



Serviço Brasileiro de *Respostas Técnicas*

dossiê técnico

Energia Eólica

Lorena de Oliveira Silva

Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico - CDT/UnB





Serviço Brasileiro de **Respostas Técnicas**

dossiê técnico

Energia Eólica

O Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT fornece soluções de informação tecnológica sob medida, relacionadas aos processos produtivos das Micro e Pequenas Empresas. Ele é estruturado em rede, sendo operacionalizado por centros de pesquisa, universidades, centros de educação profissional e tecnologias industriais, bem como associações que promovam a interface entre a oferta e a demanda tecnológica. O SBRT é apoiado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e de seus institutos: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT.



TÊCPAR



FIERGS SENAI



SENAI



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA



**Centro de Apoio ao
Desenvolvimento
Tecnológico**

Dossiê Técnico	SILVA, Lorena de Oliveira Energia Eólica Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico - CDT/UnB 9/2/2012
Resumo	Abordagem sobre energia eólica: tipos de sistemas eólicos; funcionamento; aplicações e utilizações, conversão em energia (mecânica e elétrica); mecanismos de geração dos ventos; maquinário utilizado, processo de obtenção, infra estrutura necessária, legislação, instalações e patentes e outros assuntos pertinentes ao tema.
Assunto	GERAÇÃO, PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE ORIGEM EÓLICA (VENTO)
Palavras-chave	<i>Eletricidade; energia elétrica; energia eólica; equipamento; geração de energia; legislação; lei; máquina; rotor turbina; vento</i>



Salvo indicação contrária, este conteúdo está licenciado sob a proteção da Licença de Atribuição 3.0 da Creative Commons. É permitida a cópia, distribuição e execução desta obra - bem como as obras derivadas criadas a partir dela - desde que dado os créditos ao autor, com menção ao: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - <http://www.respostatecnica.org.br>

Para os termos desta licença, visite: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

Sumário

1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Energia eólica	3
1.2 Energia renovável	3
2 TIPOS DE SISTEMAS EÓLICOS	4
2.1 Rotores de eixo vertical	4
2.2 Rotores de eixo horizontal	4
3 FUNCIONAMENTO	5
4 COMPONENTES DO SISTEMA EÓLICO	7
5 APLICAÇÕES E UTILIZAÇÕES	9
5.1 Sistemas isolados	9
5.2 Sistemas híbridos	9
5.3 Sistemas integrados à rede	9
6 CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DA ENERGIA DOS VENTOS EM ENERGIA ELÉTRICA	9
6.1 Grupos eólicos-elétricos	10
7 MECANISMO DE GERAÇÃO DOS VENTOS	11
7.1 Tipos de ventos	12
7.1.1 Ventos globais	12
7.1.2 Ventos de superfície	13
7.1.3 Ventos locais	13
8 EQUIPAMENTOS	13
9 MÁQUINAS	14
10 LEGISLAÇÃO	15
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	15
REFERÊNCIAS	16
ANEXOS	17

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

1.1 Energia eólica

“A energia eólica é a energia que provém do vento. O termo eólico vem do latim *aeolicus*, pertencente ou relativo a Éolo, e, portanto, pertencente ou relativo ao vento.” (WIKIPÉDIA, 2011).

A energia eólica tem origem na energia solar. É uma forma de energia cinética produzida pelo aquecimento diferenciado das camadas de ar, originando uma variação da massa específica e gradientes de pressão (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

Além disso, também é influenciada pelo movimento de rotação da Terra sobre o seu eixo e depende significativamente de influências naturais, como: continentalidade, maritimidade, latitude, altitude (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

“A energia eólica é hoje considerada uma das mais promissoras fontes naturais de energia, principalmente porque é renovável, ou seja, não se esgota. Além disso, as turbinas eólicas podem ser utilizadas tanto em conexão com redes elétricas como em lugares isolados.” (BASE SOLAR ENERGIA SUSTENTÁVEL, c2009).

Na atualidade, segundo Base Solar Energia Sustentável (c2009) utiliza-se a energia eólica para mover aerogeradores - grandes turbinas colocadas em lugares de muito vento:

Essas turbinas têm a forma de um catavento ou um moinho. Esse movimento, através de um gerador, produz energia elétrica. É possível ainda a utilização de aerogeradores de baixa tensão quando se trate de requisitos limitados de energia elétrica.

No Brasil, a energia eólica é bastante utilizada para o bombeamento de água na irrigação, mas quase não existem usinas eólicas produtoras de energia elétrica. No final de 2007 o Brasil possuía uma capacidade de produção de 247 MW, dos quais 208 MW foram instalados no decorrer de 2006. O Brasil é o país da América Latina e Caribe com maior capacidade de produção de energia eólica (BASE SOLAR ENERGIA SUSTENTÁVEL, c2009).

1.2 Energia renovável

De acordo com Santos (2006) as energias existentes atualmente, são divididas basicamente em dois tipos de acordo com as suas fontes:

Uma delas é a energia de fonte não renovável onde se pode dizer que são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e se extinguem com a sua utilização como, por exemplo, os combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) e o urânio, que é a matéria-prima necessária para obter a energia resultante do processo de fusão nuclear.

O outro tipo de energia utilizada em larga escala é a energia renovável onde não é possível estabelecer um fim temporal para a sua utilização como, por exemplo, o calor emitido pelo sol, a existência do vento, das marés ou dos cursos de água sendo assim consideradas, justamente, inesgotáveis, mas limitadas em termos da quantidade de energia que é possível extrair em cada momento.

As fontes de energia renováveis ainda são pouco utilizadas devido aos custos de instalação, à inexistência de tecnologias e redes de distribuição experimentadas e, em geral, ao desconhecimento e falta de sensibilização

para o assunto por parte dos consumidores e dos municípios. As fontes de energias renováveis surgem como uma alternativa ou complemento às convencionais (SANTOS, 2006).

