



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE FISICA**

**CURSO: FISICA APLICADA**

**4º ANO**

**CADEIRA: OPÇÃO II**

**TEMA:**

**TECNOLOGIA EOLICA PARA GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE**

**Docentes: Dr Cuamba**

**Discente: Pereira, Joaquim Tomas**

**Maputo, Fevereiro de 2011**

## *ÍNDICE*

1- Resumo.....	1
2- Introdução .....	2
3- Tecnologias aplicadas na geração de electricidade.....	5
4- Classificação e aplicação dos aerogeradores .....	4
5- Componentes de um aerogeradores .....	5
5.1. Turbina de eixo vertical .....	8
5.2 Turbina de eixo horizontal .....	8
5.3 Evolução Eólica .....	9
6- Conversão das turbinas em energia mecanica .....	9
7- Energia eléctrica produtivoel .....	10
7.1 Potencial eólico .....	10
7.2 Turbina com velocidade constante .....	11
7.3 Gerador síncrono .....	12
8- Potencial eólico em Moçambique .....	13
9- Conclusão .....	14
10 - Bibliografia .....	15

## **1- Resumo**

Com o avanço da rede elétrica, foram feitas várias pesquisas para o aproveitamento da energia eólica em geração de grandes blocos de energia. O início da adaptação dos cata-ventos para geração de energia elétrica teve início no final do século XIX de energia elétrica. Tratava-se de um cata-vento que fornecia 12kW em corrente contínua para carregamento de baterias, as quais eram destinadas sobretudo no fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes. Com o desenvolvimento de aerogeradores no mundo se desenvolveu rapidamente em tecnologia e tamanhos. Avaliando a evolução do progresso tecnológico das últimas décadas verificamos que o resultado é uma produção eólica actual 180 vezes maior do que em 1986, pela metade do preço. O vento é capaz de suprir grandes quantidades de energia, como é o caso da Dinamarca, com 20% do seu consumo, Alemanha com 6% e Espanha, com 8% do suprimento de energia elétrica. A capacidade de geradores eólicos instalados no mundo vem crescendo rapidamente, a ponto de estimar que até o ano de 2020, 12% do consumo mundial de eletricidade poderá ser suprido por fontes eólicas. A capacidade instalada saltou de 2,5GW em 2001 para 58,4GW no final de 2005. A maior concentração está no continente europeu, favorecido por condições adequadas de vento.

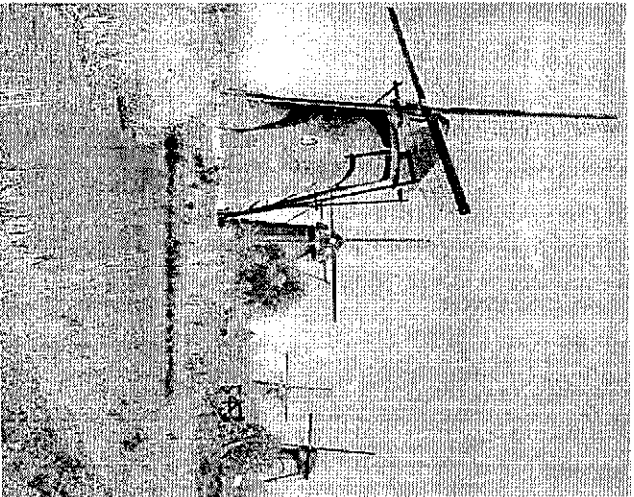
[SCIENTIFIC AMERICAN, 1890 apud SHEPHERD,1994] [ RIGHTER,1991 apud SHEPHERD,1994]

