



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
Faculdade de Ciências
Departamento de Física

Física Aplicada

Tecnologia de Aproveitamento de Energia Eólica

Autor: João, Nélio Raul

Maputo Dezembro de 2010

Índice

AGRADECIMENTOS.....	3
RESUMO	4
LISTA DE ABREVIATURAS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	6
1.Introdução.....	7
1.1.Objectivos.....	8
1.1.1.Geral	8
1.1.2.Específicos	8
2.Motivação	8
2.1. Justificação.....	9
2.2. Impacto Ambiental e as Mudanças Climáticas.....	9
2.3. Impacto do baixo índice de electrificação, distribuição não uniforme da rede eléctrica do País e as alternativas para electrificação das zonas rurais	9
2.4. Impacto Social.....	10
2.5. Impacto Tecnológico	11
3. Resumo Teórico	11
3.1. Conceito de Energia	11
3.1.1 Conceitos de Energias Renováveis.....	12
3.2. Circulação Geral da Atmosfera e ventos Predominantes	12
3.2.1. Factores que influenciam o regime dos ventos	14
3.2.2.Função Velocidade do Vento.....	15
3.2.3. Distribuição da velocidade do vento	15
3.2.4. Energia e Potencia contida no vento	18

3.3. Tecnologia	19
3.3.1. Turbina eólica.....	19
3.3.1.1 Sistema de funcionamento	19
3.3.1.2. Componentes do Sistema	20
4. Metodologia	22
5. Resultados e produtos de pesquisas desenvolvidos em Moçambique.....	23
5.1 Rede de estações de superfície para colecta de dados.....	23
5.3.1. Tofinho.....	23
5.3.2. Ponta do Ouro	24
6. Vantagens e Desvantagens da Tecnologia Eólica.....	25
6.1 Principais vantagens	25
6.2 Principais Desvantagens	26
7. Considerações Finais	27
7.1. Recomendações.....	27
8. Referências Bibliográficas.....	28

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que torna possível todas as coisas ao que nele crê.

A minha mãe Ruth J. Nuvunga, graças a ela por ter gerado uma grande vida, aos meus irmãos Vânio, Júnior e Shannon.

Aos meus Avôs (maternos), aos meus tios e tias, pelo apoio incondicional que proporcionaram me horas de alegria, em qualquer momento da minha vida.

Aos meus companheiros de luta, Eng. Joel, dr. Euclides, dr. Ivan, dr. Sérgio, dr. Cornélio, dr. Mabombo, dr. Sindique, Abrão, Timane, Ubisse, Hilário, Rogério, Serafina, Cledes e aos demais que não foram mencionados um obrigado.

Ao dr. João de Lima (DNER), pelo apoio material incondicional dado na elaboração desta pesquisa.

Às amigadas solidificadas ao longo desta caminhada.

RESUMO

O trabalho tem como objectivo geral estudar a tecnologia de aproveitamento de energia eólica em Moçambique, nas praias de Tofinho e da Ponta de Ouro, bem como os mecanismos que determinam a produção de energia através da energia cinética contida no vento, que busca sistematizar e qualificar os impactos inerentes à utilização energética integrando a demanda e buscando o menor custo completo considerando a característica do recurso energético nas dimensões ambiental, social, política e técnico-económica. Este estudo será feito com base na informação disponível e de dados recolhidos nas praias de Tofinho e da praia da Ponta de Ouro, fazendo uma descrição com base no método estatístico de Weibull, de dados recolhidos pela RISO e DNER (Direcção Nacional de Energias Novas e Renováveis). Os resultados foram analisados e considerados satisfatórios.

LISTA DE ABREVIATURAS

GEE - Gases de Efeito Estufa

KW -Kilowatt

IPCC - Painel Inter - Governamental para mudanças Climáticas

DNER- Direcção Nacional de Energias Novas e Renováveis

RISO - Risø National Laboratory

AC- Antes de Cristo

DC- Depois de Cristo

NNE - Norte -Nordeste

SSW - Sul -Sudoeste

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2 – Perfil do vento para diferentes comprimentos de rugosidade (www.nrc-cnrc.gc.ca)....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3 – Influência do parâmetro k na curva de distribuição de Weibull.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4 - Fluxo de ar através de uma área transversal A.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5. Representação das componentes dum aerogerador.....</i>	<i>19</i>
<i>Figuras 6 e 6.1 Ilustração do tipos de rotores de eixo horizontal e rotor de eixo vertical e o eixo de rotação nos dois casos.....</i>	<i>20</i>
<i>Fig.7.Representacao gráfica e análise da direcção do vento (rosa do vento) e velocidade do vento (histograma) a 29m de altura na praia de Tofinho. (RISO e DNER).....</i>	<i>24</i>
<i>Fig.8 Representação gráfica e análise da direcção do vento (rosa do vento) e velocidade do vento (histograma) a 29m de altura na praia de Ponta de Ouro. (RISO e DNER).....</i>	<i>25</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Características da velocidade do vento medidos á uma altura de 29 m na praia de Tofinho Fonte: RISO.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 2: Características da velocidade do vento medidos á uma altura de 29m Fonte: RISO e DNER.....</i>	<i>24</i>

1.Introdução

A utilização do vento como fonte de energia e captação de água é uma prática hoje em dia muito empregada. A energia eólica proveniente dos ventos, por ser uma fonte energética abundante, não poluidora, que pode ser renovada, tem sido posta a serviço da conservação da Natureza com o objectivo de compatibilizar a presença humana.

Nas últimas décadas a segurança no suprimento de energia está associada às perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo nas próximas décadas e a elevação dos preços de mercado dos combustíveis fósseis em consequência de problemas políticos e sociais nas principais regiões produtoras [5]. Factores ambientais também podem reduzir a segurança energética como, por exemplo, a ocorrência de longos períodos de estiagem que afectam a produtividade da biomassa e a geração hidroeléctrica. A inserção de recursos complementares na matriz energética de um país, com a adopção de fontes renováveis, deve minimizar os impactos causados por crises internacionais que afectam o mercado de combustíveis fósseis ou por instabilidades na geração hidroeléctrica em épocas de estiagem.