2 TIPOS DE SISTEMAS EÓLICOS

2.1 Rotores de Eixo Vertical

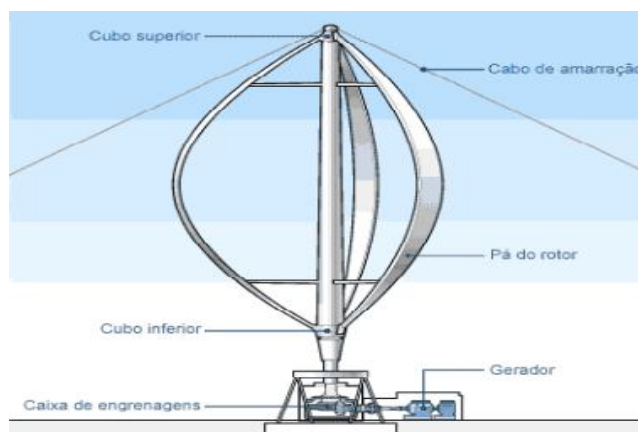


Figura 1 - Turbina de eixo vertical
Fonte: (LAYTON, c2011)

Em geral, segundo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2008) os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devido às forças de *Coriolis*.

Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (*lift*) e por forças de arrasto (*drag*). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são *Darrieus*, *Savonius* e turbinas com torre de vórtices. Os rotores do tipo *Darrieus* são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

2.2 Rotores de Eixo Horizontal

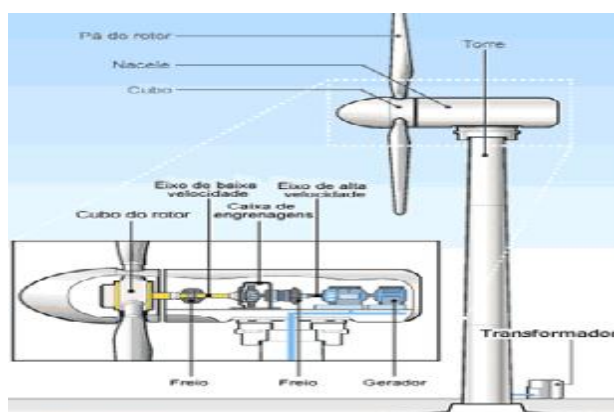


Figura 2 - Turbina de eixo horizontal
Fonte: (LAYTON, c2011)

De acordo com Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2008) 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*):

Um corpo que obstrui o movimento do vento sofre a ação de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direção do escoamento (forças de arrasto). 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) (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

Segundo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2008):

Os rotores que giram predominantemente sob o efeito de forças de sustentação permitem liberar muito mais potência do que aqueles que giram sob efeito de forças de arrasto, para uma mesma velocidade de vento.

Os rotores de eixo horizontal ao longo do vento (aerogeradores convencionais) são predominantemente movidos por forças de sustentação e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Tais rotores podem ser constituídos de uma pá e contrapeso, duas pás, três pás ou múltiplas pás (*multivane fans*). Construtivamente, as pás podem ter as mais variadas formas e empregar os mais variados materiais. Em geral, utilizam-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada.

Quanto à posição do rotor em relação à torre, o disco varrido pelas pás pode estar a jusante do vento (*down wind*) ou a montante do vento (*up wind*). No primeiro caso, a “sombra” da torre provoca vibrações nas pás. No segundo caso, a “sombra” das pás provoca esforços vibratórios na torre. Sistemas a montante do vento necessitam de mecanismos de orientação do rotor com o fluxo de vento, enquanto nos sistemas a jusante do vento, a orientação realiza-se automaticamente (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

Os rotores mais utilizados para geração de energia elétrica são os de eixo horizontal do tipo hélice, normalmente compostos de 3 pás ou em alguns casos (velocidades médias muito altas e possibilidade de geração de maior ruído acústico) 1 ou 2 pás (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

3 FUNCIONAMENTO

Segundo Rossi e Oliveira [200-?]:

O funcionamento de uma turbina eólica envolve vários campos do conhecimento, incluindo meteorologia, aerodinâmica, eletricidade, controle, bem como a engenharia civil, mecânica e estrutural (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

Para Rossi e Oliveira [200-?] o princípio de funcionamento baseia-se na conversão da energia cinética:

Que é resultante do movimento de rotação causado pela incidência do vento nas pás do rotor da turbina em energia elétrica. As pás das máquinas modernas são dispositivos aerodinâmicos com perfis especialmente desenvolvidos, equivalentes às asas dos aviões, e que funcionam pelo princípio físico da sustentação (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

De acordo com Laboratório de Ambiente Marinho e Tecnologia ([200-?]):

A energia do vento é uma forma indireta de energia solar. O vento é gerado pelo aquecimento não homogêneo da atmosfera, que é uma consequência das irregularidades da superfície terrestre, da rotação da terra (noite *versus* dia) e da forma quase esférica do nosso planeta.

As massas de ar mais quentes sobem na atmosfera e geram zonas de baixa pressão junto à superfície da terra. Como consequência, massas de ar frio deslocam-se para essas zonas de baixa pressão e dão origem ao vento (LABORATÓRIO DE AMBIENTE MARINHO E TECNOLOGIA, [200-?]).

Segundo Laboratório de Ambiente Marinho e Tecnologia ([200-?]), as turbinas eólicas convertem a energia cinética do vento em energia mecânica:

A energia mecânica pode ser utilizada em tarefas específicas, ou convertida em energia elétrica num gerador. A conversão da energia do vento em eletricidade é feita de um modo muito simples: a energia do vento faz girar as pás da turbina que por sua vez fazem rodar um eixo, este eixo põe em funcionamento o gerador, onde campos magnéticos convertem a energia rotacional em eletricidade.

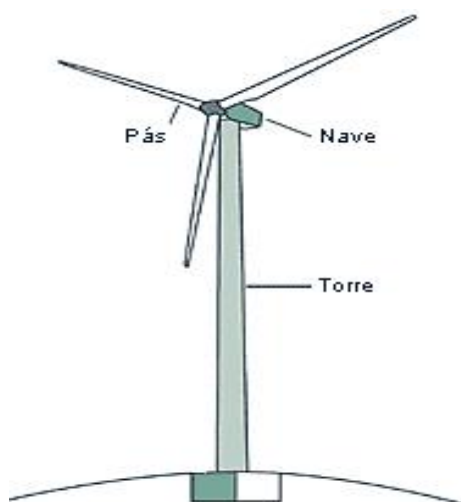


Figura 3 - Turbina eólica
Fonte: (LAMTEC, [200-?])

