

## CAPÍTULO 20

ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS  
PARA OS CAMPOS GERAIS:  
o potencial da energia eólica



*energia*

Jorim Sousa das Virgens Filho  
Maysa de Lima Leite

### Introdução

O homem, ao longo de sua história, vem dominando gradativamente a energia disponível na natureza transformando-a, a fim de poder aproveitá-la. Nos primórdios, o homem utilizava apenas a energia dos próprios músculos. Com o decorrer do tempo passou a usar também outras fontes de energia, tais como a força animal (boi, cavalo), o fogo (queima de madeira), a água (rodas d'água) e o vento (moinhos).

A partir do século XVIII, com a **Revolução Industrial**, o homem passou a utilizar as chamadas fontes de energia modernas, de rendimento muito mais elevado (carvão mineral, petróleo e gás natural, hidroeletricidade, energia atômica ou nuclear), que juntas respondem por cerca de 95% de toda a energia utilizada no mundo. Desse total, cerca de 80% advém de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e 20% de fontes de energias não fósseis (hidroeletricidade, energia nuclear). Algumas fontes de energia são conhecidas como energias renováveis, pois não se extinguirão, enquanto outras fontes, como o petróleo e carvão, são chamadas não-renováveis - um dia acabarão.

Juntamente com o progresso material, baseado no uso crescente de energia, surgiram problemas como a deterioração do meio ambiente e o esgotamento iminente da mais palpitante fonte de energia: o **petróleo**. Surgiram também questionamentos como: Existem soluções tecnológicas para esses problemas? Está o homem condenado a abandonar o caminho que tem seguido nos últimos séculos, caminho este que tornou possível melhorar suas condições de vida?

Diante desta situação, vem à tona a necessidade de pesquisas envolvendo a possibilidade de utilização de **energias alternativas**, principalmente na agricultura, setor esse considerado como

um dos maiores consumidores. Dentro desse contexto, a energia produzida pelos **ventos**, não exaurível e aparentemente ilimitada, destaca-se como uma alternativa de grande potencialidade.

A instalação de uma turbina de 75kW na ilha de Fernando de Noronha em 1992 marcou o início do aproveitamento dos recursos eólicos para a geração de energia elétrica no Brasil. Hoje o país tem uma capacidade instalada de milhões de watts de potência, ainda muito abaixo de seu potencial.

Um outro forte apelo ao incremento do uso da energia eólica na matriz energética brasileira é o ambiental, uma vez que esta alternativa energética não polui, é inesgotável e reduz a exploração dos combustíveis fósseis. Por conseqüência, esta forma de produção de energia elétrica contribui para a redução dos gases de efeito estufa, estando em consonância com a Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças do Clima (CQNUMC) e seu protocolo de Quioto.

O Governo Federal recentemente adotou diversas medidas orientadas a aumentar a participação das fontes alternativas renováveis complementares na produção nacional de eletricidade, concentrando no Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) todos os esforços dirigidos ao alcance dos objetivos planejados. O PROINFA inicialmente determina a instalação de 3,3 GW igualmente divididos entre as Tecnologias de Biomassa, Energia Eólica e Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH's).

Um passo pioneiro no estudo da energia eólica no Brasil foi a elaboração do atlas eólico do nordeste, publicado pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) com o apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 1998. Outro marco foi o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, lançado pelo Centro de Pesquisas Elétricas (CEPEL), órgão filiado a Eletrobrás.



Vários esforços vêm sendo empregados no sentido de ampliar o conhecimento sobre a capacidade eólica do país, com a confecção de atlas eólicos de alguns estados, tais como o Rio Grande do Sul, Ceará, Bahia e Rio de Janeiro (Camargo 2001, 2001a, 2002, 2003).

### Energia e meio ambiente

Até a Idade Média o homem, utilizando-se dos recursos energéticos disponíveis na natureza por meio das técnicas e tecnologias que dominava, conseguiu satisfazer suas necessidades sem alterar significativamente o meio ambiente. Viviam de forma modesta, com um consumo moderado de energia.

A utilização intensa do carvão mineral, possibilitada principalmente pelo aparecimento da **máquina a vapor** no começo do século XIX, pode ser considerada o marco de uma nova ordem de consumo de energia e, conseqüentemente, dos impactos ambientais associados. Poucos anos depois, a utilização do petróleo e da eletricidade veio, juntamente com o carvão mineral, fundamentar no século XX as bases de uma economia mundial fortemente baseada em **combustíveis fósseis**.