Em razão dos factos expostos acima, a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico vêm recebendo grande incentivo em todo o mundo, principalmente após o último relatório do IPCC (*Painel Inter- Governamental para mudanças Climáticas*) divulgado em Fevereiro de 2007. Dentre as fontes energéticas “limpas” – fontes de energia que não acarretam a emissão de gases do efeito estufa (GEE) – a energia mecânica contida no vento vem se destacando e demonstra potencial para contribuir significativamente no atendimento dos requisitos necessários quanto aos custos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental [5].

A experiência dos países líderes do sector de geração eólica mostra que o rápido desenvolvimento da tecnologia e do mercado têm grandes implicações socioeconómicas.

Em Moçambique, a capacidade instalada ainda é muito pequena ou inexistente quando comparada aos países líderes em geração eólica. No entanto, políticas de incentivos estão começando a produzir os primeiros resultados e espera-se um crescimento da exploração deste recurso nos próximos anos. Para dar suporte a esse crescimento, torna-se necessário a formação de recursos humanos e o desenvolvimento de pesquisas científicas de âmbito nacional com o intuito de produzir e disponibilizar informações confiáveis sobre os recursos eólicos no território nacional.

1.1.Objectivos

1.1.1.Geral

- ✓ Discutir as tecnologias para o aproveitamento da energia eólica em Moçambique.

1.1.2.Específicos

- ✓ Descrever os conceitos físicos relativos à dinâmica da atmosfera na avaliação da disponibilidade do recurso energético eólico.
- ✓ Descrever o modelo numérico de Weibull para análise do potencial energético potencial eólico.
- ✓ Analisar a tecnologia usada para o aproveitamento da energia eólica

2.Motivação

Até a década de 1970 a energia eólica tinha pouco incentivo para seu desenvolvimento, já que as redes de energia eléctrica já estavam disponíveis para um número elevado de pessoas, fazendo o desenvolvimento da energia eólica desnecessário. Até então a base da matriz energética da maior parte do mundo era oriunda da queima de combustíveis fósseis. Hoje em dia a questão energética é um problema que muitos países em via de desenvolvimento vem se debatendo, procurando alternativas no uso de energias renováveis em vez de energias convencionais.

A energia eólica é uma energia limpa e renovável. A maioria das pessoas vê na energia eólica uma das soluções para a diminuição das emissões de gás carbónico na atmosfera. Não é necessária a desapropriação de áreas e realojamentos de cidades e pessoas para a construção de centrais eólicas como ocorre na construção de centrais hidroeléctricas. Além do mais a geração de energia coexiste com práticas de agricultura e pecuária. Por isso esse tipo de energia apresenta grande aceitação social.

O projecto e a execução de centrais eólicas também geram inúmeros empregos e possibilita a especialização da mão-de-obra, gerando mais desenvolvimento para os locais onde estão instaladas. A construção das centrais eólicas torna a geração de energia descentralizada, ou seja, a geração e o consumo da energia podem ocorrer na mesma região, isso acarreta na diminuição das perdas nas linhas de transmissão e no aumento da confiabilidade dos sistemas onde as centrais estão conectadas. Pelos factores apresentados acima, o uso da energia eólica, torna se indispensável o uso da mesma, porque diminuiria a dependência em relação há outras fontes de energia, bem como na poupança de aquisição de direitos de emissão de CO₂ por cumprir o protocolo de Quioto e directivas comunitárias e menores penalizações por cumprir.

2.1. Justificação

Com vista a justificar a melhor tecnologia de aproveitamento de energia eólica para o caso do nosso país, devem ser considerados os seguintes factos:

2.2. Impacto Ambiental e as Mudanças Climáticas

A atmosfera terrestre esta passando por um período de mudanças na sua composição química devido ao crescente nível de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e as implicações inerentes as características dos mesmos gases [4]. Consequentemente o tempo de ocorrência de alguns fenómenos naturais, como ciclones, inundações, acentuada subida de temperatura e outros fenómenos naturais.

2.3. Impacto do baixo índice de electrificação, distribuição não uniforme da rede eléctrica do Pais e as alternativas para electrificação das zonas rurais

Apesar da abundância dos recursos energéticos naturais, o acesso aos serviços de energia moderna em Moçambique é tida como cerca de 80% da população a depender integralmente de biomassa tradicional, como lenha e carvão vegetal, para satisfação das suas necessidades energéticas. O

crescimento populacional vai induzir ao aumento gradual do consumo de biomassa no futuro, se não mudar se de fonte energética. Isto implica que, apesar de se prever um aumento do consumo de energia moderna como electricidade e gás, os combustíveis lenhosos e o carvão vegetal continuarão sendo a maior fonte de energia em Moçambique [9].

Em relação ao consumo de electricidade por outros consumidores domésticos e comercial (não Mega projectos) os seus indicadores são ainda muito baixos. Em 2006, apenas cerca de 9% da população tinha acesso á electricidade. A utilização de energia para o uso produtivo ainda é muito baixa.

A electrificação no país não é uniforme, isto é, a electrificação é decorrente nas capitais Provinciais e algumas distritais que estão ligadas a rede de nacional de energia eléctrica e/ou dependem de fontes geradoras de electricidade.

A potenciação da implementação de tecnologias de energias renováveis, nomeadamente a eólica, para electrificação das regiões rurais resolveria ou minimizaria a falta de electricidade nas zonas rurais e impulsionaria a redução significativa do uso de energia de biomassa, que é um veículo para o aparecimento de longas áreas de desflorestação no País.

2.4. Impacto Social

Sendo que o desenvolvimento em quase todos países do mundo é notório na costa do que no interior, o nosso país não é excepção. A densidade populacional no nosso país é crescente nas cidades, o êxodo rural para as capitais provinciais, distritais que se localizam próximos da costa é causado pela existência de condições básicas usadas como indicadores para avaliar existência de condições básicas de vida tais como: água potável, electricidade, saneamento básico, ensino e etc. Sendo que a energia eléctrica não é abrangente e pode ser interligada directa ou indirectamente com os indicadores supra citados, daí a não existência destes pressupostos básicos que incentive ao movimento em massa da população rural a procura de melhoria de vida nas cidades ou vilas.