Existem turbinas de vários tamanhos e de várias potências. As pequenas turbinas com menos de 50kw servem normalmente para alimentar casas, antenas de telecomunicações, bombas de água, etc. As turbinas de maior potência (existem turbinas de vários MW) são geralmente agrupadas em parques eólicos e a eletricidade por elas gerada é introduzida na rede de distribuição elétrica.

A estrutura base de uma turbina permanece a mesma independentemente do tamanho ou da potência em causa. Uma turbina é constituída por uma torre, no cimo da qual está um compartimento chamado nave que serve de suporte ao rotor que pode ter 2 ou 3 pás. A nave serve também para albergar todo o equipamento elétrico: o gerador, os aparelhos de controlo de potência e outros equipamentos mecânicos que estão ligados ao rotor (LABORATÓRIO DE AMBIENTE MARINHO E TECNOLOGIA, [200-?]).

Segundo o Laboratório de Ambiente Marinho e Tecnologia ([200-?]):

Quando a velocidade do vento ultrapassa um dado valor, tipicamente de 3 a 4m/s, o controlador faz com que a turbina comece a trabalhar. Acima da velocidade de corte, que é cerca de 25m/s, o sistema de controlo automaticamente desliga a turbina e espera até que o vento diminua para uma velocidade de trabalho. Cada turbina tem uma velocidade ótima de funcionamento à qual corresponde o máximo de energia gerada. Esta velocidade difere de aparelho para aparelho, mas está normalmente

compreendida entre os 13 e os 16m/s (LABORATÓRIO DE AMBIENTE MARINHO E TECNOLOGIA, [200-?]).

Na maioria das turbinas as pás rodam a uma velocidade de cerca de 20 a 60 revoluções por minuto (eixo de baixa velocidade). A caixa de velocidades aumenta estas revoluções para cerca de 1200 a 1500 por minuto (eixo de alta velocidade), que são as necessárias para que o gerador produza eletricidade (LAMTEC, [200-?]).

Quando o vento muda de direção, o motor interno de controlo de direção faz girar a nave e o rotor de modo a que as pás fiquem de frente para o vento, permitindo assim um maior aproveitamento (LAMTEC, [200-?]).

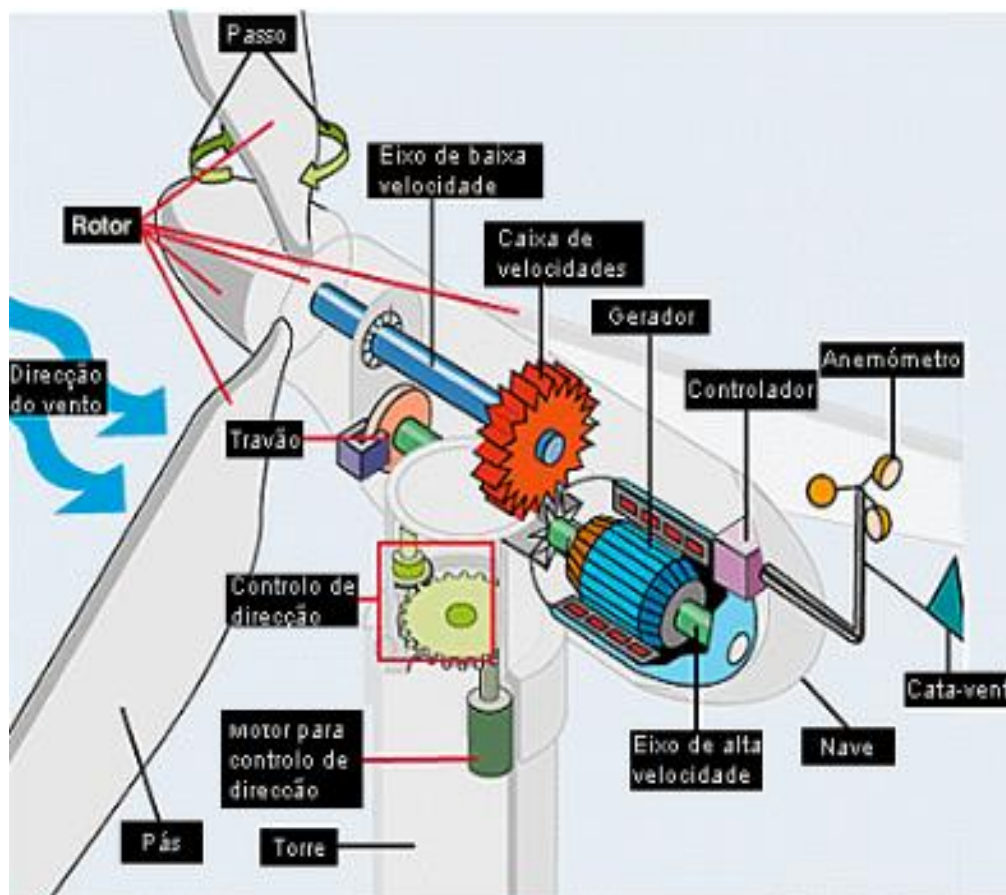


Figura 4 - Funcionamento de uma turbina eólica
Fonte: (LAMTEC, [200-?])

4 COMPONENTES DO SISTEMA EÓLICO

De acordo com Associação Brasileira de Energias Renováveis e Meio Ambiente (c2007) os componentes específicos do sistema são:

- Vento: Disponibilidade energética do local destinado à instalação do sistema eólico.
- Rotor: Responsável por transformar a energia cinética do vento em energia mecânica de rotação.
- Transmissão e Caixa Multiplicadora: Responsável por transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até a carga. Alguns geradores não utilizam este componente; neste caso, o eixo do rotor é acoplado diretamente à carga.
- Gerador Elétrico: Responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica.
- Mecanismo de Controle: Responsável pela orientação do rotor, controle de velocidade, controle da carga, etc.

- Torre: Responsável por sustentar e posicionar o rotor na altura conveniente.
- Sistema de Armazenamento: Responsável por armazenar a energia para produção de energia firme a partir de uma fonte intermitente.
- Transformador: Responsável pelo acoplamento elétrico entre o aerogerador e a rede elétrica.
- Acessórios: São os componentes periféricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E MEIO AMBIENTE, c2007).

