

**Estimativa do potencial eólico no Município de Palotina - Paraná**

Maikel Jumes de Campos<sup>1</sup>, Paulo Sergio Vendramini<sup>1</sup>, Reginaldo Ferreira Santos<sup>1,2</sup>  
Luiz Inácio Chaves<sup>2</sup>, Helton Aparecido Rosa<sup>2</sup>, Samuel Nelson Melegari de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculdade Assis Gurgacz – FAG, Curso de Agronomia. Avenida das Torres n. 500, CEP: 85.806-095, Bairro FAG, Cascavel, PR.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGA – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura – Nível Mestrado, Cascavel-PR.

maikeljcampos\_@hotmail.com, paulovendramini@acd.fag.edu.br, agronomia@fag.edu.br,  
helton.rosa@hotmail.com, luizinaciochaves@yahoo.com, samuel.souza@unioeste.br

**Resumo:** O aumento na demanda por energia elétrica tem se tornado uma causa de grande preocupação entre os ambientalistas. Por essa razão surge a necessidade de explorar fontes alternativas de energias renováveis, dentre elas a energia eólica. O objetivo deste trabalho foi analisar o potencial eólico em Palotina, Pr. Os aspectos considerados para estimativa da velocidade do vento e do potencial eólico basearam-se numa serie histórica de dados armazenados nos últimos 36 anos. Avaliou-se a velocidade média mensal dos ventos na altura de 2 metros, a velocidade média sazonal, o potencial eólico para altura estação e para os níveis de 100; 200; 300; 400 e 500 metros e o potencial eólico para diferentes áreas de rotores. A potência eólica disponível foi calculado por equação convencional da literatura a partir dos dados diários das velocidades medias do vento. As estimativas iniciais obtidas do potencial eólico nos níveis de 100; 200; 300; 400 e 500 metros apresentam-se como adequados para diversas atividades agrícolas energéticas para a localidade, principalmente quando associado ao uso de um rotor de maior dimensão.

**Palavras-chave:** Vento, gerador e energia.

**Estimation of wind power in Palotina, PR**

**Abstract:** The increase in demand for electricity has become a cause for great concern among environmentalists. Hence arises the need to explore alternative sources of renewable energy, wind energy among them. The aim of this study was to analyze the wind potential in Palotina, Pr. The aspects considered for estimation of wind speed and wind energy potential based on a series of historical data stored in the last 36 years. We evaluated the monthly average speed of winds at the height of two meters, the seasonal average speed, the wind potential for high season and the levels of 100, 200, 300, 400 and 500 meters and the wind potential for different areas of rotors. The available wind power was calculated by the conventional equation of the literature from the data of daily average wind speeds. Initial estimates obtained from wind power levels of 100, 200, 300, 400 and 500 meters are presented as suitable for different agricultural activities for the energy area, particularly when associated with use of a larger rotor.

**Key words:** Wind, generator and energy.

## Introdução

A grande disponibilidade de água, no Brasil, fez com que, oportunamente, a energia elétrica gerada para a maior parte do país viesse a ser predominantemente de origem hídrica. No entanto, as mudanças climáticas e as estiagens recentes levaram a uma revisão conceitual sobre a permanência de uma matriz energética tão concentrada em uma única fonte de energia.

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades (ANEEL, 2002).

As últimas décadas têm sido um período de reflexão sobre o meio ambiente. As mudanças causadas pelo aquecimento global propagam incertezas quanto ao futuro de nosso planeta. A Terra vem passando por mudanças climáticas decorrentes do aumento da concentração de gases que provocam o efeito estufa na atmosfera. As principais fontes de emissão desses gases provêm de atividades humanas decorrentes da queima de combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão, das florestas em decomposição e do desmatamento. Essas atividades geradoras do aumento de gases do efeito estufa causam um efeito global (May et al, 2003).

Apenas duas fontes energéticas (hidráulica e petróleo) têm sido extensivamente aproveitadas. Cerca de 90% do suprimento de energia elétrica do país provém de geração hidráulica, e o petróleo representa mais de 30% da matriz energética nacional. Se, por um lado, as reservas de combustíveis fósseis são relativamente reduzidas, por outro, os potenciais hidráulicos, da irradiação solar, da biomassa e da força dos ventos são suficientemente abundantes para garantir a auto-suficiência energética do país (ANEEL, 2002).

