



DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO PARA O MUNICÍPIO DA LAPA, PR.

Gustavo Castilho Beruski¹
Jorim Sousa das Virgens Filho²
Maysa de Lima Leite³

RESUMO

Com o alto nível de poluentes emitidos no ambiente através da queima de combustíveis fósseis, tem-se procurado novas formas de obtenção de energia, a fim de amenizar o impacto ocasionado na natureza. Dessa forma, com o presente trabalho objetivou-se analisar o potencial eólico no município da Lapa, PR. Para tal, utilizou-se uma série de dados de 19 anos (1989 – 2007) e, a partir deles, analisou-se a direção predominante dos ventos, sua velocidade a 50 metros e a potência eólica, com três aerogeradores de diferentes áreas de varredura (0,79; 254 e 1.660m²). Analisando as direções predominantes do vento, verificou-se que essas se distribuíram com maior frequência nas direções Leste, Nordeste e Norte, com valores de 33,42% para Leste, sendo seguida pela Nordeste (30,86%) e Norte (15,77%). Por fim, verificou-se que os potenciais eólicos na Lapa variaram entre os valores 10 e 22 kWh/m², 3.147 kWh/m² e 7.164 kWh/m², 20.555 kWh/m² e 46.786 kWh/m², para aerogeradores de pequeno, médio e grande porte, respectivamente.

Palavras-chave: Ventos. Velocidade média. Direção predominante. Energia eólica.

ABSTRACT

With the high level of pollutants emitted into the environment by burning fossil fuels, has sought new forms of energy production, in order to mitigate the impact caused in nature, thus we performed the study because in order to determine a likely wind potential in Lapa, PR. So we used a dataset of 19 years (1989 - 2007) and from these we analyzed the predominant wind direction, its speed at 50 meters and wind power, wind turbines with three different scan areas (0.79; 254 and 1,660m²). Looking at the directions it was found that these were distributed more frequently in the directions east, northeast and north, with values of 33.42% for East, followed by Northeast (30.86%) and North (15.77%). Finally, it was found that the wind potential in Lapa values ranged from 10 and 22 kWh/m²; 3,147 kWh/m² and 7,164 kWh/m²; 20,555

¹ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, Piracicaba - SP. beruskigc@usp.br

² Universidade Estadual de Ponta Grossa, Setor de Ciências Exatas e Naturais, Departamento de Matemática e Estatística.

³ Universidade Estadual de Ponta Grossa, Setor de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Biologia Geral.

kWh/m² and 46,786 kWh/m² for wind turbines small, medium and large, respectively.

Keywords: Wind. Average speed. Predominant direction. Wind power

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia utilizada pelo homem é obtida principalmente através da queima de carvão vegetal e de combustíveis fósseis, essencialmente derivados do petróleo (BARBANO et al., 2003). A alta taxa de consumo de combustíveis derivados do petróleo deve-se às altas tecnologias para a obtenção da matéria prima e por apresentar um custo relativamente baixo. Entretanto, a queima de derivados do petróleo gera gases tóxicos como o monóxido e o dióxido de carbono (CO e CO₂), que estão diretamente ligados ao efeito estufa e, conseqüentemente, ao aquecimento do planeta. Além da sua queima gerar gases que afetam o meio ambiente, esse bem natural está mal distribuído pela superfície do globo e, tal dado, tem acarretado guerras entre nações.

Analisando o Brasil, verifica-se que além do uso de combustíveis fósseis, a energia pode ser obtida por meio de hidroelétricas, devido a grande quantidade de rios presentes em seu território. Sabe-se que apesar desse tipo de energia ser relativamente barata, a instalação de barragens, provocando o represamento dos rios, causa perdas significativas na fauna e na flora da região a ser inundada. Além dessa extinção local, o represamento do rio afetará também as espécies que remanescente no local alterado.

Em função das desvantagens que são geradas pela queima de combustíveis fósseis e pelo represamento de rios, tem-se realizado estudos para a obtenção de energias alternativas como a eólica e a solar. Tais energias são denominadas limpas, pois não degradam o meio ambiente, não emitem gases na atmosfera e quando afetam, os efeitos são imperceptíveis comparadas à queima de derivados do petróleo ou até mesmo a instalação de hidrelétricas.