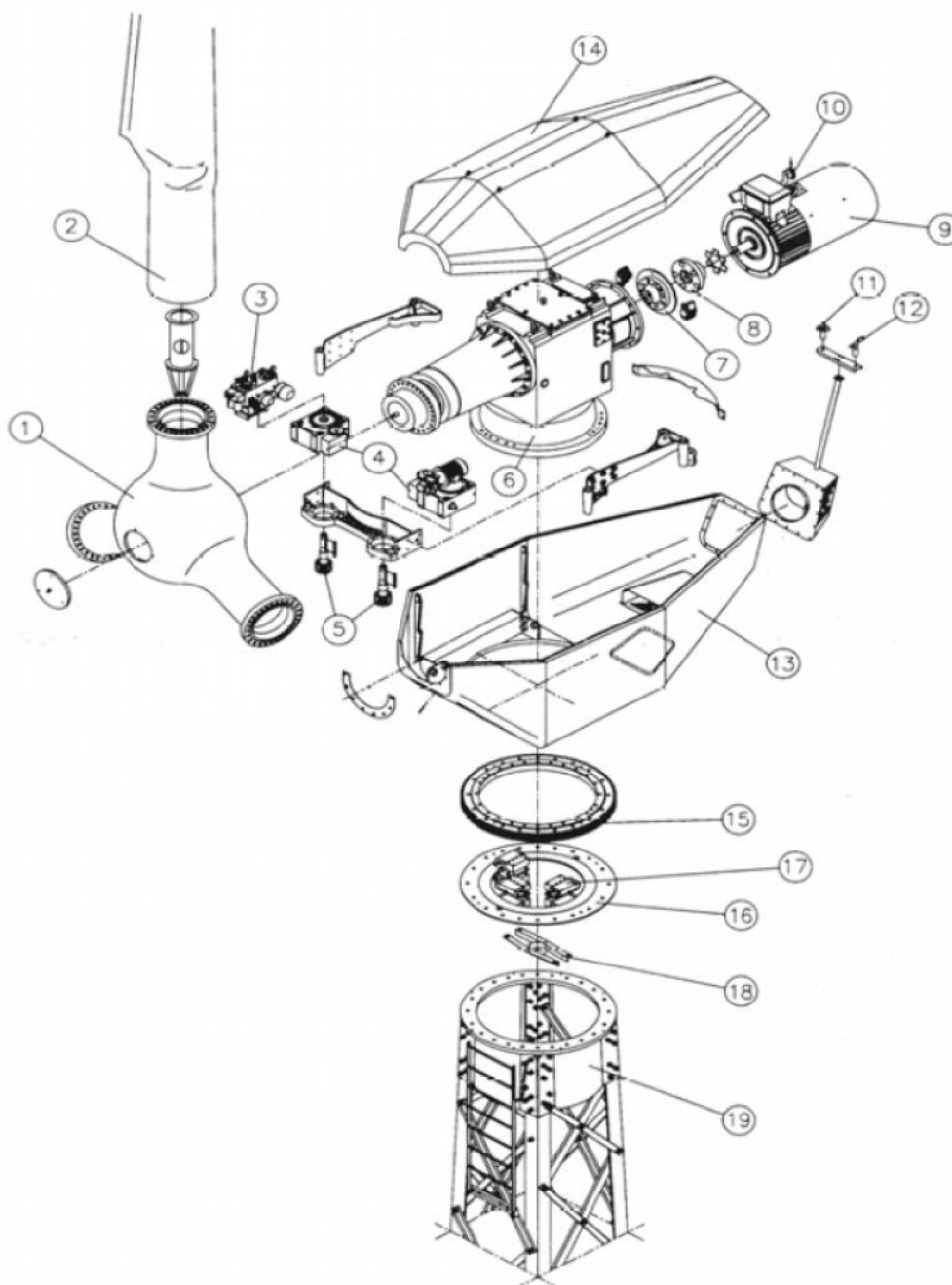


Figura 5 - Apresentação das diversas partes constituintes de um sistema eólico
 Fonte: (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008)

- 1 - Cubo do rotor; 2 - Pás do rotor; 3 - Sistema hidráulico; 4 - Sistema de posicionamento da nacele; 5 - Engrenagem de posicionamento; 6 - Caixa multiplicadora de rotação; 7- Disco de freio; 8 - Acoplamento do gerador elétrico; 9 - Gerador elétrico; 10 - Sensor de vibração; 11 - Anemômetro; 12 - Sensor de direção; 13 - Nacele, parte inferior; 14 - Nacele, parte superior; 15 - Rolamento do posicionamento; 16 - Disco de freio do posicionamento; 17 - Pastilhas de freio; 18 - Suporte do cabo de força; 19 - Torre (CENTRO

DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

5 APLICAÇÕES E UTILIZAÇÕES

Segundo Moreira Júnior (2009) o princípio eólico pode ser utilizado em sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Esses mecanismos devem ser dimensionados e instalados conforme as condições climáticas, geográficas e consoantes:

5.1 Sistemas Isolados

Em geral, esses sistemas apresentam uma forma de armazenamento de energia que pode ser feito através de baterias, ou por meio de energia potencial gravitacional, com elevação de água, até um reservatório, para utilização posterior. O armazenamento de energia não é utilizado no caso de irrigação direta, pois em tal caso a água é toda utilizada nessa atividade (MOREIRA JÚNIOR, 2009).

5.2 Sistemas Híbridos

Quando desconectados da rede convencional, esses sistemas utilizam fontes de geração de energia alternativa, como turbinas eólicas, movidas a diesel, módulos fotovoltaicos, etc. É um sistema de maior complexidade para a utilização e melhoria das várias fontes energéticas, o que exige um controle de todos os mananciais do sistema. Em geral, os sistemas híbridos são utilizados em usinas de médio e grande porte (MOREIRA JÚNIOR, 2009).

5.3 Sistemas Integrados à Rede

Apresentam aerogeradores em grande número, geralmente de grande potência individual, não necessitando de armazenamento de energia, tendo-se em vista que toda a geração será disponibilizada à rede elétrica.

Sua instalação pode ser em terra ou no mar (*Off-shore*). As instalações desse tipo, apesar do maior custo de transporte, instalação e manutenção, apresentam a vantagem de disporem de ventos mais velozes e de melhor regime. Sua utilização vem aumentando, consideravelmente, que não dispõe áreas adequadas para esse fim (restrições ambientais sobre a utilização do solo). Tem havido grandes investimentos tecnológicos, destinados à adaptação das turbinas eólicas convencionais para uso no mar, ao mesmo tempo em que se elaboram estudos referentes às condições ambientais favoráveis à sua instalação.