2.5. Impacto Tecnológico

As tecnologias das energias renováveis tornaram-se ambientalmente mais preferenciais pois as suas tecnologias estão viradas para uma visão futurista devido as suas fontes inesgotáveis e paralelamente ao desenvolvimento destas tecnologias observa-se uma preocupação das diversas instituições investigadoras em usar materiais menos poluidores, que minimiza os impactos ambientais consequentes da exploração destas tecnologias e obtenção dum rendimento ainda maior para os fins nos quais estão sendo desenvolvidos [1], e as tecnologias de energias renováveis emitem pouco ou quase não emitem os gases de efeito de estufa. Quanto as tecnologias das energias convencionais que emitem muitos gases de efeito de estufa e as suas fontes energéticas são esgotáveis.

Numa primeira fase a tecnologia de energia renováveis tende a ter um custo inicial muito alto, principalmente no início da implementação do projecto, que compreende estudos sobre os ganhos e impactos diversos que serão consequentes desta implementação, quando comparado com as tecnologias da energia convencional.

As fontes de energias renováveis são difíceis e caras para concentra-las e armazenar, paradoxalmente as fontes de energias convencionais são de fácil concentração e armazenamento.

3. Resumo Teórico

3.1. Conceito de Energia

Em geral, o conceito e uso da palavra energia se refere "ao potencial que um corpo tem para executar trabalho ou realizar uma acção" [3], isto é, a Energia é referida como a capacidade de realizar um trabalho. A propriedade mais importante da energia é que ela se transforma, dissipando-se dum tipo de energia para o outro ou transitando dum sistema para o outro, não é possível criar energia do nada.

As unidades pelas quais se expressa a energia são as mesmas utilizadas para calcular o trabalho. No SI, a unidade correspondente é o Joule (J).

Quando se fala de energia calorífica, costuma-se medir em calorias (cal). No caso da energia eléctrica, mede-se em quilowatt-hora ($1\text{kWh} = 3.600.000\text{ J}$, $1\text{ J} = 4,18\text{ Cal}$)

3.1.1 Conceitos de Energias Renováveis

Quanto aos tipos de energias renováveis podem ser classificadas em:

- a) *Energias renováveis* são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica numa escala de tempo reduzida. Estas fontes de energia podem derivar directamente do sol (solar térmico, solar foto voltaico e solar passivo), indirectamente do sol (eólica, hídrica e energia da biomassa), ou de outros mecanismos naturais (geotérmica e energia das ondas e marés) [11].
- b) *Energias não renováveis* as fontes de energia não renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e se extinguem com a sua utilização. Uma vez esgotadas, as reservas não podem ser regeneradas. Consideram-se fontes de energia não renováveis os combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) e o urânio, que é a matéria-prima necessária para obter a energia resultante dos processos de fissão ou fusão nuclear.

3.2. Circulação Geral da Atmosfera e ventos Predominantes

Os ventos são causados pela diferença de pressões (como resultado do aquecimento diferenciado da atmosfera) e pelos movimentos da terra (associado a sua inclinação). As regiões tropicais, onde os raios solares incidem perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares (onde aqueles incidem com um ângulo de quase 0°).

Consequentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir (devido a diferença da densidade), sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos. Os ventos servem de mecanismo de compensação que a terra realiza constantemente para manter o equilíbrio térmico. Existem locais no globo terrestre nos quais os ventos nunca cessam de “soprar”, pois os mecanismos que os produzem (aquecimento no equador e resfriamento nos pólos) estão

sempre presentes na natureza. São chamados de ventos planetários ou constantes, e podem ser classificados em:

- ✓ Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes.
- ✓ Contra-Alísios: ventos que sopram do Equador para os pólos, em altas altitudes.
- ✓ Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os pólos.
- ✓ Polares: ventos frios que sopram dos pólos para as zonas temperadas.

Tendo em vista que o eixo da Terra está inclinado de $23,5^\circ$ em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol, variações sazonais na distribuição de radiação recebida na superfície da Terra resultam em variações sazonais na intensidade e duração dos ventos, em qualquer local da superfície terrestre. Como resultado surgem os ventos continentais ou periódicos e compreendem as monções e as brisas. As monções são ventos periódicos que mudam de direcção a cada seis meses aproximadamente. Em geral, as monções sopram em determinada direcção em uma estação do ano e em sentido contrário em outra estação.

Em função das diferentes capacidades de reflectir, absorver e emitir o calor recebido do Sol, inerentes a cada tipo de superfície (tais como mares e continentes), surgem as brisas que caracterizam-se por serem ventos periódicos que sopram do mar para o continente e vice-versa. No período diurno, devido à maior capacidade da terra de reflectir os raios solares, a temperatura do ar aumenta e, como consequência, forma-se uma corrente de ar que sopra do mar para a terra (brisa marítima).

À noite, a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a temperatura da água e, assim, ocorre a brisa terrestre que sopra da terra para o mar. Normalmente, a intensidade da brisa terrestre é menor do que a da brisa marítima devido à menor diferença de temperatura que ocorre no período nocturno. Sobreposto ao sistema de geração dos ventos descrito acima, encontram-se os ventos locais, que são originados por factores orográficos (vales e montanhas). Durante o dia, o ar quente nas encostas da montanha se eleva e o ar mais frio desce sobre o vale para substituir o ar que subiu. No período nocturno, a direcção em que sopram os ventos é novamente revertida, e o ar frio das montanhas desce e se acumula nos vales, conforme ilustrado na fig.1

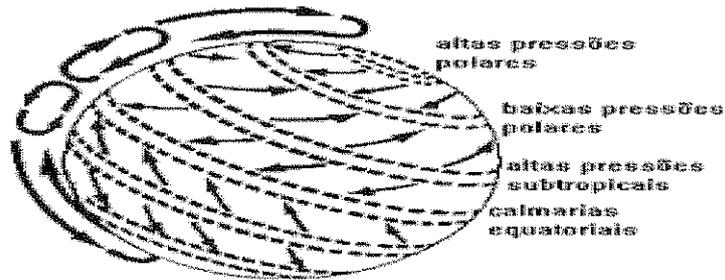


Figura 1 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.