Nesse sentido, vários países vêm desenvolvendo tecnologias para a obtenção de energia através da movimentação do ar, sendo a Europa e os Estados Unidos às regiões onde há o domínio de tais tecnologias. Segundo a Indústria Dinamarquesa de Energia Eólica (Danish Wind Industry Association

– DWIA) os países que lideram a produção e a instalação de torres de captação de energia eólica são Alemanha, Estados Unidos e Espanha.

Diferentemente da Europa e dos Estados Unidos, o Brasil ainda caminha a passos lentos na questão da energia eólica, sendo que a região do país onde há um maior desenvolvimento de tal fonte de energia é a região Nordeste, apresentando o estado do Ceará a maior capacidade energética (CAMARGO, 2005).

Além do Nordeste brasileiro, as regiões Sul e Sudeste também apresentam um potencial eólico favorável, dando destaque ao estado do Rio Grande do Sul, onde no ano de 2006, foi instalada a maior usina eólica da América Latina, a qual está dividida em três parques eólicos, com uma potência total de 150MW (ANNEL, 2009) e ao estado do Paraná que já apresenta torres de captação na região de Palmas, sul do estado, tendo essa usina a capacidade eólica de 2,5MW (COPEL, 1999).

Não sendo diferente de outras fontes energéticas, para a obtenção de energia através dos ventos é necessário efetuar, no local de interesse, estudos prévios determinando se a região apresenta um potencial eólico favorável. Dentre as características a serem analisadas na região, as mais importantes são: velocidade e direção do vento na região, topografia, finalidade da energia a ser gerada e a facilidade de acesso aos aerogeradores.

O presente estudo teve por objetivo avaliar o potencial eólico do município da Lapa, PR e analisar aerogeradores com diferentes áreas de captação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados foram cedidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e obtidos junto a uma estação meteorológica localizada no município da Lapa (latitude 25°47' S, longitude 49°46' W e altitude de 910m). Esses foram coletados por meio de um Anemógrafo Universal, marca R. Fuess®, com seus sensores localizados a uma altura de 10m acima do nível do solo. Os dados consistiam em registros diários de velocidade média e direção predominante dos ventos, sendo eles provenientes de uma série de 19 anos de registros, coletados no período de setembro de 1988 a julho de 2007.

Após a obtenção dos dados, efetuou-se sua triagem em planilhas do Microsoft Excel 2007 e, em seguida, realizou-se sua estatística descritiva de acordo com Assis et al. (1996).

Realizada a estatística descritiva dos dados, determinou-se a direção predominante dos ventos através da frequência relativa simples (fr_d), para cada mês de cada ano ao longo do período em estudo, a determinação foi realizada segundo a equação 1:

$$fr_d = \frac{f_d}{n}$$

(1)

na qual “ f_d ” é a frequência de cada direção e “ n ” é o número de observações dentro do mês analisado.

Para determinar as probabilidades das direções dos ventos, foram utilizados os pontos cardeais Norte, Sul, Leste e Oeste e também os pontos colaterais Nordeste, Sudoeste, Sudeste e Noroeste, fazendo uso da rosa dos ventos.

Antes da determinação do potencial eólico do local onde as torres de captação de energia poderão ser instaladas, torna-se necessária a correção dos dados de velocidade do vento, de 10m para uma altura de 50m, visto que os aerogeradores geralmente são instalados a essa altura, tal conversão é realizada segundo Pasquill (1949) citado por Wagner (1989), conforme a equação 2:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{0,1429} \quad (2)$$

em que:

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).

Convertida a velocidade do vento para uma altura de 50m, torna-se possível a determinação do potencial eólico (W/m^2) para a localidade em

estudo. Segundo Ferreira (2006), para o cálculo do potencial eólico inicialmente torna-se necessário o cálculo da potência eólica que é determinada pela energia cinética “E” contida numa porção “m” incidente sobre uma área “A” com velocidade “v”.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

em que “m” é a massa do fluxo de ar que passa na área “A”, descrita por:

$$m = \rho Av \quad (4)$$

em que ρ é a massa específica do ar no local.

Substituindo a equação (4) na equação (3) e dividindo-se a energia pelo tempo de passagem dessa massa, obtém-se a potência disponível no vento, assim:

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (5)$$

A fórmula (5) descreve a potência livre, antes de incidir e interagir com as pás do aerogerador e, essa deve ser corrigida para apresentar a potência convertida pelo aerogerador, pois se sabe que existem perdas significativas de energia durante a movimentação das pás. Essa correção dá-se pelo acréscimo do coeficiente de potência (c_p) que indica a eficiência aerodinâmica do rotor e representa a fração da potência do vento livre que está sendo convertida, como segue descrito na equação 6:

$$P = \frac{1}{2}c_p\rho Av^3 \quad (6)$$

Além dessa correção, é necessário considerar as perdas mecânicas de eixo, de conversor do gerador e dos acoplamentos.