Quando da aplicação do sistema, é necessária a observação dos equipamentos destinados à utilização da energia fornecida. Em sistemas autônomos isolados, de pequeno porte, utilizam-se aparelhos de baixa tensão e corrente contínua (CC). Para equipamentos que operam em corrente alternada (CA), como os eletrodomésticos convencionais, usa-se um inversor (MOREIRA JÚNIOR, 2009).

6 CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DA ENERGIA DOS VENTOS EM ENERGIA ELÉTRICA

Conforme Rossi e Oliveira ([200-?]):

Um aerogerador é um dispositivo destinado a converter a energia cinética contida no vento em energia elétrica. A quantidade de energia gerada depende:

- Da velocidade do vento;

- Do diâmetro do rotor;
- Do rendimento de todo o sistema.

A conversão da energia dos ventos em energia mecânica consiste em uma técnica relativamente simples, bastando apenas que se tenha um potencial eólico disponível e que resista aos caprichos da natureza.

A turbina eólica, devido à característica de velocidade variável do vento, não consegue transformar a energia do vento em energia mecânica mantendo a rotação do eixo constante (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

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 acionando o gerador elétrico transforma uma parte desta energia mecânica de rotação em energia elétrica (RÜNCOS, [200-?]).

Em função desta característica é necessário construir um grupo gerador eólico-elétrico que seja capaz de gerar energia elétrica e entregar a rede com frequência constante:

Outra característica importante do grupo gerador eólico-elétrico é a baixa rotação desenvolvida pela turbina eólica. Estas características fazem com que a tecnologia de projeto e fabricação do grupo eólico-elétrico apresente particularidades diferentes dos grupos convencionais de geração de energia elétrica (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

Existem, basicamente, duas tecnologias aplicadas atualmente aos grupos eólico-elétrico, assíncrono e síncrono (RÜNCOS, [200-?]).

6.1 Grupos Eólico-Elétricos

De acordo com Rüncos ([200-?]), no grupo assíncrono o eixo da turbina eólica está acoplado ao eixo de um gerador assíncrono trifásico, que pode ser com rotor de gaiola ou rotor bobinado:

Como os geradores assíncronos são máquinas elétricas que apresentam velocidade de operação bem superior a da turbina, exigem que entre a turbina eólica e o gerador seja acoplado um amplificador de velocidade. O grupo eólico-elétrico assíncrono quando conectado a rede através de um conversor de frequência ou quando duplamente alimentado se torna bastante flexível atendendo perfeitamente as duas características da conversão eólica elétrica da energia cinética dos ventos (RÜNCOS, [200-?]).

Segundo Rüncos ([200-?]), no síncrono o eixo da turbina eólica está acoplada ao eixo de um gerador síncrono trifásico, que pode ser com circuito de excitação independente no rotor ou ímãs permanentes no rotor:

Nesta tecnologia, nos grupos de menor potência (menor do que 1MW), o gerador síncrono apresenta velocidade de operação bem superior à da turbina exigindo um amplificador de velocidade acoplado entre a turbina e o gerador. Porém nos grupos de maior potência (maior do que 1MW) normalmente o gerador síncrono é fabricado com um número muito grande de pólos e para uma frequência nominal baixa, fazendo com que sua velocidade de operação seja da mesma ordem da turbina, não necessitando do multiplicador de velocidade, mas sim de um acoplamento planetário entre a turbina e o gerador (RÜNCOS, [200-?]).

A transformação da energia mecânica de rotação em energia elétrica através de equipamentos de conversão eletromecânica é um problema tecnologicamente dominado e, portanto, encontram-se vários fabricantes de geradores disponíveis no mercado (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

De acordo com Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2008), 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 de tais sistemas, sobretudo em caso de pequena escala de produção, isto é, necessitam ter alta confiabilidade.

Atualmente, existem várias alternativas de conjuntos moto-geradores, entre eles: Geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos, geradores de comutador de corrente alternada. Cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens que devem ser analisadas com cuidado na sua incorporação a sistemas de conversão de energia eólica (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

7 MECANISMOS DE GERAÇÃO DOS VENTOS

Segundo Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2008) a energia eólica pode ser considerada como uma das formas em que se manifesta a energia proveniente do Sol, isto porque os ventos são causados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera:

Essa não uniformidade no aquecimento da atmosfera deve ser creditada, entre outros fatores, à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra. As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares. Consequentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir, 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. Existem locais no globo terrestre nos quais os ventos jamais 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° 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 surge os ventos continentais ou periódicos e compreendem as monções e as brisas (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

“As monções são ventos periódicos que mudam de direção aproximadamente a cada seis meses. Em geral, as monções sopram em determinada direção em uma estação do ano e em sentido contrário em outra estação”. (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

De acordo com o Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2008), em função das diferentes capacidades de refletir, absorver e emitir o calor recebido

do Sol inerente a cada tipo de superfície (tais como mares e continentes) surge às 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 refletir 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 à 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 noturno.

Sobreposto ao sistema de geração dos ventos descrito anteriormente encontram-se os ventos locais, que são originados por outros mecanismos mais específicos. Eles são ventos que sopram em determinadas regiões e são resultantes das condições locais, que os tornam bastante individualizados. A mais conhecida manifestação local dos ventos é observada nos 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 noturno, a direção em que sopram os ventos é novamente revertida e o ar frio das montanhas desce e se acumula nos vales CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

7.1 Tipos de ventos

De acordo com Santos (2006):

O vento é a principal característica da movimentação das massas de ar existentes na atmosfera e o seu surgimento está diretamente relacionado às variações das pressões de ar que por sua vez é originada através da radiação solar e das fases de aquecimento das massas de ar.

Em torno de 1 a 2% da energia solar é convertida em energia dos ventos. As regiões onde esse tipo de conversão de energia inicia-se são nas regiões existentes na linha Equador, onde a latitude é 0° e ocorre um maior aquecimento nas massas de ar e é estendida para as regiões norte e sul do planeta.

Os ventos podem ser classificados de acordo com suas origens, sendo assim divide-se em ventos globais, de superfície e locais (SANTOS, 2006).