A partir da Segunda Guerra Mundial, as atividades econômicas em franca expansão em vários países e a necessidade de reconstrução dos países destruídos pela guerra provocaram um aumento considerável do consumo de energia e, conseqüentemente, a exploração maciça dos recursos naturais, majoritariamente os recursos fósseis-carvão mineral e petróleo. Buscava-se o desenvolvimento de forma alheia aos próprios limites de exaustão dos recursos ambientais.

Nos últimos anos a temática ambiental tem estado no centro das discussões dos diversos segmentos da sociedade. Os diversos **problemas ambientais** são visíveis por qualquer indivíduo que todas as manhãs deixa sua casa para cuidar do seu próprio sustento e de sua família, embora nem todos tenham consciência da situação.

Segundo Reis et al. (2005), os problemas ambientais da atualidade mais fortemente relacionados com a energia são:

? **A poluição do ar urbano**, principalmente associada à queima do carvão mineral e dos derivados de petróleo na indústria, no transporte e na geração de eletricidade. A concentração desses **poluentes na atmosfera** tem causado inúmeras doenças como bronquites crônicas, ataques de asma, rinite alérgica, entre outras doenças respiratórias e cardíacas.

? **A chuva ácida** refere-se ao efeito da poluição causada por reações ocorridas na atmosfera quando acontece associação de água com o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), formando o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e o ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>). No Brasil esse problema ocorre de forma significativa na região metropolitana de São Paulo e no Rio Grande do Sul, próximo às termelétricas movidas a carvão, cuja poluição atinge até o Uruguai. Trata-se de um problema sem fronteiras, uma vez que os ácidos podem ser carregados pelo vento a distâncias superiores a 1.000 km.

? **O efeito estufa e o aquecimento global** devem-se à modificação na intensidade da radiação térmica emitida pela superfície da Terra, por causa da concentração de **gases estufa** (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, metano, CFCs - os clorofluorcarbonetos) na atmosfera. Estima-se que nos últimos cem anos, a temperatura média da superfície da Terra elevou-se entre 0,4 e 0,8°C.

? **A destruição de florestas por queimadas** tem um duplo efeito ambiental, pois emite dióxido de carbono e ao mesmo tempo reduz a quantidade de água evaporada do solo e produzida pela transpiração das plantas, afetando o ciclo hidrológico.

? **A degradação marinha e costeira**, assim como de lagos e rios, vem de **materiais poluentes**: esgotos sanitários e industriais, descartados nos cursos de água e que são causa de 75% deste tipo de degradação.

### Fontes de energia

A distinção entre fontes convencionais, fontes não-convencionais e fontes exóticas não é perfeitamente clara em todos os casos, mas é interessante tentar classificá-las desta forma.

Entendem-se como **fontes convencionais** aquelas cuja tecnologia está completamente desenvolvida a custos considerados aceitáveis pelos padrões atuais de consumo. Além da **energia hidrelétrica**, que é renovável, incluem-se nesta categoria as fontes com as quais a sociedade já está habituada, que são:

? **petróleo e gás natural** (fósseis);

? **carvão** (fóssil);

? **biomassa** (renovável).

Como **fontes não-convencionais** entendem-se aquelas cuja tecnologia já está demonstrada mas que ainda apresentam problemas de aceita-



ção na sociedade moderna, quer por razões econômicas, quer por não se conciliarem com os padrões de consumo vigentes. Estas fontes são:

- ? **marés** (renovável);
- ? **ventos** (renovável);
- ? **ondas** (renovável);
- ? **“xisto” ou folhelho pirobetuminoso** (fóssil);
- ? **geotérmica** (renovável);
- ? **fissão nuclear** (não-renovável);
- ? **energia solar** (renovável): produção de calor;
- ? **energia solar** (renovável): produção de eletricidade.

Finalmente, **fontes exóticas** são aquelas cuja tecnologia ainda não está totalmente demonstrada e, por conseguinte, os custos e sua aceitação pela sociedade não podem ainda ser avaliados adequadamente:

- ? **calor dos oceanos** (renovável);
- ? **fusão nuclear** (não-renovável).

No momento, as mais importantes fontes alternativas de energia, devido à maior possibilidade de aplicação em curto prazo, são a **energia eólica** e a **solar**, que têm sido aplicadas tanto para suprimento de sistemas isolados como para operação em paralelo com um sistema elétrico de potência.