## **2. Introdução**

A energia desempenha um papel fundamental na vida necessária para incorporar o ser humano ao denominado modelo de desenvolvimento vigente. as dimensões do problema tecnológicas, económicas, sociais, e ambientais. Como a energia elétrica – uma das formas mais utilizadas de energia – é muito importante integrar seu enfoque no contexto do desenvolvimento sustentável. Assim, na busca da utilização harmônica e adequada dos recursos naturais, visualizou-se a maior eficiência da cadeia elétrica em si, desde a geração até a utilização, passando pela transmissão e distribuição, assim como pela sua interação equilibrada, com o meio ambiente, em seu conceito mais amplo. É neste contexto que surge a necessidade da humanidade desenvolver novas fontes renováveis de energia, que não sejam poluentes, e que apresentem uma menor agressividade à natureza e à espécie humana, reduzindo assim drasticamente a dependência das fontes de natureza fóssil. Para isto, será necessário dominar tecnologicamente a exploração destas novas fontes de energia, reduzindo os custos de fabricação, instalação e manutenção dos equipamentos associados, disseminando o conhecimento para a utilização das fontes de energia e avaliando e resolvendo os problemas técnicos para o seu aproveitamento. A evolução da energia eólica nas últimas décadas esta directamente relacionadas ao desenvolvimento da tecnologia empregada na conversão e projecto de instalações. A viabilização de uma instalação eólica de grande porte depende de avaliação correcta do potencial eólico. A fim de avaliar a capacidade de conversão da energia cinética do vento em mecânica rotacional.

Este trabalho aborda sobre a tecnologia eólica para produzir electricidade no geral e no caso da posição em Moçambique na produção de electricidade através do vento não , por isso, o tratamento deste tema de produção de electricidade apartir de fonte eólica é importância para que se caminhe na busca de um desenvolvimento sustentável.

A primeira aplicação da força dos ventos foi nos barcos. As velas são dispositivos simples, mas eficazes no aproveitamento da energia eólica para movimentar os barcos. Já nos inícios do século XX, começa a utilizar-se a energia eólica para produção de energia eléctrica. Surgem os aerogeradores figura2, que até aos dias de hoje têm sofrido modernas adaptações com o intuito de tornar mais eficaz a produção de electricidade. O problema é que nem sempre o vento sopra nesse sentido, é necessário armazenar a energia produzida em excesso para os dias em que o vento não seja suficiente (SEIDENBERG, 1995). (SEIDENBERG, 1995). Quando o uso da energia eléctrica começou a crescer rapidamente no planeta, as primeiras turbinas eólicas foram aplicadas na conversão da energia dos ventos directamente em energia eléctrica, de diâmetro do rotor de 17m e 144 pás de madeira para gerar energia eléctrica, (fig 2).



Figural1 - Moinhos de vento na Holanda

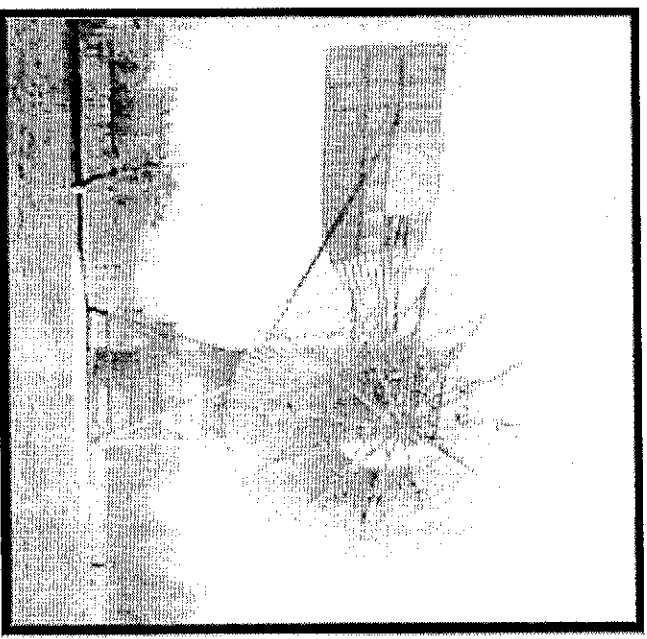


Fig2 -Moinho com rotor de 17m e 144 pás de madeira

Quando o uso da energia elétrica começou a crescer rapidamente no planeta, as primeiras turbinas eólicas foram aplicadas na conversão da energia dos ventos diretamente em energia elétrica. A primeira operação foi a turbina eólica automática com diâmetro do rotor de 17m e 144 pás de madeira para gerar energia elétrica, (figura 2). A geração de energia elétrica em grande escala, alimentando de forma suplementar o sistema elétrico através do uso de turbinas eólicas de grande porte, evoluiu muito nas últimas décadas. Pode-se dizer que a moderna tecnologia das turbinas eólicas surgiu na Alemanha na década de 1950, já com pás fabricadas com materiais compostos, controle de passo e torres na forma tubular.

