{bat} = \frac{Q_{bb}}{F_c \cdot C_Q} = \frac{415}{0,80 \times 150} = 3,45 \approx 4 \quad (18)$$

Será necessário um total de 4 baterias deste modelo para disponibilizar energia e suprir a carga por um dia inteiro. Encontrou-se este modelo de bateria ao custo de R\$635,00 totalizando o valor de R\$2.540,00 para a instalação.

10. Conclusões

Existem dezenas de tipos de rotores eólicos operando nos dias de hoje, porém buscou-se neste projeto algo inovador e que pudesse ser empregado para gerar energia elétrica a partir de uma fonte limpa e renovável que é a energia eólica.

Porém, percebeu-se desde o início da pesquisa que mesmo para uma pequena instalação, seria necessário a construção de algo muito maior que o proposto diante da orientação do Prof. Eitaro. Ao equacionar o modelo percebeu-se que estaria sendo construindo um protótipo de um rotor eólico com fim meramente acadêmico onde no máximo alcançaria potências da ordem de 2 a 3 W para ventos superiores com velocidades próximas a 9 m/s.

Ao final do trabalho, levantou-se o estudo de um caso para uma pequena instalação residencial.

Como foi visto que este modelo funciona e tem capacidade de gerar energia, dimensionou-se um novo rotor com as mesmas formas e propriedades, porém de tamanho superior com o diâmetro 5 vezes superior e com o dobro da largura do protótipo construído.

Para uma instalação com uma demanda diária de 5 kWh, onde o local possui um regime de ventos perene com velocidade média em torno de 6,5 m/s, com a utilização deste modelo maior, seria necessária a colocação de 12 conjuntos rotor-gerador (turbina eólica) em operação para suprir a demanda de energia.

Para garantir o suprimento de carga desta instalação viu-se a necessidade de utilizar-se de 4 baterias de 12 V com capacidade de carga de 150 Ah.

11. Referências Bibliográficas

1. Ministério de Minas e Energia, Publicações: Balanço Energético Nacional Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acessado em 27.03.2007.
2. Portal das Energias Renováveis – Portugal http://www.energiasrenovaveis.com/html/energias/eolica_fonte.asp. Acessado em 25.03.2007.
3. Torres, H. J. R., Portugal, M. P. P., “Projeto de um Gerador Eólico para uso residencial”, Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica - EPUSP. São Paulo. 2004.
4. Aragona, M., Camacho, R. F., “Estudo sobre Turbinas Eólicas”, Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica – EPUSP. São Paulo. 1994.
5. CBEE - Centro Brasileiro de Energia Eólica. http://www.eolica.com.br/index_por.html. Acessado em 20/03/2007.
6. Saheki, L., S., “Otimização de sistemas alternativos de geração de energia para aplicação em conjunto residencial (condomínio de casas)”, Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica – EPUSP. São Paulo. 2005.
7. Aonde Vamos? Energia Eólica – A Energia dos Ventos. <http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto01.htm>. Acessado em 19/03/07.
8. Site sobre Fontes Alternativas Renováveis e Energia Eólica. http://www.cerpch.unifei.edu.br/fontes_renovaveis/eolica.htm. Acesso em 20/03/07.
9. Secretaria de Energia, Minas e Comunicações do Rio Grande do Sul – SEMC (RS). <http://www.semc.rs.gov.br>. Acesso em 20/04/07.
10. “Associação dos Fabricantes de Turbinas Eólicas da Dinamarca”. The Danish Wind Turbine Manufacturers Association Annual Report 2000-2001. <http://www.windpower.org/tour/wres/euomap.htm>. Acessado em 20/04/07.
11. American Wind Energy Association (AWEA). <http://www.awea.org>. Acessado em 20/04/07.
12. European Wind Energy Association (EWEA). <http://www.ewea.org>. Acessado em 20/04/07.
13. World Wind Energy Association (WWEA). <http://www.windea.org/home/index.php>. Acessado em 20/04/07.
14. Wikipédia. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Aerogerador>. Acessado em 20/03/2007.
15. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em 20/04/07.
16. CRESESB - Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica. <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acessado em 20/03/2007.
17. Daher, S et all. “Projeto e implantação experimental de um sistema de conversão eólico-elétrica operando em baixa velocidade”. Disponível em: www.dee.ufc.br/~fantunes/Gerais/Dissertacao_Daher/. Data de acesso: 02/06/2007.
18. Hau E., “Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit”, Springer-Verlag, Berlin 1988.
19. Fox, W. F., McDonald, A. T. “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, 5 ed., Rio de Janeiro, Ed. LTC, 2001.
20. WEG Motores e Geradores elétricos. www.weg.com.br. Acesso em 21/07/2007.
21. Siemens – Geradores elétricos. www.siemens.com.br. Acesso em 21/07/2007.
22. Alxion – Alternadores. www.alxion.com.br. Acesso em 28/07/2007.
23. Coolemaster. www.coolemaster.com.br. Acesso em 28/07/2007.
24. Baterias – Fique ligado. www.ilhavela.com.br. Acesso em 10/09/2007.
25. Baterias Moura - <http://www.moura.com.br/>. Acesso em 05/11/2007.
26. CEB – Companhia Energética de Brasília. – <http://www.ceb.com.br/>. Acesso em 05/11/2007.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF WIND TURBINE FOR COMMERCIAL AND RESIDENTIAL INSTALLATIONS

Fábio Luiz Argentino

fabio.argentino@gmail.com

Sérgio Katsumi Beppu

sergio.beppu@gmail.com

Abstract.

First of all this work will show a view from energy situation nowadays, warning about a possibly crash on the system, and showing energy diversity clean and renewable, like wind energy in Brazil's and World's energy base.

Particularly, this work will show the different types of existing wind turbines and its types and applications. The system working and components characteristics of electrical kit necessary for a small installation will be shown too.

The main part of this project will be the study and construction (prototype) of wind turbine with horizontal axis of small size.

Secondarily will be studied the application of wind turbine developed in a system of conversion wind-electrical for supplying the demand of a small installation.

Keywords: Wind Energy, Wind Turbine, Wind Rotor, Renewable Energy, Commercial and Residential Installations.