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

em que “ η ” é o rendimento total do sistema de transmissão (mecânico) e geração elétrica.

A expressão (7) evidencia que além da energia extraída do vento por um rotor eólico ser proporcional ao cubo “ d ” velocidade, essa depende diretamente da massa específica do ar (ρ), sendo ela calculada pela fórmula abaixo 8:

$$\rho = 1,29 \cdot PA / 760 \cdot 273 / T \quad (8)$$

em que a “ T ” é a temperatura média do ar do local em graus Kelvin, e “ PA ” é a pressão atmosférica em mmHg.

Substituindo a constante “ p ”, dada na equação (9) e incluindo a área de captação do vento (A). A potência será calculada por:

$$P = 0,647 A v^3 \quad (9)$$

Contudo, para se obter o potencial médio mensal (kWh/m^2) a equação sofre um ajuste para:

$$P = 0,0155 N A v^3 \quad (10)$$

na qual:

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

Para o cálculo do potencial eólico mudou-se a área de captação do vento, ou seja, o tamanho dos aerogeradores, verificando qual é mais viável para o município da Lapa, PR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, analisou-se a direção predominante dos ventos no município da Lapa e, ao longo dos 19 anos de dados, os resultados dessa análise encontram-se expostos na figura 1.

Para os dados de direção predominante dos ventos verificou-se que eles se deslocavam com maior frequência nas direções Leste, Nordeste e Norte, com valores médios de ocorrência de 33,42%, 30,87% e 15,77%, respectivamente. Nos meses de outubro a abril, a direção do vento que predominou foi a Leste, já para os meses de maio a setembro, a direção se manteve a Nordeste. O fato de a região apresentar ventos predominantes na direção Leste e Nordeste deve-se, provavelmente, aos centros de alta pressão do Atlântico e do Pacífico, os quais geram um deslocamento de massas de ar e ventos nessas direções (TUBELIS; NASCIMENTO, 1986).

Também na região dos Campos Gerais, embora para o município de Ponta Grossa, Leite e Virgens Filho (2006) verificaram que a maior frequência observada para a direção do vento foi Nordeste, com valores médios de 49,10%, tendo como segunda e terceira direções predominantes Noroeste e Leste, respectivamente. Esse fato evidencia que a direção dos ventos na região sofre influências diretas de vários fatores, como infiltração de massas de ar frio, ação de ventos úmidos e variações do Equador Térmico e do Anticiclone do Atlântico Sul, que podem alterar a direção dos ventos da região Leite e Virgens Filho (2006).

Analisados os resultados das direções predominantes dos ventos para o município da Lapa, é importante salientar que esses dados de direção predominante foram coletados a uma altura de 10 metros do solo e na estação meteorológica na Lapa. Esses fatores podem interferir diretamente nos resultados, pois frequentemente os aerogeradores localizam-se a uma altura superior a 10m do solo e sua instalação pode não acontecer no mesmo local onde foram coletados os dados do vento, podendo a área de interesse apresentar características diferentes as do local de coleta dos dados.

Realizada a análise das direções dos ventos na localidade da Lapa, efetuou-se a correção dos dados de velocidade média dos ventos, através da

conversão dos dados originais (10 metros) para dados de velocidade do vento a uma altura de 50 metros em relação ao nível do solo.

Após a conversão dos dados de velocidade média dos ventos analisou-se o potencial eólico do município da Lapa a partir de três diferentes diâmetros de aerogeradores, sendo eles de pequeno, médio e grande porte, com medidas, respectivamente de 1; 18 e 46 metros, com áreas de varredura de respectivamente, $0,79\text{m}^2$, 254m^2 e 1.660m^2 , cujos resultados dos potenciais eólicos com diferentes aerogeradores encontram-se nas figuras 2; 3 e 4.

Figura 1 - Direção média mensal predominante do vento (%) na Lapa, PR – 1988 a 2007.