A energia eólica além de ser renovável e ambientalmente limpa, apresenta, pelo menos, quatro fatores simultâneos que justificam uma atenção especial, visando efetivá-la como fonte complementar à geração hídrica no parque gerador brasileiro: 1) o vasto potencial eólico nacional; 2) sua distribuição geográfica que se estende também pelo interior do país

em áreas socialmente carentes; 3) a possibilidade de complementação da energia produzida

pela geração eólica com as hidrelétricas; e 4) a importância do Brasil acompanhar o desenvolvimento que vem ocorrendo em nível internacional dessa tecnologia de geração (Brasil, 2009).

O vento é o ar em movimento. Portanto, a atmosfera sobre o globo é caracterizada pelo sistema dinâmico, no qual o movimento do ar é determinado pelo gradiente horizontal de pressão e temperatura. A estimativa rotineira da força do vento em cartas sinóticas representadas pelas linhas de pressão é baseada assumindo-se que: o ar ajusta sua velocidade mantendo um balanço que envolve somente o gradiente de pressão e as forças decorrentes da rotação da terra (Ometto, 1981).

Em sua aparente imprevisibilidade, o vento resulta da contínua circulação das camadas de ar da atmosfera sob a ação predominante da energia radiante do Sol e da rotação da Terra. Dos mecanismos atuantes na formação dos ventos, destacam-se os aquecimentos desiguais da superfície terrestre que ocorrem tanto em escala global quanto local, resultando em velocidades e direções de vento com tendências sazonais e diurnas bem definidas dentro de seu caráter casual (Copel, 2007).

A velocidade calculada conhecida como vento geostrófico é uma aproximação usada para a velocidade do vento, em alturas entre 500 e 1.000 metros acima da superfície. Na camada superficial, que estende até aproximadamente 100 metros acima da superfície do solo, os efeitos da rotação da terra, podem ser desprezadas em relação aos efeitos causados pela própria superfície. Nesta região, o vento usualmente deriva diretamente do gradiente de pressão de larga escala e em certas circunstâncias primeiramente é determinada pelos efeitos da densidade local (Ometto, 1981).

O vento pode variar bastante no intervalo de horas ou dias, porém, em termos estatísticos, tende a um regime diurno predominante regido por influências locais e regionais. No intervalo de meses ou anos, os regimes de vento passam a apresentar notável regularidade, com sazonalidade bem definida ao longo do ano, apresentando variações inferiores a 10% em longo prazo (Copel, 2007).

A geração eólica consiste na utilização de turbinas eólicas para a conversão direta da energia contida no vento em energia elétrica. Os sistemas de geração de energia eólica existem em diversas dimensões e para diferentes níveis de geração. O gerador eólico individual não produz energia suficiente por porção considerável de tempo durante o ano e, nem tão pouco em todas as horas do dia. Isto se deve às variações ocorridas na intensidade da velocidade do vento, abaixo do valor necessário para acionar o gerador eólico (Silva, 2004).

O aproveitamento da energia eólica requer extensões de área adequada, com velocidades médias anuais de vento que viabilizem a instalação de usinas. Como a produção de energia é muito dependente das velocidades de vento, a avaliação da viabilidade técnica e

econômica de empreendimentos eólicos requer uma predição confiável da energia a ser gerada (Copel, 2007).

Giansanti (1998) sugere que a combinação da energia eólica em um sistema de geração híbrido pode diminuir as desvantagens individuais dessa fonte de energia, aumentando a produção de energia global e reduzindo significativamente a necessidade de armazenamento de energia. Devido a esta combinação, a despesa global para sistemas autônomos pode ser reduzida drasticamente para um grande número de casos.

Idealmente, a caracterização do recurso eólico num local deve ser feita com base em medições realizadas em vários pontos da região de interesse para o aproveitamento da energia eólica e ao longo de um número significativo de anos (Castro, 2004).

