

UNICAMP – IFGW
Relatório parcial do projeto de F 809

Energia Eólica

Nome do aluno: Bruno Ferreira de Camargo Yabu-uti **RA:** 008201
Nome do orientador: Pedro Raggio

1. Objetivos:

-Construir um aparato que ilustre didaticamente a conversão de energia eólica em elétrica;

-Analisar a eficiência de diversas hélices (ângulos das pás);

2. Introdução:

O homem vive num oceano de energia. Ao redor dele a natureza trabalha constantemente, liberando energia em tão inesgotáveis quantidades que dela o homem pode aproveitar apenas uma fração. As quedas de água poderiam proporcionar força hidrelétrica suficiente para suprir 80% da energia total consumida pelo homem, embora ele use apenas 1 ou 2% dela.

Uma das grandes preocupações do Mundo hoje é a questão relativa à energia, o aproveitamento desta ainda não atingiu um nível satisfatório, visto que a imensa maioria da energia utilizada no planeta é de origem não renovável, seja de fonte mineral, atômica, térmica ou das águas. A energia pode ser utilizada de forma mais civilizada e menos dispendiosa, por meios de fontes renováveis como a energia eólica, solar, das marés, geotérmica e de outras mais.

A energia eólica, além de ser uma fonte de energia renovável, possui uma certa diferença em relação às demais, pode ser utilizada para o fornecimento de energia para pequenas populações, pois ela não requer grandes investimentos.

Mas claro também há desvantagens que devem ser levadas em conta, como o barulho provocado, que não é muito elevado se o módulo for freqüentemente vistoriado, a área ocupada que deve ser específica (sem muitas elevações e civilizações por perto), e principalmente que hoje como esta tecnologia não ainda está totalmente desenvolvida o seu custo ainda é um pouco elevado, de modo que é muito difícil uma população ter o seu próprio fornecimento de energia elétrica gerada por meios eólicos e também que seu aproveitamento ainda não é satisfatoriamente elevado, entretanto esses entraves podem ser superados com o desenvolvimento desta tecnologia.

• **Origens históricas:**

Acredita-se que foram os egípcios os primeiros a fazer uso prático do vento. Em torno do ano 2800 AC, eles começaram a usar velas para ajudar a força dos remos dos escravos. Eventualmente, as velas ajudavam o trabalho da força animal em tarefas como moagem de grãos e bombeamento de água.

Os moinhos de vento foram inventados na Pérsia no século V. Eles eram usados para bombear água para irrigação ou na moagem de grãos. Os mecanismos básicos de um moinho de vento não mudaram desde então: o vento atinge uma hélice que ao movimentar-se gira um eixo que impulsiona uma bomba, uma moenda ou, em tempos mais modernos, um gerador de eletricidade.

A geração de eletricidade pelo vento começou em torno do início do século, com alguns dos primeiros desenvolvimentos creditados aos dinamarqueses.

Pelo ano de 1930, em torno de uma dúzia de firmas americanas estavam fazendo e vendendo esses "carregadores de vento", na maior parte aos fazendeiros do ventoso Great Plains. Tipicamente, essas máquinas poderiam fornecer até 1000 watts (1kW) de corrente contínua quando o vento estava soprando.

Então chegou a Administração Rural de Eletrificação (ARE), um programa subsidiado pelo governo americano com a finalidade de estender linhas de força às fazendas e propriedades rurais em lugares remotos.

Muitos países europeus construíram enormes geradores a base de vento. Durante os anos 1950 e 1960, os franceses construíram desenhos avançados de unidades de 100 kw a 300 Kw. Os alemães construíram geradores a base de vento para prover força extra para sua linha de utilidades, mas por causa da rígida competição dos geradores a base de fluído fóssil, essas máquinas experimentais foram eventualmente descartadas.

Uma das mais memoráveis máquinas de vento, foi a máquina de Smith-Putman, construída perto de Rutland, Vermont- USA, durante os anos 1940. Esta enorme máquina com lâminas de 50 m, foi desenhada para fornecer 1250 kW, para a malha de forças de Vermont. Por um período curto de tempo ela entregou 1500 kW, mas a escassez de material devido a época da guerra e a carência de

dinheiro trouxe um fim a este projeto depois que os ventos quebraram uma das duas lâminas de 8 toneladas.

3. O nascimento do vento:

A atmosfera da Terra age como uma gigantesca máquina térmica. Os raios do Sol, mais fortes no equador do que nas regiões polares, causa o aquecimento do ar tropical que se eleva, cedendo lugar ao ar polar mais frio que se move para tomar-lhe o lugar. Enquanto o sol aquece o ar, água e terra de um lado da Terra, o outro lado é resfriado por radiação térmica para o espaço. Diariamente a rotação da Terra espalha esse ciclo de aquecimento e resfriamento sobre sua superfície. Mas, nem toda superfície da Terra responde ao aquecimento da mesma forma. Por exemplo, um oceano se aquecerá mais lentamente que as terras adjacentes porque água tem uma capacidade maior de "estocar" calor.