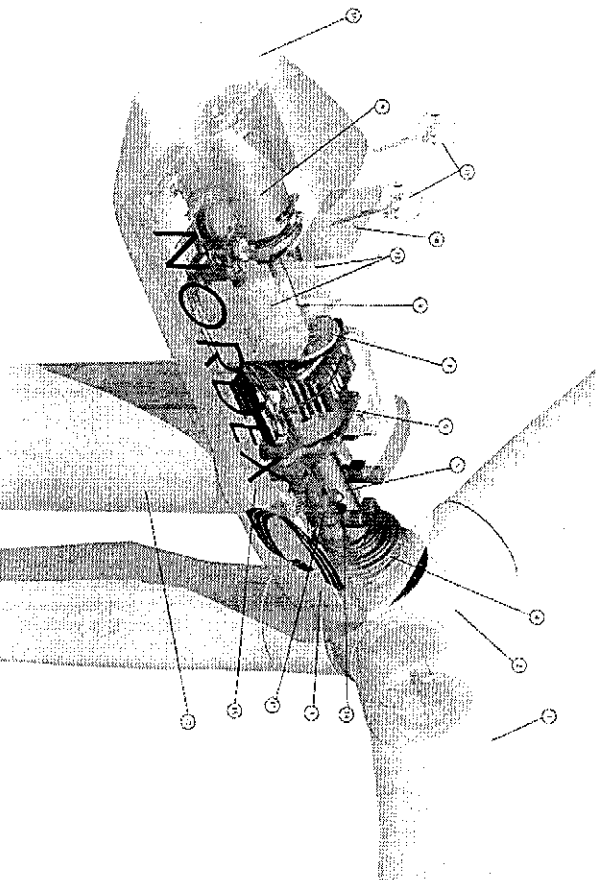


Figura3 – Moderna turbina eólica típica [Nordex].

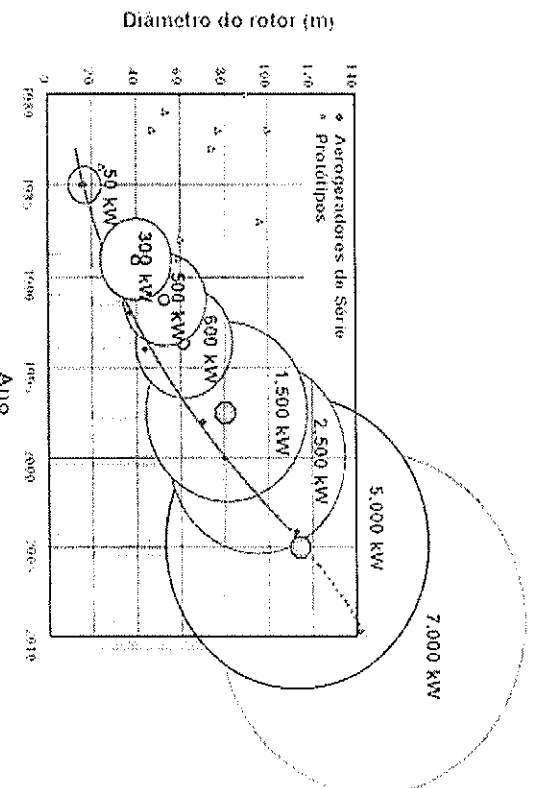
Devido a este avanço tecnológico e ao crescimento da produção em escala, foi possível se desenvolver novas técnicas de construção dos aerogeradores permitindo aumentar a capacidade unitária das turbinas, obtendo assim reduções graduais e significativas nos custos do quillowatt instalado e, conseqüentemente, uma substancial redução no custo da geração da energia elétrica.