7.1.1 Ventos globais

Segundo Santos (2006):

O vento que sobe desde o Equador para os pólos, onde circula pelas camadas mais altas da atmosfera, por volta dos 30° de latitude, a força de *Coriolis* evita que continue em direção aos pólos. Nessa latitude encontra-se uma zona de altas pressões, pelo que o ar começa a descer de novo.

Quando o vento sobe desde o Equador origina uma zona de baixas pressões perto do

solo o que atrai ventos do Norte e do Sul. Nos pólos, devido ao ar frio, são originadas zonas de altas pressões. A Troposfera é onde ocorrem todos os fenômenos meteorológicos assim como o efeito de estufa.

As direções dominantes do vento são importantes na localização dos aerogeradores, a geografia local também pode influenciar as direções.

Estes ventos são considerados como ventos geostróficos, e ocorrem a partir da altitude dos 1.000 m, a velocidade pode ser medida por balões meteorológicos (SANTOS, 2006).

7.1.2 Ventos de superfície

Os ventos são muito influenciados pela superfície terrestre até altitudes de 100 metros. A intensidade do vento é reduzida pela rugosidade da superfície da terra e pelos obstáculos. As direções perto da superfície são diferentes das dos ventos geostróficos, devido à rotação da terra (SANTOS, 2006).

7.1.3 Ventos locais

Segundo o Santos (2006):

Apesar da importância dos ventos locais na determinação dos ventos dominantes numa determinada área, as condições climáticas locais podem influenciar as direções do vento. A direção do vento é influenciada pela soma dos efeitos globais e locais. Quando os ventos globais são suaves, os ventos locais podem dominar o regime de ventos (SANTOS, 2006).

Os ventos locais podem ser subdivididos em:

- A - Brisas marinhas:

Durante o dia a terra aquece mais rapidamente pela influência do sol que o mar. O ar sobe e circula para o mar, criando uma depressão ao nível do solo, que atrai o ar frio do mar. A essa atração é dado o nome de brisa. Normalmente ao entardecer há um período de calma, quando as temperaturas do solo e do mar se igualam. Durante a noite os ventos sopram em sentido contrário, tendo a brisa terrestre, normalmente, velocidades inferiores, uma vez que a diferença entre a temperatura do solo e do mar é menor.

- B - Ventos da montanha ou vale:

Um exemplo é o vento da montanha a qual tem origem nos declives orientados ao norte no hemisfério sul e ao sul no hemisfério norte. Quando o ar próximo das montanhas está quente a densidade do ar diminui, sobe seguindo a superfície do declive. Durante a noite a direção do vento inverte-se, passando a descer o declive. Se o fundo do vale for inclinado o ar pode ascender e descender pelo vale, a este efeito é dado o nome de vento canhão (SANTOS, 2006).

8 EQUIPAMENTOS

Segundo Rossi e Oliveira ([200-?]), os equipamentos que compõem um sistema eólico autônomo para geração de energia elétrica são:

- Turbina eólica: já descrita, a partir da energia cinética dos ventos, funciona como gerador de energia elétrica;
- Banco de baterias: composto por uma ou mais baterias, normalmente, baterias chumbo-ácido 12V seladas; funciona como elemento armazenador de energia elétrica para uso durante os períodos de calmaria, quando não há disponibilidade de vento;
- Controlador de carga: dispositivo eletrônico que protege as baterias contra sobrecarga ou descarga excessiva;
- Inversor: dispositivo eletrônico que converte a energia elétrica em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de forma a permitir a utilização de eletrodomésticos convencionais.

Alguns sistemas pequenos não empregam inversores e utilizam cargas (luminárias, TV) alimentadas diretamente por corrente contínua (CC).

Considera-se que a turbina eólica já produz energia em um nível de tensão CC compatível com o do banco de baterias; caso contrário são necessários outros dispositivos para efetuar a conversão (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

9 MÁQUINAS

Segundo Rossi e Oliveira ([200-?]), existem diversos tipos de máquinas eólicas. Atualmente as máquinas de grande porte disponíveis são em maioria tripás de eixo horizontal:

Entretanto, existem máquinas bipás, monopás, quadripás e multipás de eixo horizontal, além das máquinas *Darrieus* e *Savonius* de eixo vertical, bem como diversos outros dispositivos. Essas inúmeras variantes são normalmente utilizadas apenas para máquinas de pequeno porte (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

Segundo Márcio et al. (2008), as turbinas eólicas de eixo horizontal podem ser de uma, duas, três, quatro pás ou multipás:

A de uma pá requer um contrapeso para eliminar a vibração. As de duas pás são mais usadas por serem fortes, simples e mais baratas do que as de três pás. As de três pás, no entanto, distribui as tensões melhor quando a máquina gira durante as mudanças de direção do vento. As multipás não são muito usadas, pois são menos eficientes (MÁRCIO et al., 2008).



Figura 6 - Turbina eólica de eixo horizontal
Fonte: (MÁRCIO et al., 2008)

Turbinas eólicas do eixo vertical: não são muito usadas, pois o aproveitamento do vento é menor. As mais comuns são três: *savonius*, *darrieus* e molinete.

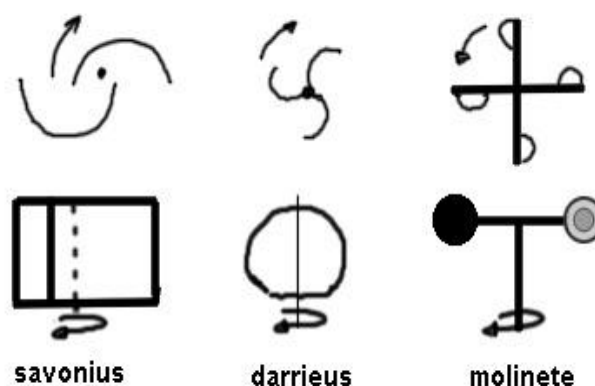


Figura 7 - Turbina eólica de eixo vertical
Fonte: (MÁRCIO et al., 2008)

“Os rotores de eixo horizontal são mais comuns, e grande parte das experiências internacionais estão voltadas para a sua utilização. São predominantemente movidos por forças de sustentação (atuam perpendicularmente ao escoamento) e devem possuir

mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento.” (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

“Já as turbinas de eixo vertical captam a energia dos ventos sem precisar alterar a posição do rotor com a mudança na direção dos ventos. Podem ser movidos por forças de sustentação e por forças de arrasto.” (ROSSI; OLIVEIRA, [200-?]).