Dessa diferente taxa de aquecimento e resfriamento são criadas enormes massas de ar com temperatura, mistura e características de massas de ar oceânicas ou terrestres, ou quentes e frias. A colisão destas duas massas de ar, quente e fria, gera os ventos da Terra.

No Brasil o vento, como em todos os lugares do mundo, não é constante e varia de acordo com a região. O mapa abaixo mostra a intensidade do vento em diversas regiões:

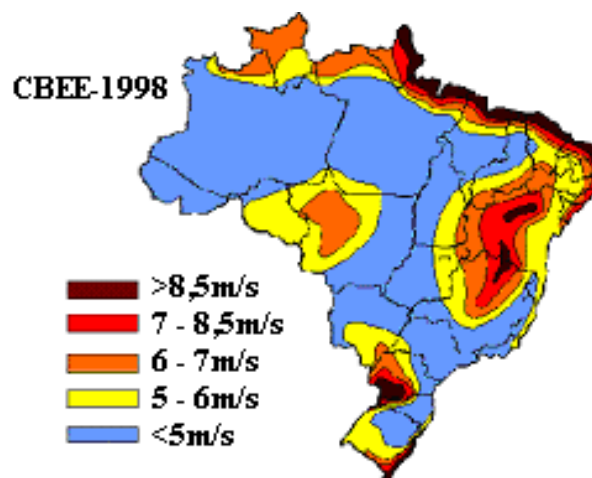


Fig.01- Intensidade do vento no Brasil.

• A potência do vento:

Existe uma regra que dá a potência gerada pelos cata-ventos e turbinas de vento. É importante ressaltar que esta regra é teórica e na prática, não conseguimos converter toda essa potência (teórica) em potência útil.

A taxa de conversão é de aproximadamente de 59% , quando o sistema funciona de maneira otimizada.

Potência é igual ao trabalho (Energia) dividido pelo tempo:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad eq.01$$

Mas o trabalho realizado pelo vento (que neste caso é igual a sua energia cinética) é:

$$W = K = \frac{mV^2}{2} \quad eq.02$$

Então:

$$P = \frac{\frac{mV^2}{2}}{\Delta t} = \frac{mV^2}{2\Delta t} \quad eq.03$$

Mas como:

$$\frac{m}{\Delta t} = \dot{m} = \rho VA \quad eq.04$$

Por fim:

$$P = \frac{\rho V^3 A}{2} \quad eq.05$$

onde $\rho = 1,29\text{kg/m}^3$ é a densidade do ar (vale lembrar que os fatores que influenciam nessa “constante” são a temperatura, a pressão, a umidade e a altitude), V é a velocidade do vento e A é a área varrida pelas hélices do motor.

Talvez seja esta a fórmula mais importante para se conhecer o aproveitamento da energia eólica.

Note que se um vento passa de 10km/hora para 11 km/h (aumento de 10%) a potência se eleva em 33%, o que mostra como é importante a escolha de um lugar com vento mais veloz para o melhor aproveitamento da energia eólica. Outro exemplo é sobre a área varrida pelo rotor. Com uma hélice de 3 m de diâmetro e um vento de 32 km/h tem-se uma potência de 1000 W; se o diâmetro da hélice for aumentado para 6 m com vento em 32 km/h a potência irá para 4000 W.

4. Descrição do aparato experimental:

Na tentativa de ilustrar a praticidade e a elegância da energia eólica foi projetado um aparato simples com o objetivo didático.

O dispositivo didático consistirá de um ventilador (um “gerador” de vento) acoplado a um túnel de vento, hélices com multi-pás (diversos ângulos), um gerador elétrico simples e instrumentos que comprovaram a produção de eletricidade (multímetros).

O túnel de vento é um aparato que serve para potencializar o vento e, além disso, determinar sua velocidade (isto é, sua energia cinética). Ele foi projetado pelo aluno Éric de Castro como projeto de F 809.

• Geradores, os conversores de energia:

Como fazer a conversão da energia mecânica fornecida às hélices pelo vento e ao eixo do rotor em eletricidade? Esta conversão é feita pelos geradores elétricos, que nada mais são do que motores elétricos que ao girarem em torno de seus eixos induzem (pela lei de Faraday) uma corrente elétrica em seus pólos.

Os geradores podem ser basicamente dos tipos "AC" ou "DC", se converterem a energia para a forma de corrente alternada ou contínua (direta), respectivamente. Nesse projeto, o gerador utilizado é do tipo “DC”.