### 3. Tecnologias Aplicadas na Geração Eólica

Uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento que passa através da área varrida pelo rotor e a transforma em energia mecânica de rotação. O eixo do rotor accionando gerador eléctrico transforma uma parte desta energia mecânica de rotação em energia eléctrica. A potência eléctrica gerada em watts é uma função da velocidade ao cubo do vento, dada por:

$$P = 1/2 \cdot \eta \cdot C_p \cdot \gamma \cdot (\pi R^2) \cdot v^3 \quad (1)$$

Onde  $\eta$  representa a eficiência do aerogerador, isto é, o rendimento considerando as perdas no conjunto das transmissões mecânicas e as perdas no gerador.  $C_p$  representa o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor, cujo valor máximo é  $C_{p\max} = 0,593$  e o valor usual  $C_p = 0,45$ . O termo  $\gamma$  representa a massa específica do ar, que a  $15^\circ\text{C}$  e ao nível do mar vale  $\gamma = 1,225\text{kg}/\text{m}^3$ . O termo  $R$  representa o raio do rotor da turbina em metros e  $v$  a velocidade dos ventos em metros por segundo.



*Dimensões típicas das turbinas eólicas no mercado actual*

A geração de energia eléctrica se inicia com velocidades de ventos da ordem de  $v_0 = 2,5\text{m}/\text{s}$ . Abaixo deste valor o conteúdo energético do vento não justifica o seu aproveitamento.

#### 4. Classificação e aplicação dos Aerogeradores

Turbinas eólicas ou gerador eólico são máquinas que produzem energia eléctrica através da energia cinética do vento. Um rotor aerodinâmico transforma a potência do vento em potência mecânica no seu eixo que é convertida posteriormente em potência eléctrica, através de um gerador. As turbinas são constituídas de um conjunto de pás que possuem baixo peso, alta resistência e bom rendimento aerodinâmico. A quantidade de electricidade que pode ser produzida depende da quantidade de vento que passa pela hélice, do diâmetro, a dimensão do aerogerador e o rendimento de todo sistema. Actualmente as melhores são as tripas de eixo horizontal (fig.4).

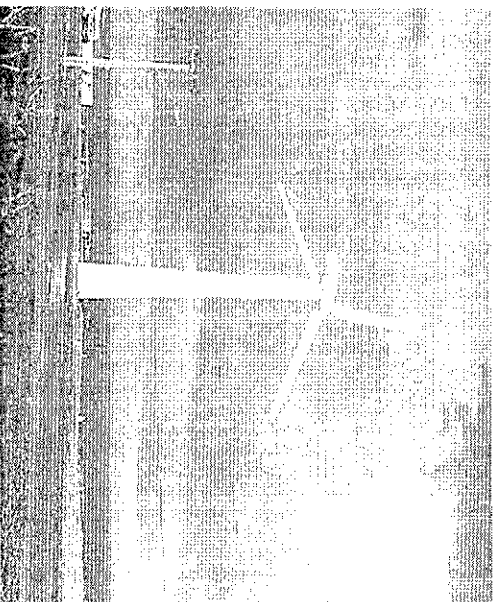


Fig 4 - Eixo horizontal

Porte	Potencia	Utilização
<b>PEQUENO</b>	De 5 e 25kW Ate 80kW	Utilização no meio rural Consumo local e fornecimento do eventual excedente de energia para rede
<b>MEDIO</b>	De 80kw a 500kw	Consumo local com fornecimento do excedente de energia para a rede
<b>GRANDE</b>	De12kW/Rotorcom17m de diâmetro, Torre18m e 144 Pas De 100kW Torre 30m 2 Pas Maior que 500kw	Accionamento de lâmpadas incandescentes Interligação com a rede Fornecimento de energia para a rede





A velocidade mínima do vento necessária para que um aerogerador entre em funcionamento é aproximadamente 10-15 km/h. Em caso de ventos fortes que fazem com que o aerogerador atinja velocidades elevadas é accionado o sistema de segurança que trava o rotor. Isto acontece, normalmente acima dos 90km/h. Para converter a energia mecânica disponível no veio em energia eléctrica, a opção básica consiste em usar o gerador síncrono (alternador) ou o assíncrono (de indução).