Sistemas eólicos e fotovoltaicos autônomos são tecnologias consolidadas para suprimento de eletricidade em locais isolados, longe da rede de distribuição e, em alguns casos, não tão isolados, em que estes possam ser conectados à rede elétrica de distribuição local. Se bem dimensionados, eles proporcionam um serviço confiável e diminuem a necessidade do suprimento de combustível para geradores a diesel. Os locais para implantação de sistemas híbridos solar-eólico devem ser selecionados com bastante cuidado, principalmente com relação à energia eólica, para se ter certeza de que a melhor velocidade de vento foi encontrada em uma determinada área selecionada. Medidas das propriedades dos recursos eólico e solar em uma localidade são importantes para evitar erros de projeto dos sistemas de geração a serem implantados no local.

### Ventos

O vento é o movimento do ar em relação à superfície terrestre. É gerado pela ação de **gradientes de pressão atmosférica**, mas sofre influências modificadoras do movimento de **rotação da Terra**, da **força centrífuga** ao seu movimento e do **atrito** com a superfície terrestre.

Podem ser classificados em **horizontais** ou **verticais** (ascendentes e descendentes). Os ventos verticais formam-se quando a camada de ar quente que está próxima ao solo sobe, por ser menos densa, dando lugar a uma camada de ar frio, que ao se aquecer também subirá. Esse movimento é mais forte durante o dia, quando o Sol está aquecendo o solo e o ar acima dele. Ao entardecer, a temperatura cai e o vento tende a diminuir. No caso dos ventos horizontais, o processo é semelhante: quando a massa de ar que está sobre uma região se aquece, ela fica menos densa criando centros de baixa pressão atmosférica. O ar mais frio que está nas regiões próximas é mais denso, formando um centro de pressão atmosférica mais elevada em relação ao outro ponto e tende a se deslocar para aquele, gerando o movimento horizontal.

Já os ventos que sopram em **escala planetária** são resultantes de um aquecimento maior nas **regiões equatoriais** que nas **polares**. O ar dos pólos desloca-se, junto à superfície, em direção ao equador, para substituir o ar que subiu e que se desloca, nas grandes altitudes, em direção aos pólos. Evidentemente a rotação da Terra exerce influência considerável sobre estes movimentos, resultando um sistema de ventos bastante complexo (Hirata 1985).

Apesar de seu caráter nômade, os ventos numa região qualquer da Terra possuem características médias mensais ou anuais bastante regulares. A velocidade média mensal não se desvia mais do que 10 ou 15% da média anual. Em média, como a temperatura, os ventos são bastante reproduzíveis (Goldemberg 1979).

A análise do comportamento dos ventos é um dos principais parâmetros que norteiam o **planejamento agropecuário** e **urbano** de uma região. O conhecimento da direção predominante dos ventos, velocidades médias e possíveis fenômenos eólicos cíclicos que ocorrem num local, fornece informações importantes para o posicionamento de quebra-ventos, orientação na construção de estábulos, distribuição das diferentes culturas no campo e principalmente no posicionamento e dimensionamento das torres para a utilização desta fonte de energia natural. Na zona urbana, essas informações permitem a elaboração de um plano diretor racional, determinando áreas destinadas à **implantação de indústrias**, de maneira que estas não prejudiquem as áreas residenciais. Este tipo de estudo tem como objetivo fornecer as informações necessárias aos administradores responsáveis pela



região estudada para um bom **planejamento ambiental regional**.

### Energia eólica

O termo eólico ou eólio vem do grego “aiólios”, pelo latim “aeoliu” que está relacionado a **Éolo**, deus dos ventos; e diz-se daquilo que se relaciona com o vento. A energia eólica é a **energia cinética** das massas de ar em deslocamento, sendo proporcional ao cubo da velocidade do vento.

Historicamente, há evidências bastante fortes apontando os movimentos do ar na atmosfera (ventos) como uma das primeiras fontes de energia domesticada pelo homem. Desde a mais distante Antiguidade, os ventos foram usados na **navegação**. Na agricultura a história antiga nos relata a existência, no século XVII a.C., de planos ambiciosos para irrigação da Babilônia utilizando a energia dos ventos. Há registros de que na Pérsia a energia dos ventos foi usada no ano 644 da era cristã; os usos, neste caso, foram para mover água para a irrigação e moagem de grãos. Esses sistemas eólicos constituíam-se de rotores de eixo vertical. É de se notar a semelhança das aplicações da energia eólica dos tempos antigos com as preocupações atuais: irrigação e moagem de grãos em regiões distantes.