Nos tipos de geradores de corrente contínua (DC), a energia é convertida, como o nome já indica para a forma direta ou contínua de corrente elétrica e carrega uma bateria que acumula esta energia para uso posterior. Esta forma de conversão é um pouco incômoda, pois requer um banco relativamente grande de baterias para que se possa ter uma quantidade de energia razoável num

determinado lugar, e além disto, os utensílios domésticos e a maioria dos aparelhos eletrônicos são projetados para funcionar ligados a corrente alternada devido as facilidades de transporte que esta maneira proporciona. Assim, nos sistemas em que se usam geradores de corrente contínua, é necessário que se tenha ligado juntamente ao sistema um inversor para que se possa utilizar diretamente aparelhos elétricos. Em compensação, esta forma permite que mesmo sem vento por algum tempo se tenha energia disponível.

Já os geradores de corrente alternada (AC), geram a eletricidade, como o nome diz, na forma de corrente alternada e pode ser usado diretamente nos nossos aparelhos elétricos e eletrônicos do dia a dia.

Existe porém dois inconvenientes deste tipo de produção de eletricidade: o primeiro é que não se é possível estocar energia na forma de corrente alternada, tendo que retificá-la por meio de diodos, por exemplo, para a forma contínua e armazená-la em bancos de baterias; o segundo inconveniente é que os geradores de corrente alternada geram correntes em freqüências que variam com a velocidade de giro do rotor, e como os ventos variam muito, as freqüências geradas pelo gerador também variam muito; para controlar este problema, visto que nosso sistema de energia tem que estar em torno de 60 Hz (Hertz), é preciso ligar ao sistema um dispositivo que mantenha a freqüência em torno dos desejados 60 Hz; este dispositivo é chamado de inversor síncrono.

Nesse projeto foi utilizado um motor elétrico simples (PASCO) de corrente contínua.

- **Hélices:**

A função da hélice é transferir a potência do vento para o gerador produzindo corrente. Se não for feita uma seleção adequada da hélice, provavelmente a performance, isto é, a eficiência será prejudicada. Conhecer o seu princípio de funcionamento é de fundamental importância para a instalação do conjunto do motor.

A hélice é especificada pelos seguintes parâmetros:

- Diâmetro;

- Direção de rotação que pode ser direita ou esquerda em função do sentido de rotação do motor;
- Diâmetro do furo do cubo e conicidade;
- Passo (corresponde à distância horizontal que o hélice percorreria, ao dar uma volta, se estivesse embebido num meio sólido), equivalente a definir o ângulo da hélice;
- Número de pás;

As hélices foram confeccionadas em diversos ângulos; 10°, 15°, 20°, 30°, 37,5° e 45°. Elas possuem 12 pás e tem um diâmetro de 0,2m (ou seja, possuem uma área de aproximadamente 0,0314m²). Com esse projeto será possível afirmar qual dos ângulos é mais eficiente para esse caso.

• **Montagem experimental:**

O motor PASCO e as hélices foram fixados em uma haste e posicionados a frente do túnel de vento (ver fig.02 e fig.03).

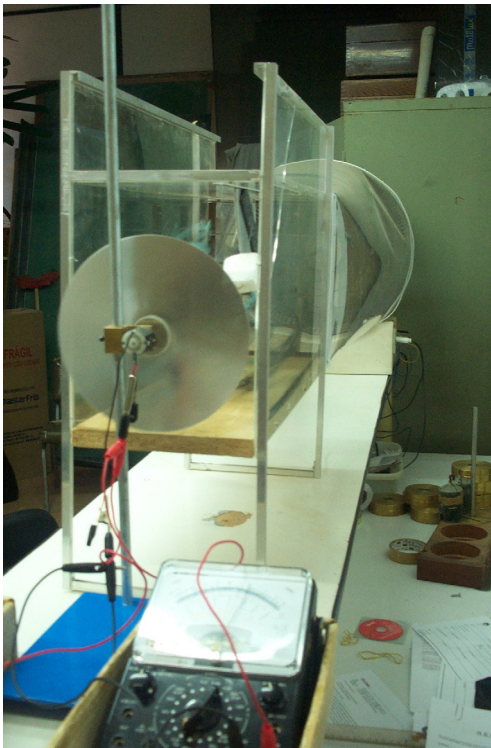


Fig.02- Foto do aparato experimental: o túnel de vento, o multímetro, a haste, o motor e a hélice com o vento ligado.

Para cada tipo de hélice foram medidas a corrente e a tensão gerada (obtendo assim a potência elétrica) variando a velocidade do vento. A velocidade do vento produzido pelo túnel variava de 30km/h a 5km/h (simulando aproximadamente a velocidade do vento existente no Brasil).



Fig.03- Foto do aparato de outra perspectiva

Note na figura acima o papel com a escala e o pedaço de isopor preso a um arame, esta foi a forma encontrada de se determinar a velocidade do vento gerada pelo túnel.