### 5.1 Turbinas de Eixo Vertical

Actualmente, pode afirmar-se que todas as turbinas eólicas em operação comercial possuem um rotor em forma de hélice com eixo horizontal. Tem como vantagem a posição do mecanismo de geração e transmissão, se localizarem junto ao solo, que facilitam a manutenção e acesso aos equipamentos.

### 5.2- Turbina de Eixo Horizontal

O plano de rotor é perpendicular a direcção do vento. O aumento do tamanho das turbinas é vantajoso do ponto de vista económico e ambiental. Em geral, para um determinado local, quanto maior for a potência unitária mais energia é produzida, e melhor aproveitadas são as infra-estruturas eléctricas e de construção civil.

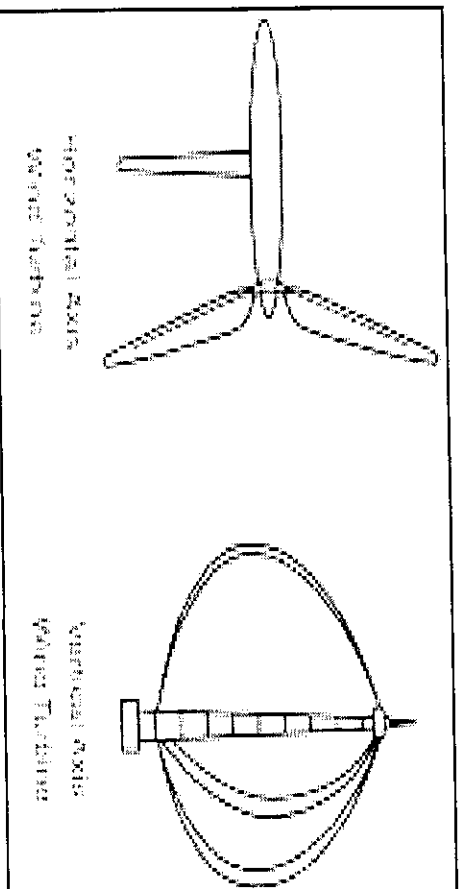


Figura8- *Mostra turbina de eixo horizontal vertical*

### 5.3 Evolução da produção de energia eólica segundo a sua altura

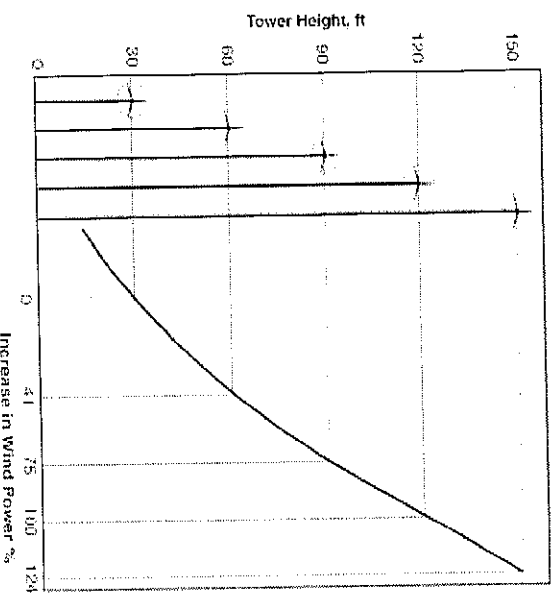
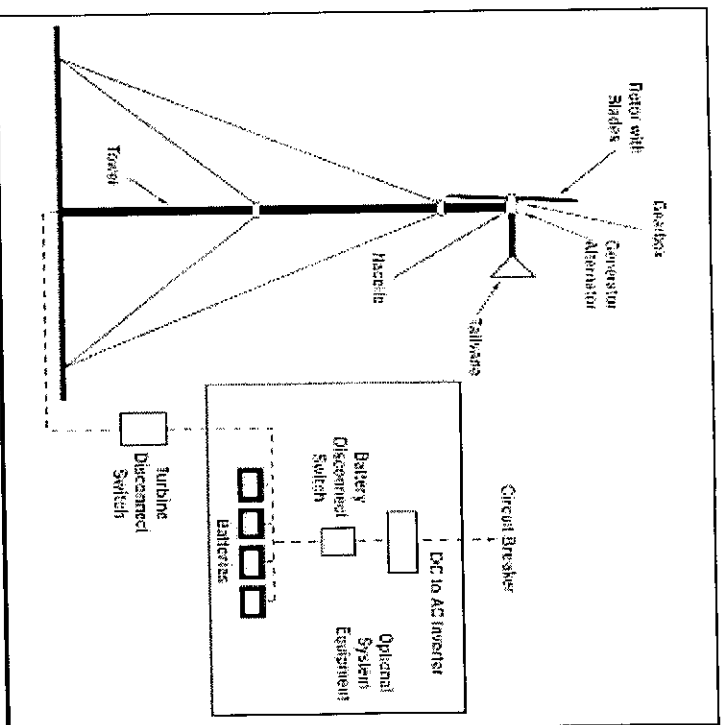


Fig. 9 Sistemas de aerogerador segundo a sua produção

Um fator importante na produção de energia do seu aerogerador que vai produzir é a altura da sua torre, a energia disponível no vento é proporcional ao cubo da velocidade. Isto significa que se duplica a velocidade do vento, a potência disponível para o gerador de energia eólica por um fator como a velocidade do vento aumenta com a altura, aumento da altura da torre pode significar um enorme aumento da quantidade de eletricidade gerada por uma turbina eólica.

### 6. Conversão Aerodinâmica de Energia Eólica em Energia Mecânica

A energia cinética dos ventos é convertida em energia mecânica de rotação através da turbina eólica. Turbinas eólicas são máquinas que transformam a energia cinética dos ventos em energia mecânica que tanto pode ser usada como tal, como pode ser transformada em energia elétrica, acoplando-se um gerador elétrico ao eixo da turbina. Uma pá de um rotor eólico, imersa em um fluxo de ar, sofre um conjunto de forças divididas em força de sustentação (*lift*), que age no