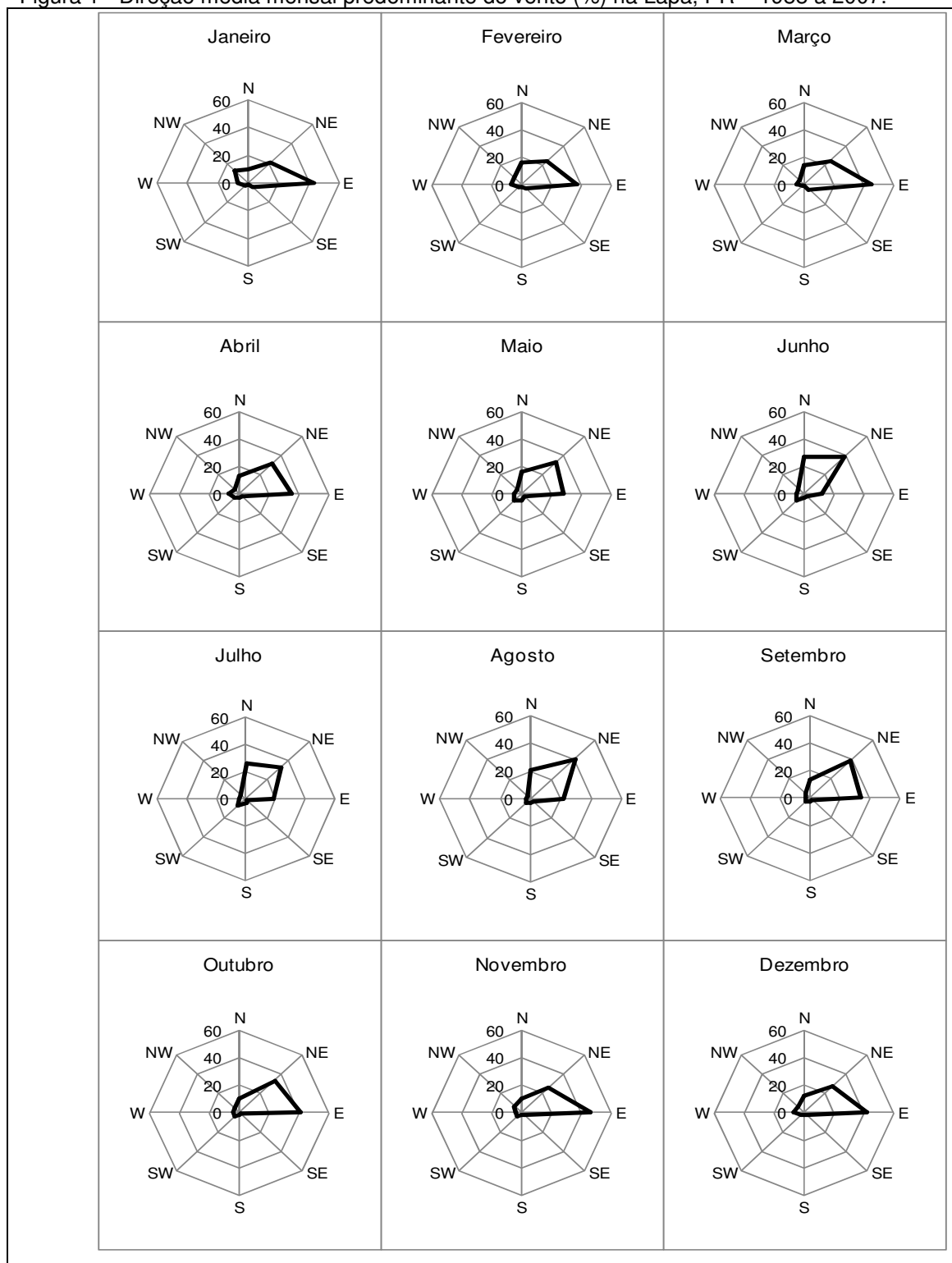


Figura 2 - Velocidade média ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) a 50 metros e potencial eólico médio (kWh/m^2) mensal para a localidade da Lapa, PR, com a utilização de um aerogerador de pequeno porte com $0,79\text{m}^2$ de varredura.