Segundo Garcia (2004), a determinação do potencial eólico fornece informações necessárias ao planejamento e utilização dessa fonte natural de energia de uma forma racional. Deve-se saber o quanto de energia está disponível e até que ponto pode ser convertido em energia mecânica ou elétrica de acordo com as características do aerogerador.

A utilização da energia eólica para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início há pouco mais de 30 anos e 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 (Silva *et al.*, 2000).

Com o acentuado crescimento do mercado mundial de energia eólica nos últimos anos, os geradores eólicos encontram-se em franco desenvolvimento tecnológico, tendo como principal tendência o aumento progressivo nas dimensões e capacidades das turbinas (Copel, 2007).

Mesmo com altas tecnologias, uma das grandes limitações dos sistemas eólicos está no fato de a geração de energia não ser constante, ficando dependente diretamente da existência de fatores climáticos que possibilitem seu uso. Para solucionar essa limitação e evitar a falta de energia, alguns municípios e propriedades rurais que dependem exclusivamente deste tipo de geração de energia tem feito o uso de sistemas híbridos ou de armazenamento da energia produzida (Siqueira, 2005). Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar estimativa do potencial eólico da cidade de Palotina, Pr.

### **Material e Métodos**

O experimento foi desenvolvido no município de Palotina, utilizando-se de uma série de dados coletados e armazenada num período de 36 anos. Os dados meteorológicos de velocidade do vento e irradiância solar para o dimensionamento do sistema eólico foram

obtidos pelas estações meteorológicas do SIMEPAR, os valores foram submetidos a modelos estatísticos para formulação da distribuição em médias mensais e anuais.

Partindo do proposto por Wagner (1989), calculou-se a velocidade média diária a partir do total diário acumulado deste registro. A potência eólica disponível por unidade de área foi calculada pela equação:

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

em que,

$\frac{P}{A}$  - potência eólica disponível por unidade de área,  $W m^{-2}$ ;

$\rho$  - massa específica do ar,  $Kg m^{-3}$ ;

$V$  - velocidade do vento,  $m s^{-1}$ .

A partir dos dados diários das potências eólicas disponíveis por unidade de área, foram obtidas as médias mensais e sazonais.

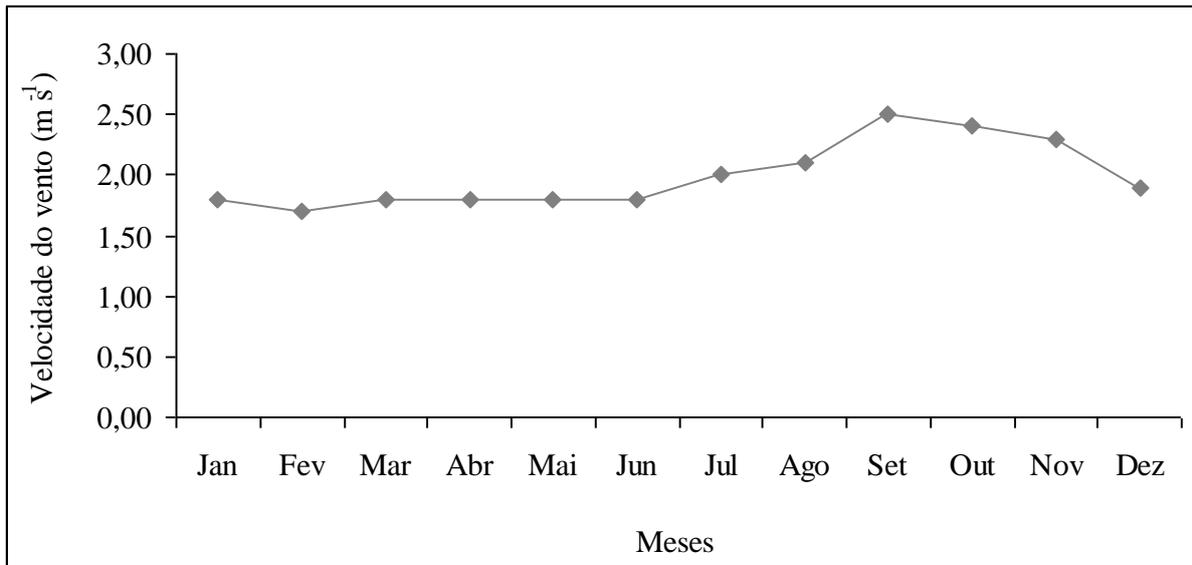
As médias diárias de velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) foram convertidas para as alturas de 25; 50; 75 e 100 m por meio da equação 3 proposta por Pasquill (1949), citada por Wagner (1989), em que  $V1$  e  $V2$  são as velocidades para as alturas  $Z1$  e  $Z2$ , respectivamente:

$$\left( \frac{V2}{V1} \right) = \left( \frac{Z2}{Z1} \right)^{0,143} \quad (2)$$

### Resultados e Discussão

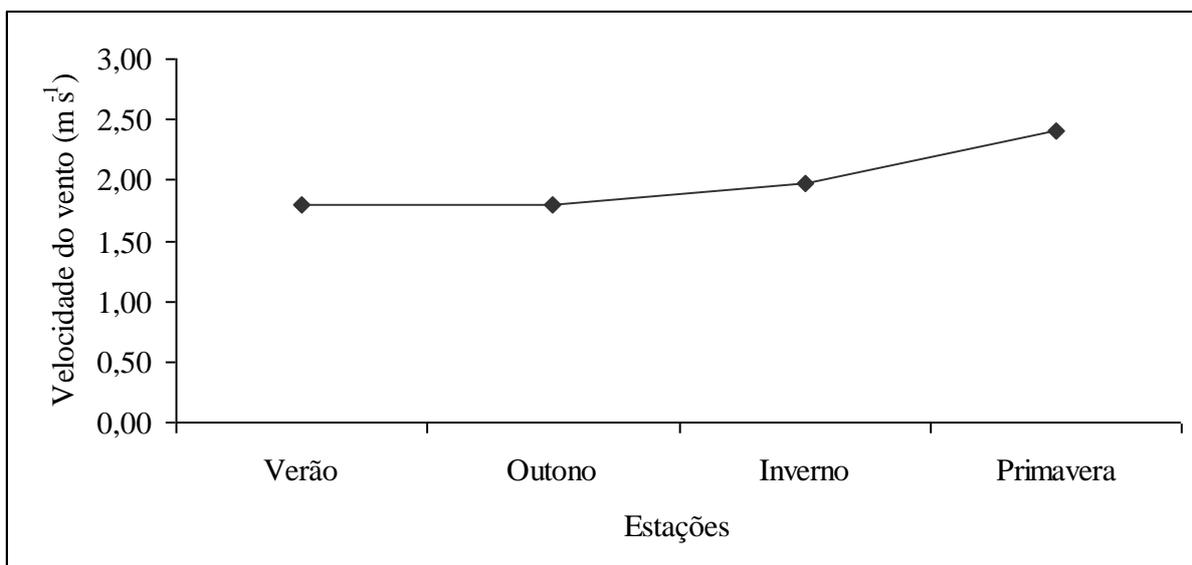
Através das médias de velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) no período de 24 horas, foram obtidas as médias mensais e sazonais. De acordo com Sousa (1993), para o sistema eólico ser viável, é preciso que a velocidade média mensal dos ventos seja superior a  $3,0 m s^{-1}$ , embora Santos (2009) tenha encontrado viabilidade eólica com velocidades inferiores a  $3,0 m s^{-1}$ . Na análise do período (Figura 1), verifica-se que a velocidade teve comportamento ascendente a partir do mês de julho ( $2,00 m s^{-1}$ ), com ponto máximo em setembro ( $2,50 m s^{-1}$ ).

Os valores mais representativos estão nas pêntadas de inverno  $1,97 m s^{-1}$  e de primavera  $2,40 m s^{-1}$  (Figura 2), valores próximos ao encontrado por Santos (2009), que durante o inverno e primavera, foram registradas as maiores médias de velocidade do vento para a cidade de Cascavel, PR, sendo  $2,46$  e  $2,38 m s^{-1}$  respectivamente.