sentido perpendicular à direção da velocidade de vento relativa, e força de arrasto (**drag**) que age na direção da velocidade de vento relativa, caracterizando uma força contra a torre de sustentação.

$$F_s = C_s (1/2 \rho A_p v^2)$$

$$F_d = C_d (1/2 \rho A_p v^2)$$

Onde  $F_s$  e  $F_d$  força de sustentação e de arrasto,  $C_s$  coeficiente de sustentação,  $C_d$  coeficiente de arrasto,  $A_p$  área superficial das pás

## 7. Energia Eléctrica Produtível

### 7.1 Potência Eólica

Uma condição necessária para a apropriação da energia contida no vento é a existência de um fluxo permanente e razoavelmente forte de vento. As turbinas modernas são projectadas para atingirem a potência máxima para velocidades do vento da ordem de 10 a 15 m/s. A energia disponível para uma turbina eólica é a energia cinética associada a uma coluna de ar que se desloca a uma velocidade uniforme e constante  $v$  (m/s). Na unidade de tempo, aquela coluna de ar, ao atravessar a secção plana transversal  $A$  (m<sup>2</sup>) do rotor da turbina, desloca uma massa  $\rho A v$  (kg/s), em que  $\rho$  é a massa específica do ar ( $\rho = 1,225$  kg/m<sup>3</sup>), em condições de pressão e temperatura a potência disponível no vento ( $W$ ) é então proporcional ao cubo da velocidade do vento:

$$P = W/\Delta t \quad (1) \quad W = E_c = 1/2 \cdot m \cdot v^2 \quad (2) \quad P = 1/2(\rho A v^3) \quad (3)$$

Onde  $W$ -trabalho,  $E_c$ -energia cinética,  $m$ - massa, assim teremos a potencia:

$$P = 1/2 \cdot \rho A v^3$$

$P$  é potencia,  $A$  área varrida pelo rotor,  $v$  velocidade do vento e  $\rho$  massa específica do ar.