Fonte: CEPEL, 2001

3.2.1. Factores que influenciam o regime dos ventos

O comportamento estatístico do vento ao longo do dia é um factor que é influenciado pela variação de velocidade do vento ao longo do tempo. As características topográficas de uma região também influenciam o comportamento dos ventos uma vez que, em uma determinada área, podem ocorrer diferenças de velocidade, ocasionando a redução ou aceleração na velocidade do vento. Além das variações topográficas e de rugosidade do solo, a velocidade também varia seu comportamento com a altura.

Tendo em vista que a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias (algumas centenas de metros), os procedimentos para avaliar o local, no qual se deseja instalar turbinas eólicas, devem levar em consideração todos os parâmetros regionais que influenciam nas condições do vento. Entre os principais factores de influência no regime dos ventos destacam-se:

- ✓ A variação da velocidade com a altura;
- ✓ A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções;
- ✓ Presença de obstáculos nas redondezas;
- ✓ Relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar

As informações necessárias para o levantamento das condições regionais podem ser obtidas a partir de mapas topográficos e de uma visita ao local de interesse para avaliar e modelar a rugosidade e os obstáculos. O uso de imagens aéreas e dados de satélite também contribuem para uma análise mais acurada.

3.2.2. Função Velocidade do Vento

A velocidade do vento, em uma representação espectral, se divide em três componentes:

Zona de baixas frequências, que corresponde a movimentos de grandes massas de ar e representam a maior parte da energia eólica aproveitável.

Zona de altas frequências, que corresponde a poucos segundos e está relacionada com a turbulência atmosférica.

Zona vazia, com muito pouca energia associada.

Essa estrutura permite que se utilize, para fins energéticos, a função de velocidade na forma:

$$V(t) = \bar{V} + V'(t) \quad (2)$$

Onde:

\bar{V} é a velocidade média anual, referente à zona de baixas frequências. É chamado de regime quase estacionário pois as variações são muito mais lentas que as variações de turbulência.

$V'(t)$ é a turbulência associada à estrutura do vento.

A consideração apenas da velocidade média anual do vento mascara todas as variações, lentas ou rápidas, podendo afectar seriamente o levantamento do potencial eólico da região. Para amenizar este efeito, é necessário que se distribua as aferições em densidades de probabilidades, sendo expresso em percentual de frequência de ocorrência de cada velocidade [9].

3.2.3. Distribuição da velocidade do vento

O vento varia gradualmente na presença de algumas mudanças na atmosfera. Para além de ser instantânea, a sua velocidade para melhor estudo ou análise é considerada como um fluxo. O fluxo da velocidade varia essencialmente com a altura.

$$v/v_0 = (h/h_0)^\alpha \quad (3)$$

Onde:

v é a velocidade à altura em que se quer determinar o potencial

v_0 é a velocidade medida

h é a altura a se determinar o potencial

h_0 é a altura em que foi feita a medida

α é o índice de descrição do terreno (0,1 à 0,4)

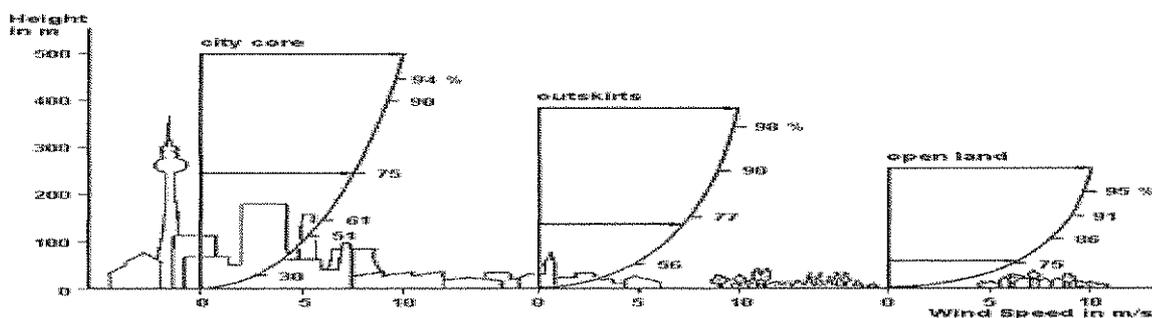


Figura 2 – Perfil do vento para diferentes comprimentos de rugosidade (www.nrc-cnrc.gc.ca)

A distribuição do vento é usada para análise da disponibilidade da Energia Eólica num dado local ou região. A distribuição pode ser estimada recorrendo as medições, mapas de ventos e análises computacionais. Podem ocorrer incertezas durante estimativas de frequências de distribuição do vento, estes fenómenos geralmente são causados pelos intervalos temporais das medições. Usando o exemplo de muitos programas informáticos usados para as medições, estes fazem registos da medição do vento em cada 10 minutos, cálculos adicionais da geração do vento podem produzir erros elevados porque a energia do vento não depende linearmente da velocidade.

E a solução para evitar tais erros é fazer registos cúbicos desta velocidade e esta é facilmente calculável pela expressão:

$$\langle v \rangle = \sum h(v) \cdot v \quad (4)$$

$\langle v \rangle$ - média de velocidade do vento;

h - frequência de ocorrência de vento; Porém, a média de velocidade do vento é habitualmente usada para avaliar a velocidade do vento do local.

Para analisar a distribuição da frequência de velocidade do vento e as condições do local onde estão sendo feitas as medições da velocidade do vento, usam-se as funções estatísticas de Weibull e de Rayleigh. A função de Weibull é dada pela expressão:

$$f(v) = \frac{k}{a} \left(\frac{v}{a}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{a}\right)^k\right] \quad (5)$$

$f(v)$ - função de distribuição de Weibull

k e a variam de local para local

a - parâmetro de escala;

v - velocidade instantânea do vento

Ao substituir o valor de: $a_{k=2} \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot v$ na expressão (5) teremos a Função de Rayleigh dada de modo :

$$f(v) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{\langle v \rangle^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{v^2}{\langle v \rangle^2}\right] \quad (6)$$

Como descrito anteriormente, a distribuição de Weibull é, portanto, uma distribuição a dois parâmetros: um parâmetro de escala (“ c ”) relacionado com o valor da velocidade média, eo parâmetro de forma (“ k ”) que é a dimensional e fornece a indicação da uniformidade da distribuição e a forma da curva de Weibull. A figura 4 mostra a influência do parâmetro deforma k na curva de distribuição de Weibull.