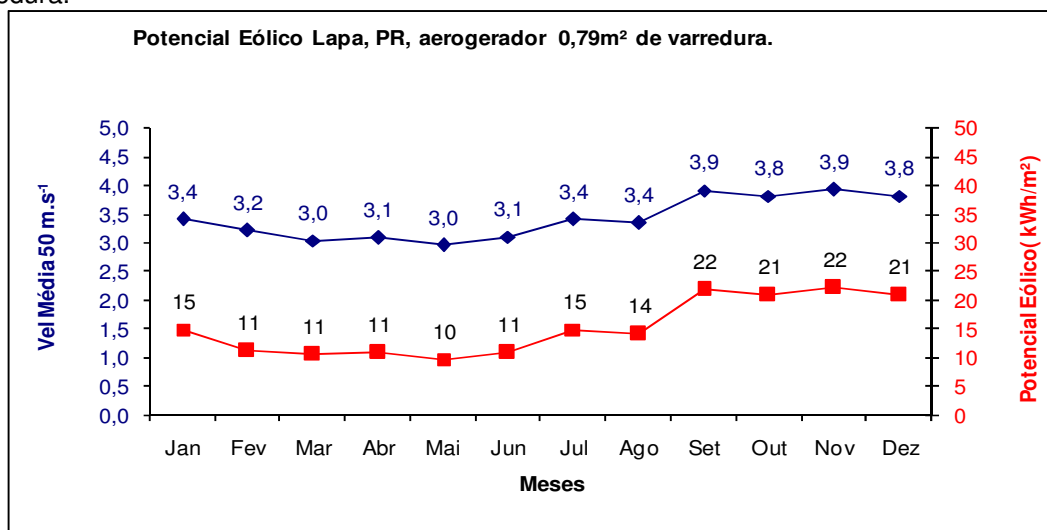
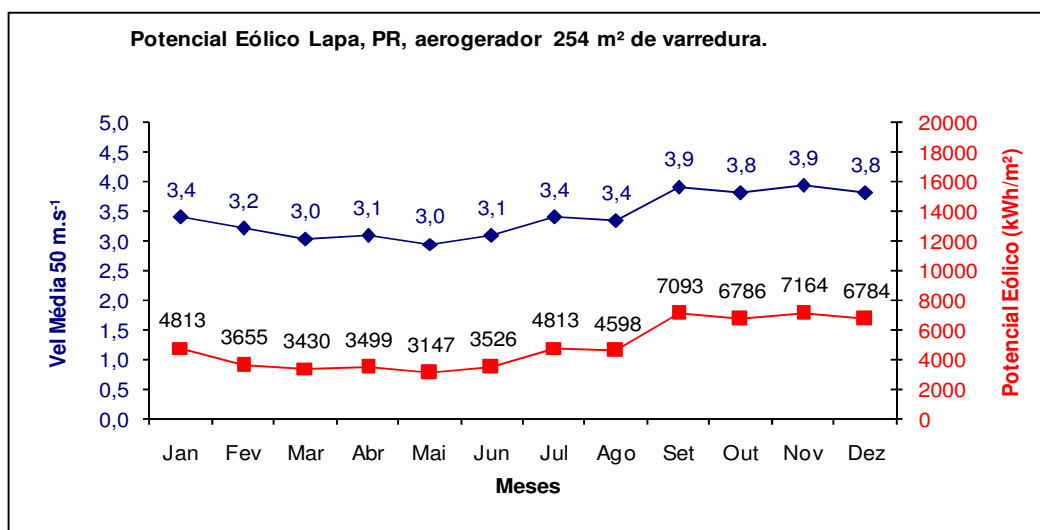


Figura 3 - Velocidade média ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) a 50 metros e potencial eólico médio (kWh/m^2) mensal para a localidade da Lapa, PR, com a utilização de um aerogerador de médio porte com 254m^2 de varredura.