Por volta do século XIII os **sistemas eólicos** foram introduzidos na Europa, trazidos do Oriente Médio pelas **Cruzadas**. Na época existiam na Inglaterra mais de 10.000 **moinhos de vento** que eram utilizados na moagem de grãos e bombeamento de água. Estes moinhos de vento possuíam eixo horizontal do tipo que é atualmente conhecido nas paisagens da **Holanda**. Aliás, este país foi o responsável pelo desenvolvimento de uma tecnologia bastante avançada, uma vez que os moinhos eram essenciais na drenagem de suas terras com baixas altitudes e até situadas abaixo do nível do mar. O século XIX assistiu ao declínio da utilização generalizada destes moinhos de vento. Este declínio foi causado pelo aparecimento de uma, então, fonte alternativa de trabalho mecânico mais compacta e mais confiável, pois não dependia da existência dos ventos: era a máquina a vapor.

Ao longo do século XX a generalização do uso dos motores de combustão interna, utilizando derivados de petróleo, encarregou-se de reduzir drasticamente a utilização dos moinhos de vento. O ressurgimento do interesse pelos sistemas eólicos no final do século faz parte da procura de fontes alternativas de energia desencadeada pela **crise do petróleo** nos anos 70 e, evidentemente, pelas

potencialidades econômicas e ambientais que apresenta esta promissora fonte de energia.

Ao contrário do que ocorre com as fontes convencionais, como por exemplo a energia hidrelétrica, a produção de energia eólica não implica em nenhuma alteração do nível freático, contaminação, geração de resíduos ou lançamentos, bem como não são feitos grandes movimentos de terras nem inundação de áreas de valor ambiental e agrícola. Quando da instalação de um parque eólico apenas 1% da área ocupada se torna fisicamente indisponível para as atividades antes existentes ou para adoção de uma nova atividade no local. Em se tratando de aproveitamentos eólicos situados em área rural, não se registram na literatura evidências de que um parque eólico possa vir a interferir nas atividades agrícolas e de criação de gado.

Os impactos sobre a flora e a fauna situadas nas áreas de influência dos empreendimentos eólio-elétricos são muito pequenos, havendo somente alguns registros de mortes de algumas espécies de pássaros e morcegos por colisão com a torre ou pás do rotor. Estudos feitos nos Países Baixos e na Califórnia mostram que as mortes de pássaros por colisão com turbinas eólicas encontram-se em índices muito abaixo daqueles resultantes da prática da caça, colisão com linhas de transmissão e tráfego de veículos.

Apesar da geração eólio-elétrica não ocorrer na ausência total de ruídos (movimento das pás através do ar – emissão de vórtices; troca nas engrenagens dentro da caixa de transmissão e movimento do gerador elétrico), os sons lançados por uma turbina eólica não são danosos, sob o ponto de vista fisiológico, aos homens e animais: não são prejudiciais ao sistema auditivo e tampouco interferem nas atividades diárias daqueles que habitam a área de influência do parque eólico.

### Panorama da energia eólica

Os ventos representam uma abundante fonte de energia renovável, limpa e disponível em todos os lugares. A utilização desta fonte energética para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início há pouco mais de 30 anos. Através de conhecimentos da **indústria aeronáutica** os equipamentos para geração eólica evoluíram rapidamente em termos de idéias e conceitos preliminares para produtos de alta tecnologia. No início da década de 70, com a crise mundial do petróleo, houve um grande interesse de países europeus e dos Estados Unidos em desenvolver equipamentos



para produção de eletricidade que ajudassem a diminuir a dependência do petróleo e do carvão.

Quando se contabiliza o crescimento percentual anual da capacidade instalada de produção de eletricidade por fonte, verifica-se que a tecnologia de aproveitamento dos recursos eólicos, para produção de energia elétrica, vivenciou um grande desenvolvimento nos anos 1990. No entanto, este crescimento não se repartiu uniformemente entre as diversas regiões do mundo. No final dos anos 1990, a Europa detinha 70% da capacidade instalada de energia eólica no mundo, a América do Norte respondia por 19% enquanto a Ásia e o Pacífico possuíam apenas 9% dessa mesma capacidade.

Existem, atualmente, milhares de **turbinas eólicas** de grande porte em operação no mundo, com capacidade instalada da ordem de 75.000 MW. No âmbito do **Comitê Internacional de Mudanças Climáticas**, está sendo projetada a instalação de mais 55.000 MW, por volta do ano 2010. No Brasil a capacidade instalada é de aproximadamente 240 MW, com turbinas eólicas de médio e grande portes conectadas à rede elétrica. Além disso, existem dezenas de turbinas de pequeno porte funcionando em locais isolados da rede convencional para aplicações diversas - bombeamento, carregamento de baterias, telecomunicações e eletrificação rural.