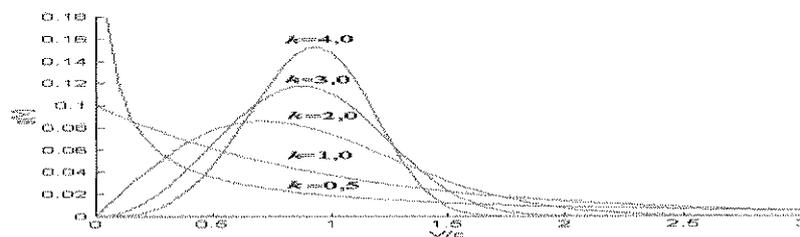


Figura 3 – Influência do parâmetro k na curva de distribuição de Weibull

3.2.4. Energia e Potencia contida no vento

A energia cinética dos ventos que incidem sobre um rotor é dada pela equação;

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (6)$$

Onde m é a massa de ar em movimento e v é a velocidade do vento incidente. a massa de ar em movimento, ao passar pelo rotor, ocupará um volume V , como exemplificado na Figura 5. Se considerarmos a densidade volumétrica ρ do ar, definida como:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Tem-se $m = \rho V = \rho(A \times d)$, onde A é a área útil do rotor (isto é, aquela sobre a qual actua o vento) e d é a distância percorrida pelo vento na unidade de tempo [13]. Então

$$E = \frac{1}{2}(\rho Ad)v^2$$

A potência disponível no vento incidente (P) será a "velocidade" com que esta energia é fornecida, isto é:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \frac{\rho Ad}{t} v^2$$

Note-se que a razão entre a distância d percorrida pelo vento e o tempo t gasto para percorrê-la é a própria velocidade do vento, ou seja:

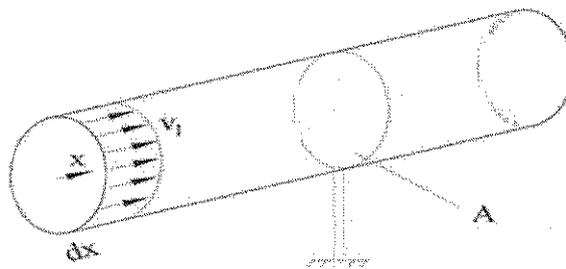


Figura 4 - Fluxo de ar através de uma área transversal A

$$P = \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{d}{t}\right) v^2$$

Portanto:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (7)$$

Onde:

ρ é a densidade característica do ar de 1,225 para 760mm de Hg e 288 K (15°C) [kg/m³];

A é a área varrida pelas pás do gerador eólico [m²];

V é a velocidade do vento [m/s].

3.3. Tecnologia

3.3.1. Turbina eólica

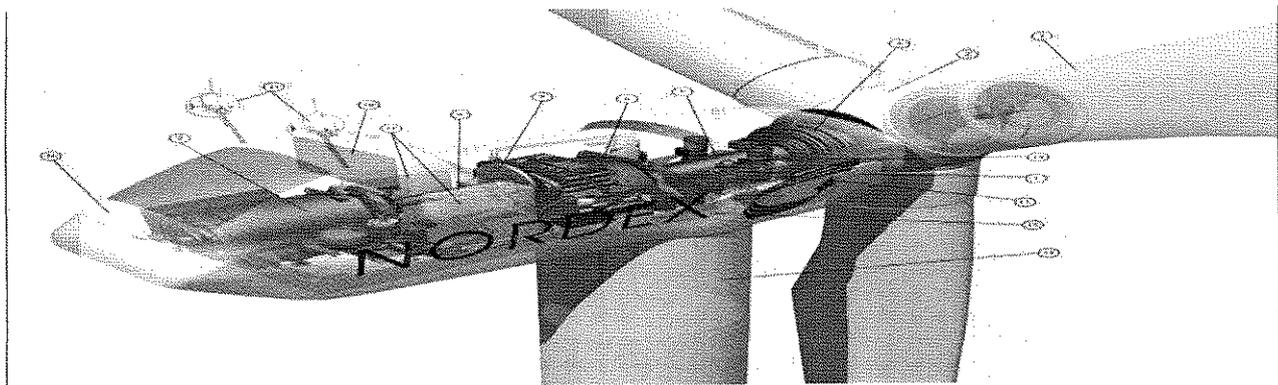


Figura 5. Representação das componentes dum aerogerador

Legenda: 1 – Pás do rotor; 2 – Cubo do rotor; 3 – Cabina; 4 – Chumaceira do rotor; 5 – Veio do rotor; 6 – Caixa de velocidades; 7 – Travão de disco; 8 – Veio do gerador; 9 – Gerador; 10 – Radiador de arrefecimento; 11 – Anemómetro e sensor de direcção; 12 – Sistema de controlo; 13 – Sistema hidráulico; 14 – Mecanismo de orientação direccional; 15 – Chumaceira do mecanismo de orientação direccional; 16 – Cobertura da cabina; 17 – Torre. [11]

3.3.1.1 Sistema de funcionamento

O rendimento global do sistema eólico relaciona a potência disponível do vento com a potência final proveniente do sistema. Os rotores eólicos ao extraírem a energia do vento reduzem a sua velocidade, ou seja, a velocidade do vento frontal ao rotor (velocidade não perturbada) é maior do que a velocidade do vento atrás do rotor (na esteira do rotor). Uma redução muito grande da velocidade do vento faz com que o ar circule em volta do rotor, ao invés de passar através dele.