O recurso eólico de um local independentemente das características das turbinas a instalar, pode ser apresentada em termos da densidade de potência disponível no vento ( $W/m^2$ ), isto é, potência por unidade de área varrida pelas pás da turbina. Para potencia eléctrica

$$P = 1/2 \rho \cdot A v^2 \cdot C_p \cdot \eta \quad \text{Potencia electrica}$$

**Potência do vento em função da velocidade**

$$P/A = 1/2 \rho \cdot V^3$$

$$\rho = 1,2256 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 8 \text{ m/s } P = 314 \text{ W / m}^2$$

$$V = 16 \text{ m/s } P = 2509 \text{ W / m}^2$$

8 vezes mais potência    **314 Watts = 5 lâmpadas de 60 Watts**

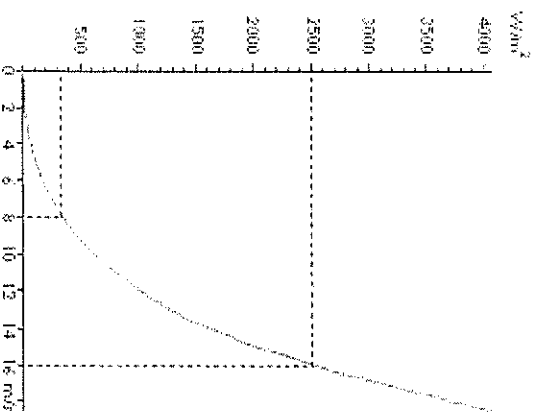


Gráfico da potencia em função da velocidade – fig.8

## 7.2 Turbina eólica de velocidade constante (gaiola)

Turbinas eólicas com tecnologia de velocidade constante operam directamente conectadas à rede, geralmente com geradores de indução, com velocidade definida pelo projecto do gerador e pela relação de transmissão da caixa de engrenagem multiplicadora de velocidade. A velocidade é fixada pela frequência da rede eléctrica, podendo variar estreitamente na faixa de escorregamento da região linear de conjugado da máquina de indução.

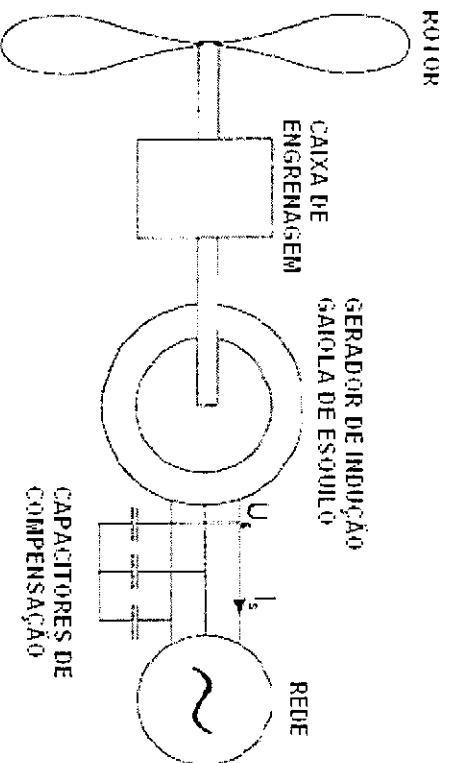


Fig 10 - Turbina eólica que opera a velocidade constante (gaiola)