Em 1999, a Companhia Paranaense de Energia (**COPEL**), publicou o mapa do potencial eólico do Estado do Paraná. Foram utilizados dados de vento de cerca de vinte **estações anemométricas** para simulações em modelo atmosférico de microescala com apresentação gráfica em ferramenta **SIG** (Sistema de Informação Geográfica).

A **Central Eólica de Palmas** foi o primeiro parque eólico instalado no sul do país e teve o início de suas atividades no ano de 1999. A central está localizada no Município de Palmas, Estado do Paraná, dispondo de uma potência instalada de 2,5 MW, usando 5 turbinas Wobben-Enercon de 500 kW. As turbinas utilizam geradores síncronos, rotores de 40 m de diâmetro e torre de 45 m de altura. Este projeto foi executado pela COPEL e Wobben-Enercon.

Pela análise das Centrais Eólicas do Paraná, órgão vinculado à COPEL, além de **Palmas** também são lugares propícios para usinas movidas a vento as regiões de **Piraí do Sul** e **Castro**, **Guarapuava** e **Pitanga**. O litoral, que em outros locais é considerado ideal, no Paraná não apresen-

tou bons resultados devido à proximidade da **Serra do Mar**, que impede a formação de ventos mais fortes e constantes.

A utilização dos recursos eólicos para a produção de energia elétrica necessita de uma análise apurada de diversos parâmetros que permitam prever a viabilidade econômica e as características técnicas e operacionais do empreendimento. O primeiro grande limitador de um aproveitamento da energia dos ventos é a existência ou não de um bom potencial eólico. A potência gerada em uma turbina eólica varia com o cubo da velocidade de vento, ou seja, qualquer variação na previsão da velocidade pode comprometer um projeto de energia eólica.

Nesse sentido, vale a pena ressaltar que tão importante quanto a aquisição correta dos dados e o cálculo dos parâmetros estatísticos, a análise dos fatores geográficos que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento é fundamental para o seu sucesso. As características do relevo (rugosidade do terreno; distribuição dos obstáculos ao longo da região) determinam fortemente o regime local dos ventos.

O potencial do aproveitamento dos ventos no Paraná para geração de energia é equivalente ao de uma **Usina de Itaipu**, a maior hidrelétrica do mundo, responsável pelo abastecimento de 26,4% do consumo nacional (Itaipu teve sua potência instalada elevada de 12,6 mil megawatts para 14 mil megawatts em maio de 2007). Estudos da COPEL apontam que a energia eólica no estado pode produzir até 11,12 mil megawatts.

### Potencial da energia eólica nos Campos Gerais do Paraná

É bastante clara a relação entre a energia eólica e a energia solar. Com apenas alguns valores aproximados, pode-se ter uma idéia das potencialidades desta fonte de energia. Estima-se em  $1,05 \times 10^{18}$  kWh por ano, a energia solar que incide sobre a face da Terra. Assumindo-se que apenas 1,5% é convertida em energia eólica ter-se-ia  $1,58 \times 10^{16}$  kWh por ano desta apreciável fonte de energia. Para a avaliação do potencial eólico de uma região faz-se necessária a coleta de dados de vento com precisão e qualidade. Em geral, os dados de vento coletados para outros usos (aerportos, estações meteorológicas, agricultura) são pouco representativos da energia contida no vento e não podem ser utilizados para a determinação da energia gerada por uma turbina eólica - que é o



objetivo principal do mapeamento eólico de uma região.

A determinação do **potencial eólico** para uma região fornece informações necessárias ao planejamento e utilização dessa fonte natural de energia de uma forma racional e sem prejuízo ao ambiente. Partindo de um levantamento global do potencial eólico pode-se selecionar regiões promissoras para as quais são realizadas avaliações mais detalhadas. Para tal análise necessita-se basicamente das **medidas de direção** e de **intensidade dos ventos**, as quais normalmente são obtidas através de um **anemômetro** de copos. Mais modernamente utilizam-se **anemógrafos** de registro contínuo (fita de papel ou magnética), colocados a 10 metros do solo. A partir do levantamento regional a escolha do local da instalação do sistema eólico é efetuada, dentre outros fatores, levando-se em conta a **topografia da região**, que influi fortemente na estrutura dos ventos que sopram dentro da camada limite inferior da atmosfera, ou seja, aproximadamente 100 metros acima da superfície terrestre.

Dentre os municípios da região dos Campos Gerais do Paraná, alguns foram apontados pelos estudos da COPEL como promissores para a produção de energia eólica. Estudos mais recentes indicam potencialidades em outras localidades dos Campos Gerais.