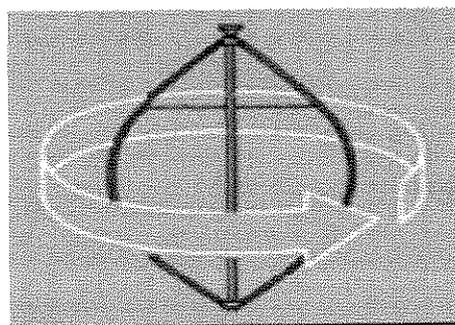
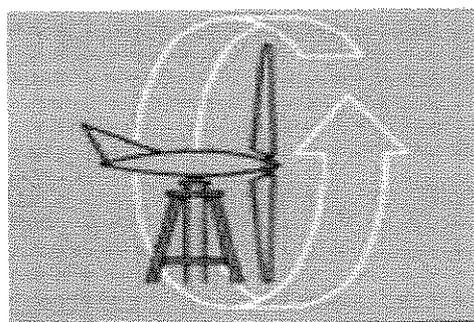
Em condições ideais, o valor máximo da energia captada por um rotor eólico é limitado pela eficiência (C_p) dada pelo factor 16/27 ou 0,593, isto é, 59,3% da energia contida no fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. Na prática, este rendimento é reduzido ainda mais pela aerodinâmica das pás. Para um sistema eólico, existem ainda outras perdas,

relacionadas com cada componente (rotor, transmissão, caixa multiplicadora e gerador). Além disto, o fato do rotor eólico funcionar em uma faixa limitada de velocidade de vento também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada. Somente a partir de uma certa velocidade de entrada 3-5 m/s (necessária para vencer algumas perdas), é que o sistema começa a os aerogeradores começam a rodar. Quando o sistema atinge a chamada velocidade de corte, um mecanismo de protecção é accionado com a finalidade de não causar riscos ao rotor e à estrutura. No entanto abaixo de 5 m/s a quantidade de energia no vento é muito baixa, e a turbina apenas começa a funcionar por volta dos 5 m/s.

3.3.1.2. Componentes do Sistema

Um sistema eólico é constituído por vários componentes que devem trabalhar em harmonia de forma a propiciar um maior rendimento final. Para efeito de estudo global da conversão eólica devem ser considerados os seguintes componentes:

a) O Rotor eólico: O rotor é o componente do sistema eólico responsável pela captura da energia cinética dos ventos e transformá-la em energia mecânica de rotação, daí em energia eléctrica. É o componente mais característico de um sistema eólico. Por este motivo, a configuração do rotor influenciará directamente no rendimento global do sistema. Os rotores eólicos podem ser classificados segundo vários critérios e o mais importante é aquele que utiliza a orientação do eixo como factor de classificação. Considerando o eixo podemos classificar os rotores em:



Figuras 6 e 6.1 Ilustração do tipos de rotores de eixo horizontal e rotor de eixo vertical e o eixo de rotação nos dois casos.

Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns e grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de

sustentação (*lift*) e forças de arrasto (*drag*). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. Adicionalmente, as forças de sustentação dependem da geometria do corpo e do ângulo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo) [11].

b) Transmissão e caixa multiplicadora

A transmissão, que engloba a caixa multiplicadora, possui a finalidade de transmitir a energia mecânica que sai do eixo do rotor até a carga. É composta por eixos, engrenagens de transmissão e acoplamentos. Na turbina eólica consiste colocar-se a caixa de transmissão mecânica entre o rotor e o gerador para adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores convencionais. A velocidade angular dos rotores geralmente varia entre 20 a 150 rpm, devido às restrições de velocidade na ponta da pá. Entretanto, geradores (sobretudo geradores síncronos) trabalham a rotações muito mais elevadas (em geral, entre 1200 a 1800 rpm), tornando necessário a instalação de um sistema de multiplicação entre os eixos [11].

c) O Gerador

A transformação da energia mecânica de rotação em energia eléctrica, através de equipamentos de conversão electromecânica, ocorre no gerador. Entretanto, a integração de geradores a sistemas de conversão eólica constitui-se em um grande problema, que envolve principalmente: - variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração); - variações do torque de entrada (uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo); - exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida; - facilidade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico dos sistemas eólicos, sobretudo em caso de pequena escala de produção (isto é, necessitam ter alta confiabilidade).

d) Os mecanismos de controlo

Destinam-se à orientação do rotor, ao controlo de velocidade, ao controlo de carga, etc. Pela variedade de controlos, existe uma enorme variedade de mecanismos que podem ser mecânicos (velocidade, passo, travões), aerodinâmicos (posicionamento do rotor) ou electrónicos (controlo da carga). Os aerogeradores modernos utilizam dois diferentes princípios de controlo aerodinâmico

para limitar a extracção de potência à potência nominal do aerogerador. Estes controlos denominam-se controle *estol* e de *passo*.

1. Controle estol

O controle estol é um sistema passivo que reage à velocidade do vento. As pás do rotor são fixas em seu ângulo de passo e não podem girar em torno de seu eixo longitudinal. O ângulo de passo é escolhido de forma que, para velocidades de vento superiores a velocidade nominal, o escoamento em torno do perfil da pá do rotor descola da superfície da pá (estol), reduzindo as forças de sustentação e aumentando as forças de arrasto. Sob todas as condições de ventos, superiores à velocidade nominal, o escoamento em torno dos perfis das pás do rotor é, pelo menos parcialmente, descolado da superfície, produzindo menores forças de sustentação e elevadas forças de arrasto.

2. O controle de passo

O controle de passo, por sua vez, é um sistema activo que normalmente necessita de uma informação vinda do controlador do sistema. Sempre que a potência nominal do gerador é ultrapassada, devido a um aumento da velocidade do vento, as pás do rotor giram em torno do seu eixo longitudinal. As pás mudam o seu ângulo de passo para reduzir o ângulo de ataque. Esta redução do ângulo de ataque diminui as forças aerodinâmicas actuantes e, conseqüentemente, a extracção de potência. Para todas as velocidades do vento superiores à velocidade nominal, o ângulo é escolhido de forma que a turbina produza apenas a potência nominal.

e) As torres

Sustentam e posicionam o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento. É uma estrutura de grande porte e de elevada contribuição no custo inicial do sistema. Geralmente, as torres são fabricadas de metal.