**Figura 01:** Velocidade média mensal do vento a 2m de altura ao longo do período

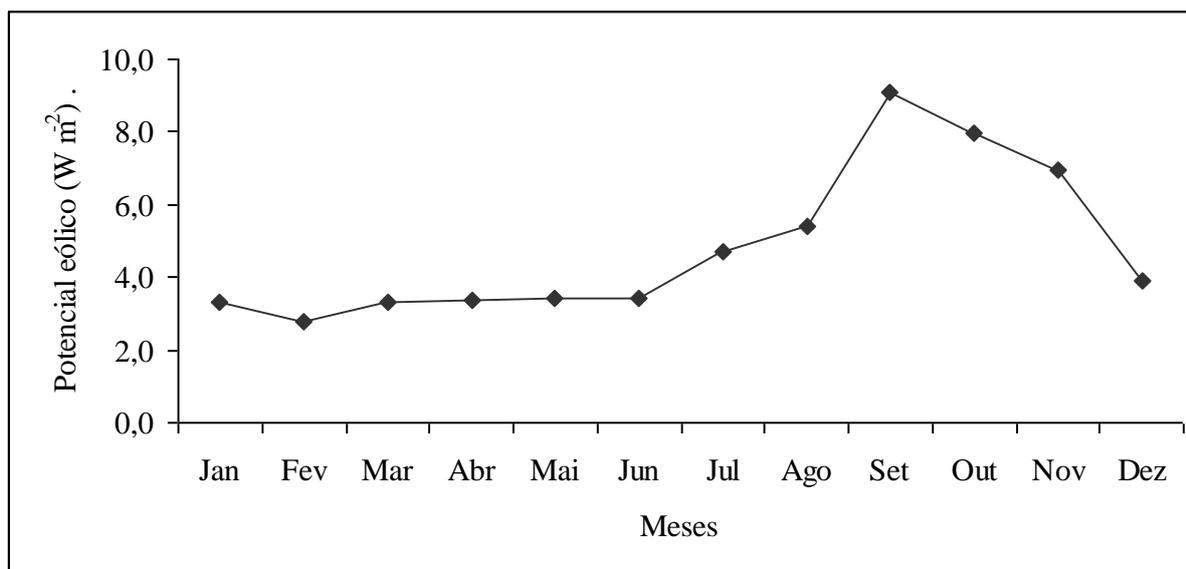
Como o vento é resultado da contínua circulação das camadas de ar da atmosfera, a desigualdade no aquecimento da superfície terrestre resulta na variação de velocidade e direções de vento, configurando assim as características sazonais dos ventos, os resultados encontrados para Palontina, justifica Copel (2007), ao afirmar que no Paraná as circulações dinâmicas das camadas de ar, em especial as intermitentes passagens de frentes frias se intensificam no inverno e primavera.



**Figura 02:** Médias sazonais da velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>) por estação do ano a 2m de altura.

Como os geradores de energia eólica apresentam uma curva de potência por velocidade do vento não linear, a geração elétrica se inicia com velocidades de vento da

ordem de 2,5 a 3,0 m s<sup>-1</sup>, sendo que abaixo desses valores o conteúdo energético não justifica o aproveitamento segundo a Copel (2007), concordando com os valores obtidos na simulação de potencial eólico a 2 m de altura e com rotores com área de 1 m<sup>2</sup> para Palotina, onde a mínima foi de 2,8 W m<sup>-2</sup> para o mês de fevereiro e o máximo de 9,1 W m<sup>-2</sup> para o mês de setembro (Figura 3).