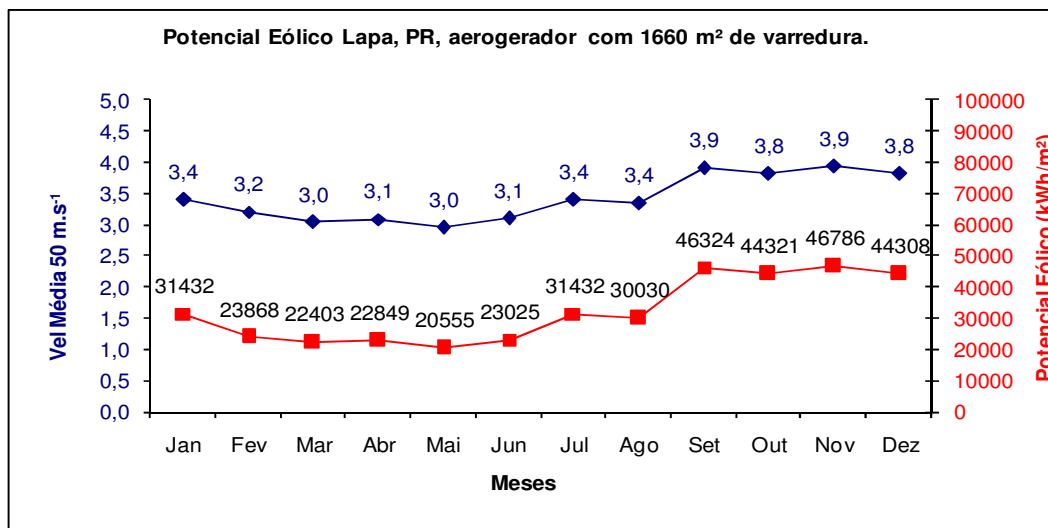


Efetuada os cálculos de conversão da velocidade do vento e obtido o potencial eólico para o município da Lapa, verificou-se que os maiores potenciais encontram-se dentro dos meses de primavera e início do verão (setembro, outubro, novembro e dezembro), com valores de $22\text{ kWh}/\text{m}^2$ para os meses de setembro e novembro e $21\text{ kWh}/\text{m}^2$ para os meses de outubro e dezembro.

Os meses de janeiro, julho e agosto apresentaram potenciais eólicos intermediários, com valores de $15\text{ kWh}/\text{m}^2$ para janeiro e julho e $14\text{ kWh}/\text{m}^2$

para agosto. Já os menores potenciais encontram-se entre os meses de fevereiro e junho, com valores variando entre 10 e 11 kWh/m², sendo que esse menor potencial pode estar associado a períodos de calma durante esses meses.

Figura 4: Velocidade média (m.s⁻¹) a 50 metros e potencial eólico médio (kWh/m²) mensal para a localidade da Lapa, PR, com a utilização de um aerogerador de 1660m² de varredura.



Analisando o potencial eólico para diversas localidades no estado do Rio Grande do Sul, utilizando rotores apresentando 1m² de área de captação, Baptista da Silva et al. (2004) verificaram que as maiores potências eólicas encontram-se também durante os meses de primavera, concentrando-se nos meses de setembro e outubro.

Em estudos realizados no mesmo estado, mais especificamente no município de Pelotas, Baptista da Silva, et al. (2000) verificaram, com medições a 7 metros do solo, o potencial eólico no Campus da Universidade Federal de Pelotas, e constataram que ele variou entre 0,001 e 0,029 kW/m², enquanto que, para uma altura de 50 metros do solo, os potenciais variaram entre 0,001 e 0,068 kW/m². Para o município da Lapa obtiveram-se potenciais mensais variando entre 0,013 e 0,031 kW/m², sendo possível verificar que essa fonte de energia alternativa pode ser utilizada para complementar a energia tradicional utilizada.

Para um gerador de médio porte (Figura 3), verificou-se que o mês de maior potencial eólico foi novembro, com valor de 7164 kWh/m², sendo esse o mês seguido pelos meses de setembro, outubro e dezembro, com valores 7093

kWh/m², 6786 kWh/m² e 6784 kWh/m², respectivamente. No restante dos meses analisados, verificaram-se os valores do potencial eólico variando entre 4813 kWh/m² (janeiro e julho) e 3147 kWh/m² (maio).

Por fim, foi analisado o potencial eólico para o município da Lapa utilizando-se um aerogerador de 1660m² de varredura (Figura 4). Da mesma forma que os aerogeradores de áreas de varredura menores, os aerogeradores maiores apresentaram potenciais mais elevados nos meses de novembro e setembro, com valores de 46786 kWh/m² e 46324 kWh/m², respectivamente.

Em estudo semelhante realizado na região nordeste do Brasil, considerando-se a velocidade do vento a 10 metros do solo, Sacramento et al. (2006) analisaram o potencial eólico do município de São Benedito, no estado do Ceará, a partir de um aerogerador com 1521m² de varredura e verificaram que durante o ano de 2005, no local de possível instalação, seriam gerados 1325MWh e que uma turbina seria capaz de abastecer 16,6% da região. Assim, para abastecer toda a região seriam necessários 13 aerogeradores desse tipo.