4. Metodologia

O presente trabalho basear-se na pesquisa bibliográfica feita a algumas bibliotecas analisando se também em materiais disponíveis na internet.

- ✓ Para além disso, estagiar-se-á no ME (Ministério da Energia) especificamente na DNER (Direcção de Energias Novas e Renováveis), para buscar mais conhecimentos sobre área de energias, bem como me inteirar dos trabalhos que têm sido desenvolvidos.
- ✓ Utilizar-se o método descritivo porque vai-se fazer uma descrição das principais questões que estão ligados ao tema em estudo nas praias de Tofinho (Inhambane) e da praia da Ponta de Ouro (Maputo);
- ✓ De dados recolhidos pela RISO e DNER e usando o método estatístico de Weibull, far-se-á uma leitura dos gráficos construídos na base das velocidades ao longo dos anos (2007-2008) nas estações do Tofinho e da Ponta de Ouro.
- ✓ Por fim produzir um relatório científico.

5. Resultados e produtos de pesquisas desenvolvidos em Moçambique

5.1 Rede de estações de superfície para colecta de dados

As estações de superfície para a colecta de dados no nosso país são usadas as estações da praia de Tofinho (na província de Inhambane), a estação da praia da Costa de Sol (cidade de Maputo) por fim a estação da Ponta de Ouro (província de Maputo) [8].

5.3.1. Tofinho

A região do Tofô se encontra na região Sul de Moçambique, a norte da Província de Inhambane. O período compreendido entre 24 de Outubro e 4 de Dezembro, não houve registo devido a uma falha no armazenamento da informação no cartão de memória. Os ventos na região do Tofô são predominantemente de SE (Sudeste) a NE (Nordeste).

As médias de velocidade registadas durante o período de medições são:

Mean wind speed:	7.0 m/s
Mean power density (@ air density 1.225 kg/m ³):	350 W/m ²
Weibull fit parameters (A; k)	7.7 m/s 2.1
Max wind speed (10 min avg / gust)	22 m/s 26 m/s

Tabela 1: Características da velocidade do vento medidos á uma altura de 29 m na praia de Tofinho Fonte: RISO

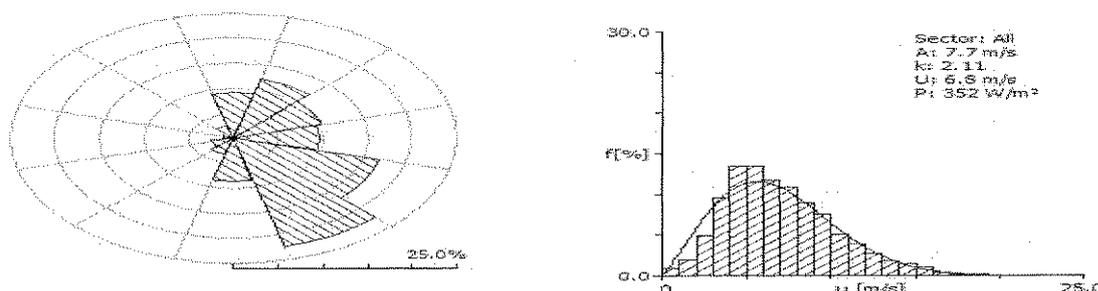


Fig.7.Representacao gráfica e análise da direcção do vento (rosa do vento) e velocidade do vento (histograma) a 29m de altura na praia de Tofinho. (RISO e DNER)

5.3.2. Ponta do Ouro

A região da Ponta de Ouro se encontra na região Sul de Moçambique, a Sul da Província de Maputo. Segundo a RISO, de dados fornecido pela DNER, a turbina eólica que funciona a uma altura de 29m teve problemas na recolha de dados nos meses de Junho -Julho de 2007 e que este problema nunca foi identificado.

As médias de velocidade registadas durante o período de medições são:

Mean wind speed:	6.0 m/s
Mean power density (@ air density 1.225 kg/m ³):	210 W/m ²
Weibull fit parameters (A; k):	6.7 m/s 2.5
Max wind speed (10 min avg / gust):	18 m/s 29m/s

Tabela 2: Características da velocidade do vento medidos á uma altura de 29m Fonte: RISO e DNER

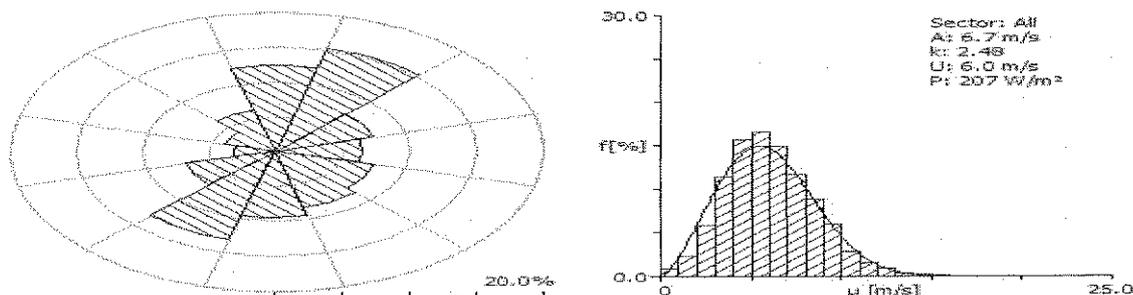


Fig.8 Representação gráfica e análise da direcção do vento (rosa do vento) e velocidade do vento (histograma) a 29m de altura na praia de Ponta de Ouro. (RISO e DNER)

As características de análise estatísticas da velocidade do vento, medidas pela turbina eólica a uma altura de 29 m foram feitas com um intervalo de 10 minutos, a velocidade do vento e a direcção do vento são apresentados na figura acima. A rosa do vento faz a leitura dos dados na direcção e velocidade do vento na direcção NNE e SSW. Somente uma pequena parte, o vento provem da direcção Este (E) do mar (RISO). É de realçar que estas medições, foram apenas feitas no menor período de tempo em relação a aquilo que deveria ter sido feito, para que os mesmos tivessem uma maior confiabilidade em termos económicos. A distribuição de Weibull é o método mais utilizado para se realizar o tratamento estatístico de histogramas relativos ao comportamento dos ventos, como pode se verificar dos gráficos relativo a distribuição das densidades a praia de Tofinho apresenta melhor a velocidade média do vento em comparação a praia de Ponta de Ouro.