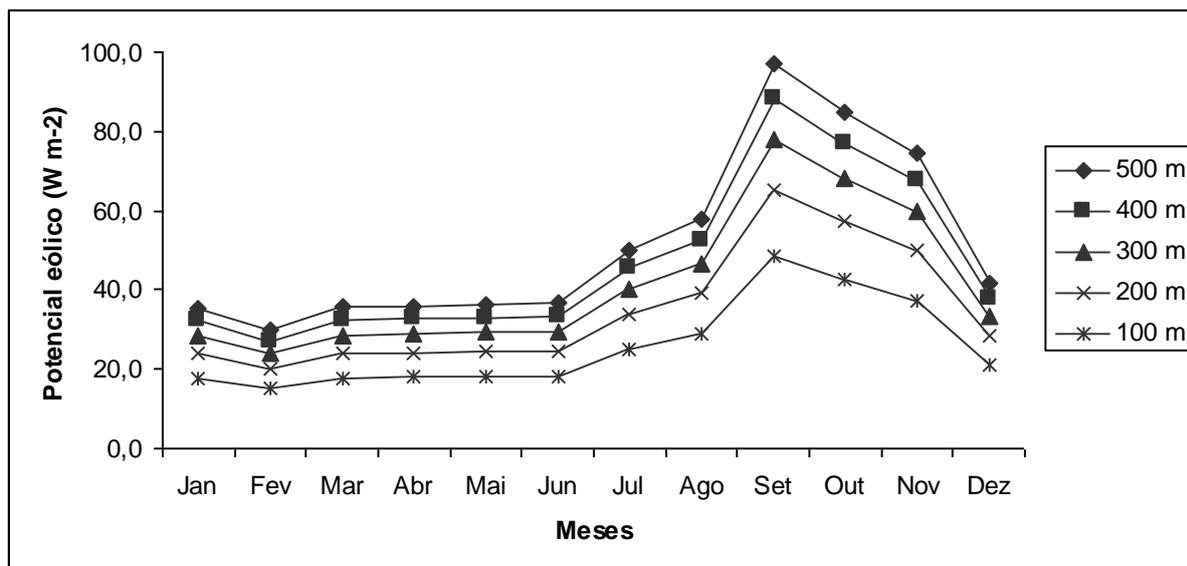


**Figura 03:** Potencial eólico a 2 m de altura.

A partir da determinação da potência eólica disponível no local a 2 m de altura, converteu-se a velocidade do vento as alturas de 100, 200, 300, 400 e 500 m, e calculou-se o potencial eólico com as torres instaladas com as mesmas alturas e área de rotor de 1 m<sup>2</sup> (Figura 4), com o intuito de verificar o comportamento nestes níveis de altura que segundo a Copel (2007) são consideradas de interesse para o aproveitamento energético, já que sofrem menores alterações em virtude das condições de relevo, presença de obstáculos e estabilidade térmica vertical.

Conforme o esperado verifica-se que o aumento das torres corresponde significativamente no aumento do potencial eólico, sendo que o de maior intensidade ocorreu na altura de 500 m para o mês de setembro (96,8 W m<sup>-2</sup>), assim como Silva *et al.*, (2002) onde os valores mais representativos na altura local e extrapolada foram encontrados nas pântadas de primavera.

É importante lembrar de que, tendo em vista as características pontuais dos ventos, os resultados apresentados têm validade para os locais em que se encontram as estações meteorológicas e suas vizinhanças (locais próximos e de mesma topografia).



**Figura 04:** Estimativa do potencial eólico em alturas variadas de torre.

Como os valores de potência eólica foram calculados para um rotor de área de  $1 \text{ m}^2$  e considerando que freqüentemente a área do rotor dos motores eólicos é muito superior a esta, estima-se que os valores encontrados possam ter um aumento considerável, viabilizando assim a instalação de um parque eólico na cidade.

De acordo com Silva *et al.*, (2002) o uso de um cata-vento da marca Kenya ( $A=7,1\text{m}^2$ ), em Santa Vitória do Palmar, com velocidade média anual de  $4,6 \text{ m s}^{-1}$ , geraria uma potência de  $0,3105 \text{ kW}$ ; já os aerogeradores do tipo usado nos EUA ( $A=38,5\text{m}^2$ ) ocasionariam potenciais de  $1,684 \text{ kW}$ . Na Tabela 1 estão representadas as estimativas do potencial eólico a 2, 100, 200, 300, 400 e 500 metros do solo, para áreas de rotores de 1, 5, 10, 15 e  $20 \text{ m}^2$ , com a velocidade média anual estimada para Palotina.