10 LEGISLAÇÃO

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Normativa nº 65, de 25 de maio de 2004 (*). Estabelece a energia assegurada de pequenas centrais hidrelétricas e a energia de referência de usinas eólicas e usinas termelétricas a biomassa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 de novembro de 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2004065.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Normativa nº 271, de 3 de julho de 2007. Altera a redação dos arts. 1º e 3º da Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 de julho de 2007. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2007271.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Normativa nº 320, de 10 de junho de 2008. Estabelece critérios para classificação de instalação de transmissão como de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada - ICG para o acesso à Rede Básica do Sistema Interligado Nacional de centrais de geração a partir de fonte eólica, biomassa ou pequenas centrais hidrelétricas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 de junho de 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2008320.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Normativa nº 391, de 15 de dezembro de 2009. Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas eólicas, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de fevereiro de 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009391.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

Conclusões e recomendações

Recomenda-se o contato direto com as instituições abaixo para obter mais informações sobre energia eólica.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL

SGAN 603 módulo J - Brasília - DF
 CEP: 70830-030
 Telefone: (61) 2192-8600
 Email: <web@aneel.gov.br>
 Site: <<http://www.aneel.gov.br>>

Associação Brasileira de Energia Eólica - ABEEÓLICA

Av. Paulista, nº 1337 - 16º andar, Sala 162 - Bela Vista São Paulo - SP
 CEP: 01311-200
 Telefone: (11) 2368-0680 / 2368-0682 / Fax: (11) 2368-0685
 Email: <abeeolica@abeeolica.org.br>
 Site: <<http://www.abeeolica.org.br>>

Associação Brasileira de Energias Renováveis e Meio Ambiente - ABEAMA

Rua Dom Gerardo 63/309 - Centro - Rio de Janeiro - RJ
 CEP: 20090-030
 Telefone: (21) 2512-1260
 Email: <abeama@abeama.org.br>

Site: <<http://www.abeama.org.br>>

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB

Av. Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ

CEP: 21941-911

Telefone: (21) 2598-6174 / 2598-6187 / Fax: (21) 2280-3537

Email: <crese@cepel.br>

Site: <<http://www.cresesb.cepel.br>>

Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

Avenida Presidente Vargas, 409 - 13º andar - Rio de Janeiro - RJ

CEP: 20071-003

Telefone: (21) 2514-5151

Site: <<http://www.eletrabras.com.br>>

Para informações complementares, recomenda-se a consulta das Respostas Técnicas do SBRT sobre energia eólica.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Turbina eólica**. Resposta elaborada por Fabíula Sousa Amorim. Brasília: CDT/UnB, 2009. (Código da Resposta: 15327). Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Construção de hélice de turbina eólica**. Resposta elaborada por Fabíula Sousa Amorim. Brasília: CDT/UnB, 2009. (Código da Resposta: 15325). Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Turbina eólica**. Resposta elaborada por Lorena de Oliveira Silva. Brasília: CDT/UnB, 2009. (Código da Resposta: 13514). Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Energia eólica**. Resposta elaborada por Marcos Rogério Tomás. Curitiba: TECPAR, 2008. (Código da Resposta: 11474). Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Fabricação de gerador eólico**. Resposta elaborada por Hermes José Gonçalves Júnior; Fabiana Freitas; Raquel Stumpf. Porto Alegre: SENAI/RS, 2008. (Código da Resposta: 9643). Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Energia eólica**. Resposta elaborada Maria Luiza Costa. Brasília: CDT/UnB, 2008. (Código da Resposta: 9136). Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Energia eólica**. Resposta elaborada por Vânia Maria Corrêa de Campos. Belo Horizonte: CETEC, 2007. (Código da Resposta: 6064). Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E MEIO AMBIENTE - ABEAMA. **Energia eólica**. Rio de Janeiro, c2007. Disponível em: <<http://www.abeama.org.br/pagina.asp?pag=ereolica>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

BASE SOLAR ENERGIA SUSTENTÁVEL. **Energia eólica**. Santo André, SP, c2009. Disponível em: <<http://basesolar.com.br/eolica.asp>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. **Energia eólica**: princípios e aplicações. [S.l.], 2008. Disponível em: <http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/7/mefmi_003-05.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2012.

ENERGIA EÓLICA. IN: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. [S.l.], 2011. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica>. Acesso em: 09 jan. 2012.

LABORATÓRIO DE AMBIENTE MARINHO E TECNOLOGIA - LAMTEC. **Energias renováveis**: eólica. [200-?]. Disponível em: <<http://www.lamtec-id.com/energias/eolica.php>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

LAYTON, Julia. **Como funciona a energia eólica**. [S.l.], traduzido por HowStuffWorks Brasil, c1998-2011. Disponível em: <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/energia-eolica1.htm>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

MÁRCIO et al. **Energia eólica**. São Carlos, SP: Escola Estadual Professor José Juliano Netto, 1997. Disponível em: <<http://www.cdcc.sc.usp.br/escolas/juliano/eolica.html>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

MOREIRA JÚNIOR, Fernando Delgado. **Viabilidade técnica/econômica para produção de energia eólica, em grande escala, no Nordeste Brasileiro**. 53 p. 2009. Monografia (Especialista em energia eólica)-Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2009. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/tccfernandodelgado.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

ROSSI, Pedro Henrique Jochims; OLIVEIRA, Cássia Pederiva de. **Perguntas frequentes sobre energia eólica**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, [200-?]. Disponível em: <<http://www.feng.pucrs.br/ce-eolica/faq.php?q=7>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

RÜNCOS, F. et al. **Geração de energia eólica**: tecnologias atuais e futuras. [S.l., 200-?]. Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-geracao-de-energia-eolica-tecnologias-atuais-e-futuras-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

SANTOS, Alison Alves dos. **Projeto de geração de energia eólica**. Projeto de Graduação (Engenharia Industrial Mecânica)-Universidade Santa Cecília, Santos, 2006. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/mecanica/polari/energiaeolica-tcc.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

WOBBE, Aloys. **Instalação de energia eólica**. BR n. PI0515874-5, 23 set. 2005, 12 ago. 2008. Disponível em: <http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=BR&NR=PI0515874A&KC=A&FT=D&date=20080812&DB=EPODOC&locale=en_EP>. Acesso em: 09 jan. 2012.