### 7.3 Turbina Eólica de Velocidade Variável Acoplada a um Gerador Síncrono

Nesta configuração, um gerador síncrono é conectado à rede através de um conversor estático, desacoplando assim a velocidade do gerador da frequência da rede elétrica. Assim, a velocidade do conjunto turbina-gerador pode variar livremente entre a velocidade do vento mínima. A partir desta última, se faz necessário o uso de controle de passo para limitação da potência extraída e da velocidade da turbina. Uma das desvantagens deste sistema se dá pelo fato de que toda a potência gerada pelo conversor, devendo este ter uma capacidade de 100% da potência nominal do gerador, tornando-se mais caro

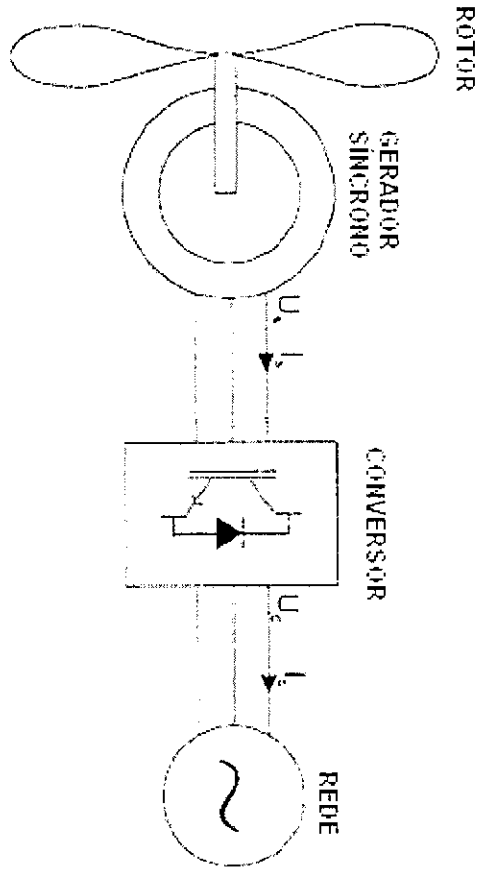


Figura – Turbina eólica de velocidade variável acoplada a um gerador síncrono

## **8. Progressão do Potencial Eólico em Moçambique**

No caso de Mocambique, o potencial de energia eólica existe apenas em algumas áreas. Porém, os ventos em Mocambique são suficientes para mover bombas de água eólicas, encontradas em utilizacao especialmente nas áreas de Maputo e Chimoino.

Podera haver algum potencial para expandir para zonas do país a utilizacao de pequenos conversores energeticos para bombear água e para sistemas de irrigacao, em particular na zona costeira entre a Beira e Quelimane, Tete, bem como proximo do Malawi, na provincia do Niassa. Não existe atlas em Mocambique, embora já tenha sido feito há muitos anos os registos da sua velocidade e direccao.

## **9. Conclusão**

Neste trabalho analise da tecnologia eólica para produção de energia eléctrica, mostra que a tecnologia de fabricação das turbinas eólicas evoluiu muito , aumentando a sua capacidade e eficiência na captação da energia do vento. Junto com esta evolução a aplicação dos modernos métodos de controle de velocidade e torque, tanto da turbina quanto do gerador confirmando desta maneira a energia eólica como uma alternativa limpa e viável de energia. Para tecnologias de gerador eléctrico actualmente são aplicados na geração eólica de energia eléctrica.



## 10 - Bibliografia

- 1 - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica S. S. Brito  
[<http://www.cresesh.cepel.br>]
- 2 - CEPTEL - Centro de Pesquisas de Energia Eléctrica  
[<http://www.cepel.br>]
- 3 - WindPower Monthly – January 2004.
- 4 - Simões, T. e Estanqueiro, A. (1999) *Study of the Wind Energy Potential of Serras do Alvão and Marão*. ALTENER, Contract No. XVII/4.1030/Z/95-160, INETI/ITE, Lisboa.
- 5 Garrad Hassan and Partners (2002). *Windfarmer. The Wind Farm Design and Optimisation Software*. Theory Manual. Garrad Hassan and Partners, Ltd.