**Tabela 01:** Potencias eólicos (W) estimados para diversas áreas de rotores a diferentes alturas do solo, considerando-se a velocidade média do ano.

Área do rotor $\text{m}^2$	Altura do solo (m)					
	2	100	200	300	400	500
1	4,8	25,7	34,6	41,2	46,6	51,3
5	-	128,6	173,1	206,0	233,0	256,4
10	-	257,3	346,3	412,0	466,1	512,8
15	-	385,9	519,4	618,0	699,1	769,3
20	-	514,6	692,6	824,0	932,2	1025,7

Verifica-se que um rotor comercial de 10 m<sup>2</sup> a 300 m de altura, seria o suficiente para gerar 412,0 W, energia suficiente para atender a demanda de 6 lâmpadas incandescentes numa residência rural por um período de 5 horas. O ponto máximo é alcançado pelo rotor com área de 20 m<sup>2</sup> na altura de 500 m, esse rotor poderia gerar até 1025,7 W, energia consumida por cerca de 17 lâmpadas incandescentes de 40 W de potência em cinco horas de funcionamento direto.

Como estes resultados avaliam apenas a capacidade de um rotor, a estimativa de produção para um parque eólico com 5 turbinas de 20 m<sup>2</sup> de área de rotor e altura de torre de 500 m produziria energia suficiente para atender cerca de 85 lâmpadas incandescentes de 40 W durante 5 horas, o que numa comunidade rural representa uma economia de aproximadamente R\$ 250,00.

### Conclusões

As estimativas iniciais obtidas do potencial eólico nos níveis de 2, 100, 200, 300, 400 e 500 metros apresentam-se como adequados para diversas atividades agrícolas e energéticas para a localidade, principalmente quando associado ao uso de um rotor de maior dimensão, porém requer estudos mais aprofundado para o caso de instalação de uma usina eólica.

### Referências

- ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasil. 3. 2002. Setor elétrico, Brasília.
- BRASIL, **NOTA TÉCNICA PRE 01/2009-r0**: Proposta para a Expansão da Geração Eólica no Brasil. 2009. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro.
- CASTRO, R. M. G., **Energias renováveis e produção descentralizadas** – Introdução à energia eólica. Portugal: IST. 2004. 82p.
- COPEL. **Atlas do potencial eólico do estado do Paraná**. 2007. Camargo e Schubert, Curitiba.
- GARCÍA, F. H. **Análise Experimental e Simulação de Sistemas Híbridos Eólico-Fotovoltaicos**. 185p. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) - UFRGS – Porto Alegre.
- GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. 3 ed. 1998. São Paulo: Atual.
- MAY, P. H, LUSTOSA, M. C., VINHA, V. **Economia do Meio Ambiente**. 2003. São Paulo, Elsevier.
- OMETTO, J.C. **O Bioclimatologia Vegetal**. 1981. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres.

SANTOS, R. G.; SANTOS, R. F.; SANTIAGO, W. E. e FIORESE, D. A. Avaliação do potencial eólico do campus da Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel, PR. **Revista Cultivando o Saber**. 2009. Cascavel.

SILVA, B.B. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2002. Campina Grande, v. 6.

SILVA, J. B.; LARROZA, E.G.; BURGUENÔ, L.E.T. Estimativa do potencial eólico no Campus da Universidade Federal de Pelotas, em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. 2000.Santa Maria, v.8.

SILVA, J. B.; SOUZA, D. O.; ZEPKA, G. S. Análise do potencial eólico de algumas localidades do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. 2004.Santa Maria, v. 12, n. 1.

SIQUEIRA, J. A. **Desempenho de Sistemas Híbridos Eólico** - Fotovoltaicos Para Energização Rural. 140p. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP - São Paulo.

SOUZA, J.W. **Análise climatológica do potencial eólico no Estado de Minas Gerais**. 1993. 101 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. 1993. Viçosa.

WAGNER, C. S. Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná. **IAPAR**. 1989. Londrina.

---

**Recebido para publicação em:** 26/04/2012

**Aceito para publicação em:** 29/05/2012