Com os dados horários de vento a 10 m de altura disponibilizados pelo **SIMEPAR** (Sistema Meteorológico do Paraná), compreendendo o período de 1998 a 2005, foram avaliados os potenciais energéticos para quatro pontos dos Campos Gerais do Paraná: Ponta Grossa, Lapa, Jaguariaíva e Telêmaco Borba.

Como os **aerogeradores** geralmente são instalados em alturas superiores a 10 m, os dados foram corrigidos para a altura de 50 m por meio da seguinte equação:

$$V_2 = V_1 \frac{h_2}{h_1}^{0,1429}$$

Onde,

$V_2$  = Velocidade do vento a 50m;

$V_1$  = Velocidade do vento a 10m;

$h_2$  = Altura do sensor para a medida corrigida (50m);

$h_1$  = Altura do sensor na medida original (10m).

O potencial eólico para um determinado local é estimado em  $W/m^2$  pela equação:

$$P = 0,647AV^3$$

Onde,

A = Área de captação do vento;

V = Velocidade do vento.

No entanto, para se obter o potencial médio mensal na medida  $kWh/m^2$  a equação acima foi ajustada para:

$$P = 0,0155NAV^3$$

Onde,

N = Número de dias do mês (28, 30 ou 31).

A Figura 20.1 apresenta os gráficos com a velocidade média mensal do vento a 50 m e os respectivos potenciais eólicos, oriundos do movimento cinético do vento em  $kWh/m^2$  para os pontos avaliados. Percebe-se que Ponta Grossa apresentou a melhor perspectiva, visto que as velocidades médias mensais variaram de 3,7 a 4,8 m/s, proporcionando um potencial energético mensal que oscilou entre 22 e 53  $kWh/m^2$ . A estação de coleta da Lapa apresentou velocidades entre 2,8 e 3,6 m/s que podem ser convertidas em energia, com uma potência mensal de 10 a 22  $kWh/m^2$ . Para Jaguariaíva foram encontrados valores mensais de velocidade média do vento entre 1,5 e 2,0 m/s, gerando entre 2 e 4  $kWh/m^2$ . Telêmaco Borba mostrou velocidade média de 1,6 a 2,3 m/s, disponibilizando energia de 2 a 6  $kWh/m^2$ . Sabe-se que a partir de uma velocidade média de 3 m/s um aerogerador começa a produzir energia elétrica. Porém, segundo especialistas, o ideal é que o local avaliado tenha um regime eólico em que a velocidade média do vento seja de 6 a 7 m/s. Assim, nota-se que os locais analisados em Jaguariaíva e Telêmaco Borba apresentam-se, num primeiro momento, inviáveis para o investimento na energia eólica. Contudo, Lapa e principalmente Ponta Grossa, apresentam um panorama favorável para o aproveitamento da energia do vento, uma vez que outros locais poderiam ser pesquisados onde fosse possível diminuir ainda mais o efeito de **rugosidade do solo**, que é um fator limitante para uma eficiente geração de energia elétrica advinda do vento. É importante destacar que os locais onde são medidas as velocidades de vento referem-se aos pontos em que estão situadas as estações meteorológicas do SIMEPAR. Num estudo mais detalhado, o ideal