6. Vantagens e Desvantagens da Tecnologia Eólica

6.1 Principais vantagens

As principais vantagens da *Energia Eólica* são as seguintes:

Vantagens para a sociedade em geral

- ✓ É inesgotável;
- ✓ Não emite gases poluentes nem gera resíduos;
- ✓ Diminui a emissão de gases de efeito de estufa (GEE).

Vantagens para as comunidades onde se inserem os Parques Eólicos

- ✓ Os parques eólicos são compatíveis com outros usos e utilizações do terreno como a agricultura e a criação de gado;
- ✓ Criação de emprego;
- ✓ Geração de investimento em zonas desfavorecidas;
- ✓ Benefícios financeiros (proprietários e zonas camarárias).

Vantagens para o estado

Reduz a elevada dependência energética do exterior, nomeadamente a dependência em combustíveis fósseis;

- ✓ Poupança devido à menor aquisição de direitos de emissão de CO₂ por cumprir o protocolo de Quioto e directivas comunitárias e menores penalizações por não cumprir;
- ✓ Possível contribuição de cota de GEE para outros sectores da actividade económica;
- ✓ É uma das fontes mais baratas de energia podendo competir em termos de rentabilidade com as fontes de energia tradicionais.

Vantagens para os promotores

- ✓ Os aerogeradores não necessitam de abastecimento de combustível e requerem escassa manutenção, uma vez que só se procede à sua revisão em cada seis meses.
- ✓ Excelente rentabilidade do investimento. Em menos de seis meses, o aerogerador recupera a energia gasta com o seu fabrico, instalação e manutenção.

6.2 Principais Desvantagens

- ✓ A intermitência, ou seja, nem sempre o vento sopra quando a electricidade é necessária, tornando difícil a integração da sua produção no programa de exploração; .
- ✓ Provoca um impacto visual considerável, principalmente para os moradores em redor, a instalação dos parques eólicos gera uma grande modificação da paisagem;

- ✓ Impacto sobre as aves do local: principalmente pelo choque destas nas pás, efeitos desconhecidos sobre a modificação de seus comportamentos habituais de migração;
- ✓ Impacto sonoro: o som do vento bate nas pás produzindo um ruído constante (43dB (A)). As habitações mais próximas deverão estar, no mínimo a 200m de distância.

7. Considerações Finais

Os resultados deste estudo ainda são insatisfatórios pois o período analisado e a quantidade de dados disponíveis para o estudo da velocidade do vento e validação do procedimento de cálculo são considerados pequenos, o que limita o alcance da previsão. Os valores médios da previsão de velocidade média de vento apresentam uma boa aproximação com os valores reais. O planeamento energético deve enxergar, para uma aplicação coerente e passível para o Desenvolvimento Sustentável pode e deve ser objectivo do planeamento energético sem que haja perda de qualquer natureza para a sociedade. Pelo contrário, conseguindo ganhos ainda maiores em áreas antes envolvidos e que serão ganhos ainda maiores para gerações futuras que usufruirão destas tecnologias.

No entanto, ainda há bastante trabalho a ser feito, a fim de se diminuir as incertezas e ampliar a confiabilidade da geração eólica, em Moçambique.

7.1. Recomendações

Com a crescente procura de recursos energéticos e desenvolvimento socioeconómico do país, é urgente que se faça um estudo mais profundo ao longo do território nacional acerca da abundância de recursos energéticos disponíveis e exploráveis. As instituições de pesquisa e de investigação sobre a disponibilidade de recursos eólicos devem ser publicados para que se faça um estudo mais pormenorizado acerca dos mesmos, visto que há uma crescente procura.

Em Moçambique, a capacidade instalada ainda è muito pequena ou inexistente quando comparada aos países líderes em geração eólica. No entanto, políticas de incentivos estão começando a produzir os primeiros resultados e espera se um crescimento da exploração deste recurso nos próximos anos. Para dar suporte a esse crescimento, torna-se necessário a formação de recursos humanos

8. Referências Bibliográficas

- [1] ALEXANDRE JOÃO APPIO, ENERGIA EÓLICA EVOLUÇÃO E PERSPECTIVA NO BRASIL, Canoas, Dezembro de 2001
- [2] CEPEL, 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Ed. CEPEL, Rio de Janeiro, RJ.
- [3] Halliday Resnik, et al, Física 1, 1999, 3 edição
- [4] Henrique Cortez Série: Consciência e Meio Ambiente Tema: Aquecimento Global e Água, 2007
- [5] IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp).
- [6] Jonathas Luiz de Oliveira Bernal, “Modelagem para o Aproveitamento Sustentável dos Biocombustíveis, Energia Eólica e Solar dentro do PIR Local: estudo de Caso do PIR da Região de Araçatuba” em www.energiaeolica.com.br
- [7] Meteorologia e climatologia, Mario Adeimo Varejão-Silva, Recife, 2005
- [8] Ministério da Energia (Moçambique), “*Estatística de Energia 2000-2005*”, 2007
- [9] *O Plano Estratégico da Direcção de Energia 2008 - 2012*, DEP, Direcção de Estudos e Planificação, Maputo, Moçambique
- [10] Ricardo Dutra, Energia Eólica Princípios e Tecnologias (CRESESB) em www.energiaeolica.com.br
- [11] Rui M.G. Castro, Energias Renováveis e Produção Descentralizada INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA Março de 2007 (edição 3)
- [12] Support for Wind Power Development in Mozambique by (RISO and DNER)
- [13] Equações e parâmetros básicos em www.energiaeolica.com.br
- [14] Dutra, Ricardo Maques “Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA” [Rio de Janeiro] 2007