Desta forma é possível obter a potencia total fornecida pelo vento, a potencia elétrica gerada e a eficiência correspondente para as diversas hélices.

5. Energia eólica no mundo:

Os campeões de uso dos ventos são a Alemanha, a Dinamarca e os Estados Unidos, seguidos pela Índia e a Espanha.

Atualmente existem no mundo 30.000 mil geradores que produzem eletricidade a partir da força eólica.(principalmente nos eua) Na Dinamarca, a contribuição da energia eólica é de 12% da energia elétrica total produzida; no norte da Alemanha (região de Schleswig holstein) a contribuição eólica já passou

de 16%; e a União Européia tem como meta gerar 10% de toda eletricidade a partir do vento até 2030.

Veja alguns exemplos de aerogeradores construídos:

- 1890/1910 - Dinamarca - 23m de diâmetro - 3 pás - 200kw
- 1931 - Rússia - 30m de diâmetro - 3 pás - 100kw
- 1941 - Estados Unidos - 54m de diâmetro -2 pás - 1.250kw
- 1959 - Alemanha - 34m de diâmetro - 2 pás - 100kw
- 1978 - Estados Unidos (NASA) - 50m de diâmetro - 2 pás - 200kw
- 1979 - Boeing USA -100m
- 1980 - Growian (Alemanha) - 100m de diâmetro - 3mv

6. Energia eólica no Brasil:

No Brasil, embora o aproveitamento dos recursos eólicos tenha sido feito tradicionalmente com a utilização de cata-ventos para bombeamento d'água, algumas medidas precisas de vento, realizadas recentemente em diversos pontos do território nacional, indicam a existência de um imenso potencial eólico ainda não explorado.

Grande atenção tem sido dirigida para o Estado do Ceará por este ter sido um dos primeiros locais a realizar um programa de levantamento do potencial eólico através de medidas de vento com modernos anemógrafos computadorizados. Entretanto, não foi apenas na costa do Nordeste que áreas de grande potencial eólico foram identificadas. Em Minas Gerais, por exemplo, uma central eólica está em funcionamento, desde 1994, em um local (afastado mais de 1000 km da costa) com excelentes condições de vento.

A capacidade instalada no Brasil é de aproximadamente 20,5 MW, com turbinas eólicas de médio e grande portes conectadas à rede elétrica. Além disso, existem dezenas de turbinas eólicas de pequeno porte funcionando em locais isolados da rede convencional para aplicações diversas - bombeamento, carregamento de baterias, telecomunicações e eletrificação rural.

Os principais projetos de energia eólica do Brasil são:



Fig.04- Principais projetos de produção de energia eólica no Brasil.

- **Custo da energia eólica:**

Considerando o grande potencial eólico existente no Brasil, confirmado através de medidas de vento precisas realizadas recentemente, é possível produzir eletricidade a custos competitivos com centrais termoelétricas, nucleares e hidroelétricas. Análises dos recursos eólicos medidos em vários locais do Brasil, mostram a possibilidade de geração elétrica com custos da ordem de US\$ 70 - US\$ 80 por MWh.

De acordo com estudos da ELETROBRÁS, o custo da energia elétrica gerada através de novas usinas hidroelétricas construídas na região amazônica será bem mais alto que os custos das usinas implantadas até hoje. Quase 70% dos projetos possíveis deverão ter custos de geração maiores do que a energia gerada por turbinas eólicas. Outra vantagem das centrais eólicas em relação às usinas hidroelétricas é que quase toda a área ocupada pela central eólica pode ser utilizada (para agricultura, pecuária, etc.) ou preservada como habitat natural.

A energia eólica poderá também resolver o grande dilema do uso da água do Rio São Francisco no Nordeste (água para gerar eletricidade versus água para irrigação). Grandes projetos de irrigação às margens do rio e/ou envolvendo a transposição das águas do rio para outras áreas podem causar um grande

impacto no volume de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas e, conseqüentemente, prejudicar o fornecimento de energia para a região. Entretanto, observando o gráfico abaixo, percebe-se que as maiores velocidades de vento no nordeste do Brasil ocorrem justamente quando o fluxo de água do Rio São Francisco é mínimo. Logo, as centrais eólicas instaladas no nordeste poderão produzir grandes quantidades de energia elétrica evitando que se tenha que utilizar a água do rio São Francisco.

7. Referências:

[1]- <http://www.eolica.com.br>; CBEE (Centro Brasileiro de Energia Eólica)

[2]- <http://energiaeolica.predialnet.com.br/>;

[3]-“Construção de um túnel de vento e estudo da aerodinâmica”, Eric de Castro e Andrade; projeto de F809;

[4]- Outros links interessantes: -http://www.cresesb.cepel.br/links_i_eol.htm

-<http://www.wind-works.org/bio.html>

-<http://www.eletróbrás.gov.br>