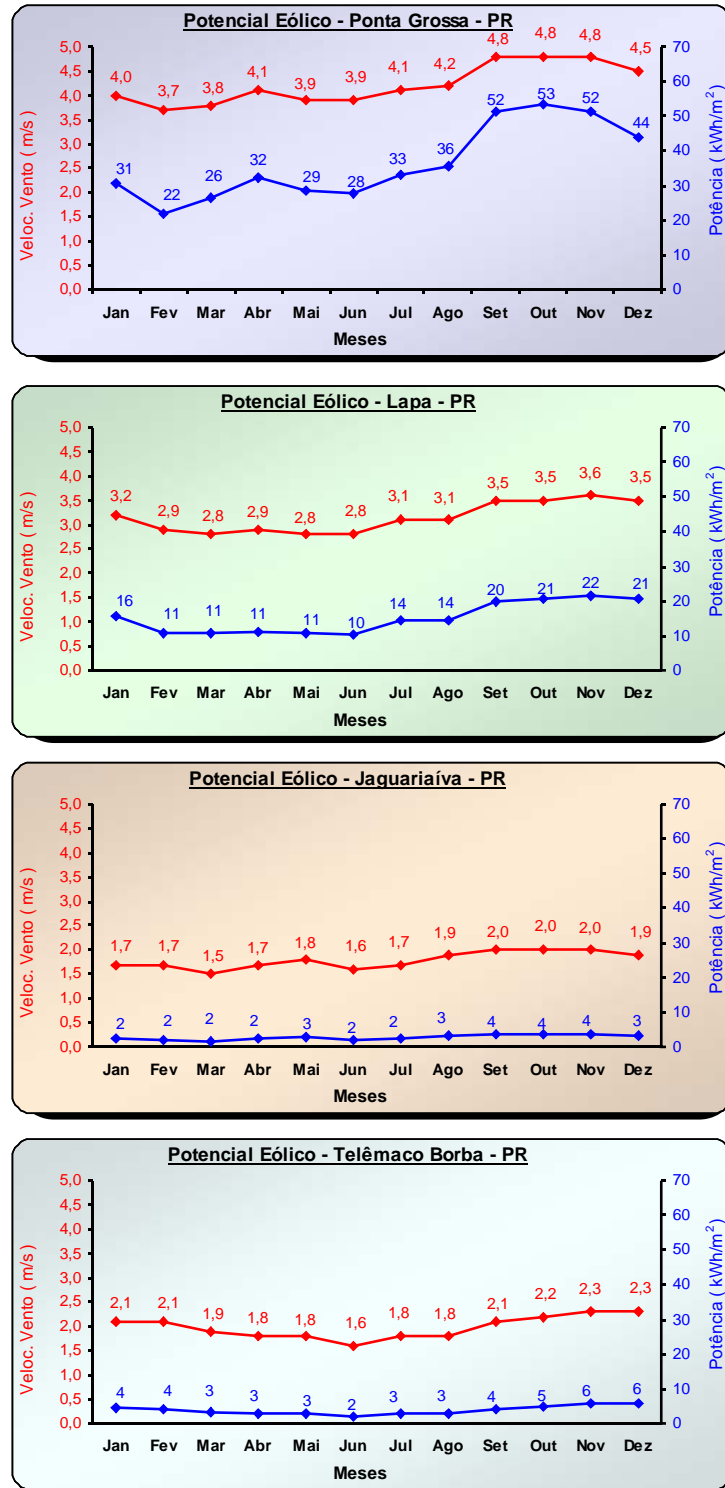


Figura 20.1: Velocidades médias (m/s) e potenciais eólicos médios (kWh/m<sup>2</sup>) mensais para as estações de medida em Ponta Grossa, Lapa, Jaguariaíva e Telêmaco Borba.

seria efetuar medições no local de instalação do aerogerador, o qual deve ser topograficamente uma região com menor barramento e obstrução dos ventos.

Na Figura 20.2 são apresentados os sentidos médios anuais do vento para as estações avalia-

das. Em Ponta Grossa, o sentido predominante foi de nordeste (NE), na Lapa de leste (E), em Jaguariaíva de sudoeste (SW), enquanto que em Telêmaco Borba o sentido principal é de sudeste (SE).