Anexos

Instalação

Patente - Instalação de energia eólica

Ressalta-se que os direitos de propriedade do titular da patente devem ser consultados na legislação vigente e pertinente ao assunto, de modo a evitar reproduções não autorizadas de direitos pertencentes a terceiros. Segue o link da Lei n. 9.279, de 14 de maio de 1996, que trata de propriedade industrial: <http://www.inpi.gov.br/menu-esquerdo/patente/pasta_legislacao>.

Recomenda-se a leitura da patente no site do Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI, disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/menu-superior/pesquisas>>, uma vez que o

mesmo pode ser consultado na área de pesquisar base de patente, utilizando o número do pedido: PI0515874-5.

Aconselha-se a análise do status legal da patente junto ao INPI <www.inpi.gov.br> para verificação da necessidade ou não de autorização do titular para efeitos de reprodução do processo ou produto citado.

A patente PI0515874-5 refere-se a uma instalação de energia eólica compreendendo uma torre, uma gôndola montada rotativamente sobre a torre, um gerador disposto no interior da gôndola e tendo um rotor e um estator, e pelo menos uma ventoinha na região da gôndola. A fim de reduzir a entrada de umidade, areia e outras substâncias estranhas para o interior da gôndola e o ruído de ventoinha que é extremamente audível, a ventoinha está localizada no interior da gôndola e aspira ar do exterior através de uma fresta de ar que é aberta no fundo e fica entre a torre e a gôndola.

É apresentado abaixo um exemplo de sistema eólico (FIG. 8).

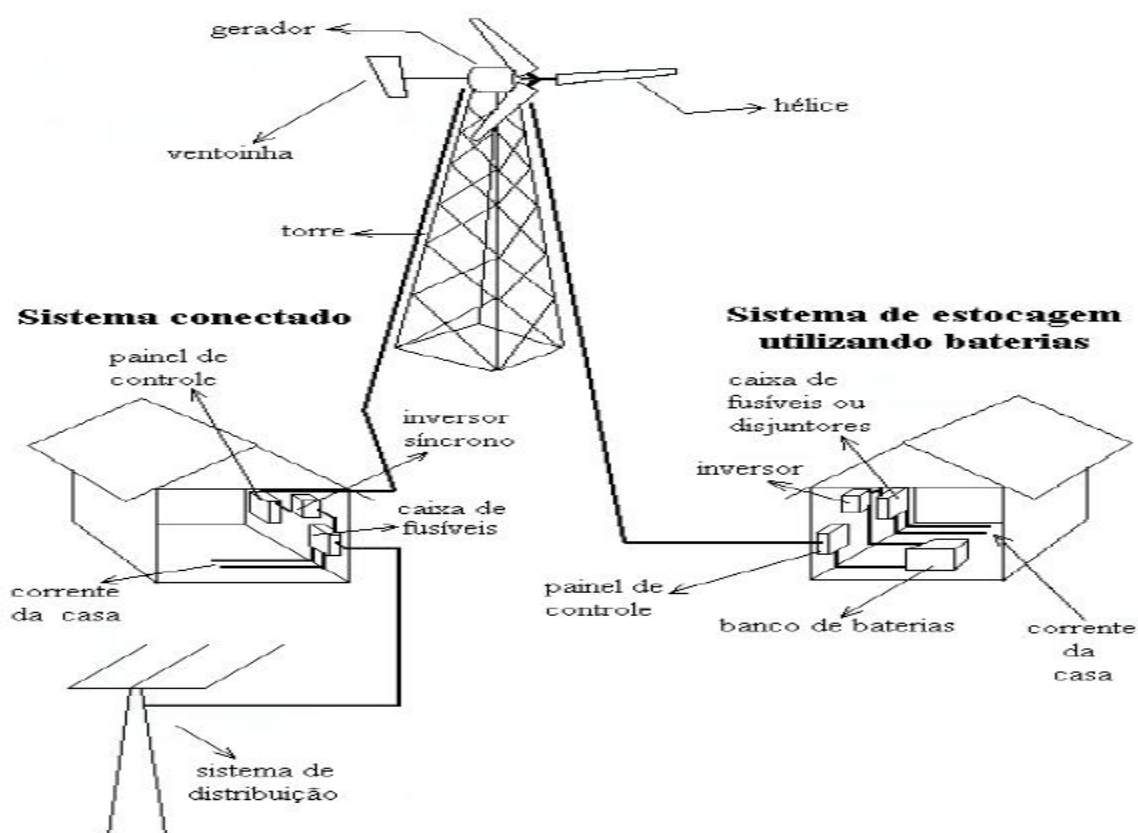


Figura 8 - Exemplo de instalação de um sistema eólico
Fonte: (SANTOS, 2006)

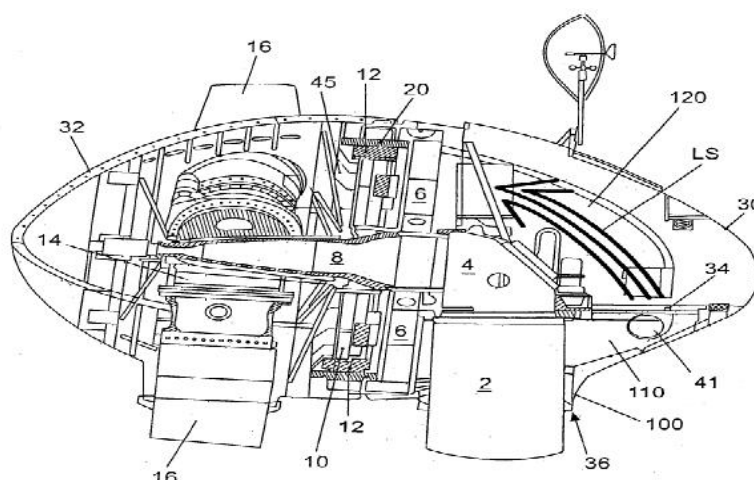


Figura 9 - Instalação de energia eólica
Fonte: (WOBBE, 2008)



Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

www.respostatecnica.org.br