No presente estudo, efetuando-se a análise das diferentes áreas de varredura dos aerogeradores, verificou-se que, em todos os casos, os maiores potenciais eólicos são gerados por maiores velocidades do vento, nos períodos de setembro a dezembro. Conseqüentemente, no caso de instalação efetiva das torres de captação, será durante esse período que haverá uma maior geração de energia elétrica através da energia cinética gerada pela movimentação dos rotores.

Segundo Virgens Filho e Leite (2007), a instalação de turbinas eólicas em determinado local torna-se viável somente se o comportamento do vento apresentar velocidade em torno de 6 a 7 m.s⁻¹, entretanto, com velocidades superiores a 3 m.s⁻¹ já ocorre a produção de energia pelo aerogerador. Dessa forma, apesar de a geração de energia eólica não ser tão elevada, sua utilização em residências e pequenas indústrias como complemento da energia obtida através de redes de transmissão tradicional, em propriedades rurais pode ser utilizada, por exemplo, na moagem de grãos e no bombeamento de água.

Sendo assim, com os resultados obtidos no trabalho verifica-se que a energia eólica no município da Lapa pode ser utilizada como um complemento

de energias convencionais. Entretanto, é importante ressaltar que os dados dos ventos são referentes a anotações efetivadas em estações meteorológicas e que, estudos prévios devem ser efetuados no próprio local onde, possivelmente, será efetuada a instalação das torres de captação de energia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A direção predominante do vento ao longo do ano foi a Leste (33,42%), sendo seguida pela Nordeste (30,86%) e Norte (15,77%).

Com a análise da potência eólica verificou-se que no período de setembro a dezembro encontram-se as maiores velocidades médias (50m) e, conseqüentemente, esse é o período em que há um maior rendimento das turbinas gerando potências eólicas, independentemente da sua área de varredura.

Analisando as diferentes áreas de captação das pás, os aerogeradores de pequeno porte (079m²) tiveram seu potencial variando entre 10 kWh/m² e 22 kWh/m². O potencial eólico do aerogerador de médio porte (254m²) variou entre 3147 kWh/m² e 7164 kWh/m², enquanto o aerogerador de grande porte (1660m²) apresentou seu potencial eólico variando entre 20555 kWh/m² e 46786 kWh/m².

Para o município da Lapa, a energia gerada pelos aerogeradores pode ser utilizada no complemento de energias convencionais em propriedades rurais e casas na área urbana.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), área de Ecofisiologia, pela cessão dos dados que possibilitaram a realização do presente estudo. À Fundação Araucária pelo financiamento da pesquisa e ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ANNEL Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=7&fase=3>>. Acesso em: 01 Nov. 2009.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária / UFPel, 1996.

BAPTISTA da SILVA, J.; SOUZA, D. O.; ZEPKA, G. S. Análise do potencial eólico de algumas localidades do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n.1, p. 159-165, 2004.

BAPTISTA da SILVA, J.; LARROZA, E. G.; BURGUEÑO, L. E. T. Estimativa do potencial eólico na Campus da Universidade Federal de Pelotas, em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 111-119, 2000.

BARBANO, M. T.; BRUNINI, O.; PINTO, H. S. Direção predominante do vento para a localidade de Campinas – SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 123-128, 2003.

CAMARGO, A. S. G. **Análise da operação das usinas de Camelinho e Palmas avaliação do potencial eólico de localidades do Paraná**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET.

COPEL. Projeto Ventar. DEC/CPL;CNPG – Coordenadoria de Planejamento de Geração. Relatório Interno. Curitiba, 1999.

FERREIRA, C.R. **Potencial de bombeamento eólico**: uma metodologia de análise. Recife, 2006. Dissertação (Mestrado em) Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. V. Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa – PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.14, n.2, p.157-167, 2006.

SACRAMENTO, E. M.; CUNHA, E. B. A. C.; JÚNIOR, J. B. V. L. ; COSTA, A.A. Estudo preliminar sobre o potencial eólico das regiões serranas do estado do Ceará. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2006, Florianópolis.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. C. L. **Meteorologia descritiva – Fundamentos e aplicações brasileiras**. 1. ed., São Paulo: Nobel, 1986. 374p.



VIRGENS FILHO, J. S. & LEITE, M. L. **Alternativas energéticas para os campos gerais**: o potencial da energia eólica. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G.B. (Orgs.). Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. Capítulo 20.

WAGNER, C. S. **Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1989. 56 p. (Boletim técnico, 26).