É interessante frisar que segundo levanta-

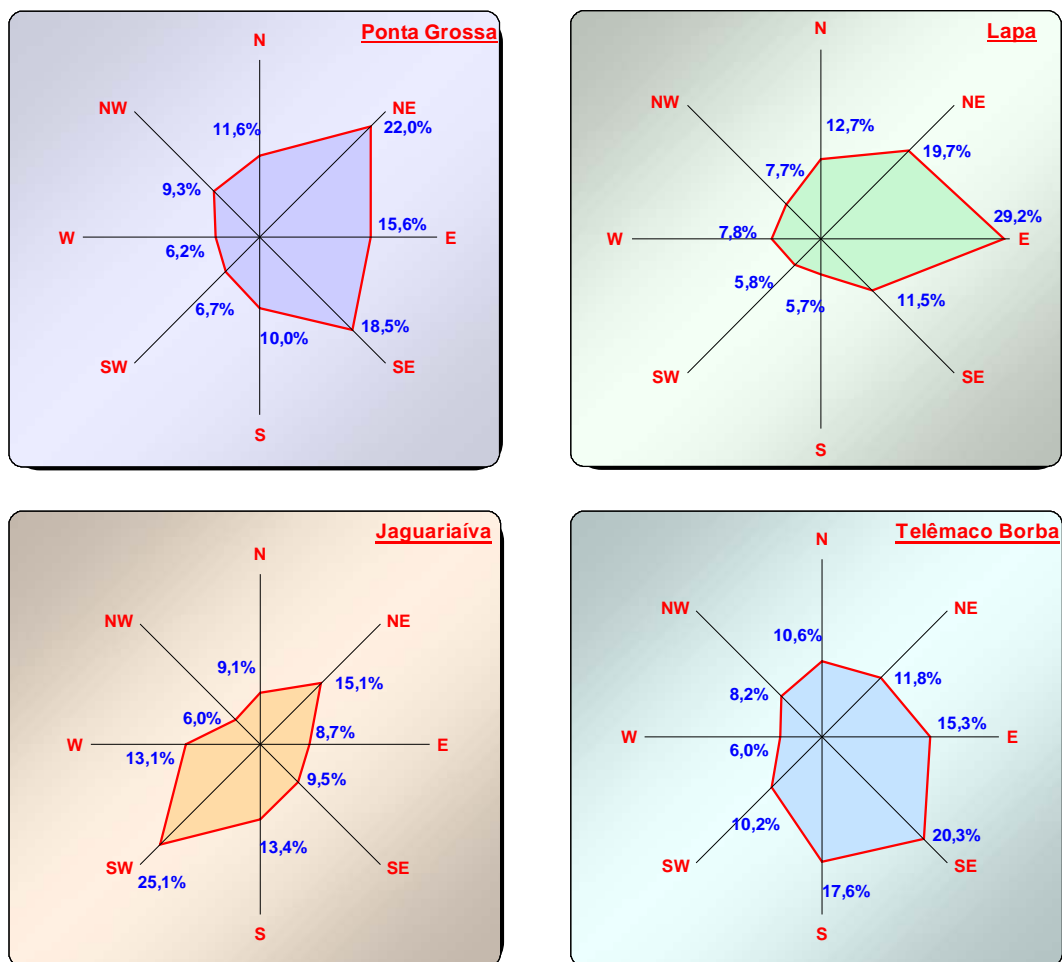


Figura 20.2: Direções médias anuais do vento para Ponta Grossa, Lapa, Jaguariaíva e Telêmaco Borba.

mentos preliminares da COPEL, na região dos Campos Gerais, locais mais propícios ao aproveitamento eólico estariam situados próximos às cidades de **Castro** e **Piraí do Sul**. Portanto os resultados aqui apresentados devem ser considerados como indicativos.

### Conclusões

Não restam dúvidas de que a utilização da energia eólica, como fonte alternativa de energia, é viável técnica e economicamente. Para aplicações locais (fazendas, postos isolados de retransmissão, localidades isoladas, etc.) pode-se prever a possibilidade do aproveitamento da energia eólica a curto e médio prazo.

Nestes casos a energia eólica poderá ser utilizada isoladamente (bombeamento de água, irrigação, geração de eletricidade em pequena

escala), em associação a outras fontes (secagem de cereais pela energia solar, etc.) ou ainda de forma complementar (irrigação, eletricidade, etc.). Na irrigação, em certas regiões, a utilização da energia eólica pode se tornar fator preponderante para uma análise econômica. Por outro lado, torna-se bastante claro que em aplicações de maior porte a utilização da energia eólica só poderá representar uma parcela considerável na **economia de combustíveis** se for formulada uma **política de incentivos** para a pesquisa, produção e comercialização do seu uso.

A utilização da energia eólica na **matriz energética** global mostra-se como uma das mais importantes opções para a geração de energia limpa e sustentável, possibilitando assim uma melhor qualidade de vida para as **futuras gerações**.





### **Referências Bibliográficas**

- CAMARGO OAA. Atlas do Potencial Eólico do Ceará. Secretaria da Infra-Estrutura do Governo, Fortaleza/CE, 2001.
- CAMARGO OAA. Atlas do Potencial Eólico da Bahia. Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia, Salvador/BA, 2001a.
- CAMARGO OAA. Atlas do Potencial Eólico do Rio Grande do Sul. Secretaria de Energia, Minas e Comunicações, Porto Alegre/RS, 2002.
- CAMARGO OAA. Atlas do Potencial Eólico do Rio de Janeiro. Secretaria de Estado de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo, Rio de Janeiro/RJ, 2003.
- GOLDEMBERG J. 1979. Energia no Brasil. 1ª.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 171p.
- HIRATA MH. 1985. Fontes novas e renováveis de energia. In : ROVERE, ÉL, ROSA, LP e RODRIGUES, AP. (coords.) Economia e Tecnologia de Energia. 1ª ed., Rio de Janeiro: Marco Zero/FINEP, cap. 3, p. 358-401.
- REIS LB, FADIGAS, EAA e CARVALHO, CE. 2005. Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Manole, 415 p.