

Avaliação do potencial eólico do campus da Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel (PR)

Rafael Gonçalves dos Santos¹, Reginaldo Ferreira Santos², Wesley Esdras Santiago¹
e Diego Augusto Fiorese¹

¹Faculdade Assis Gurgacz - FAG, Curso de Agronomia. Avenida das Torres n. 500, CEP: 85.806-095, Bairro Santa Cruz, Cascavel, PR.

²Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE e Faculdade Assis Gurgacz – FAG

rafaelgoncalves7@hotmail.com, reginaldo@fag.edu.br, wesley@fag.edu.br, diegoct@fag.edu.br

Resumo: O aumento da produção de gás carbônico vem se tornando uma causa de grande preocupação entre os ambientalistas. Por essa razão, surge à necessidade de explorar fontes alternativas de energias renováveis, dentre elas a energia eólica, para diminuir o impacto sobre o meio ambiente. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial eólico do campus da Faculdade Assis Gurgacz. A metodologia adotada, baseou-se na coleta diária de dados referentes a velocidade do vento e temperatura na estação meteorológica do campus da FAG. A potência eólica disponível foi calculada pela fórmula de Betz 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 7, 10, 15, 30 e 50 m. A partir dos dados coletados, observou-se que o potencial eólico mínimo exigido para viabilizar a construção de uma usina eólica (15 W m^2) foi registrado durante os meses de agosto e outubro, sendo as médias registradas 20,054; 20,536 e 18,268 W m^2 , respectivamente. Porém, a análise dos registros de estimativa da variação das alturas de torre, indica que há viabilidade de utilização do sistema eólico em qualquer período, desde que o aerogerador seja posicionado a uma altura mínima de 50 m.

Palavras-chave: energia eólica, vento, fontes de energia.

**Evaluation of wind power on campus of the Faculdade Assis Gurgacz in Cascavel city,
Paraná state, Brazil**

Abstract: Increased production of carbon dioxide is becoming a cause of great concern among environmentalists. Therefore, it is necessary to explore alternative sources of renewable energy, including wind power, to reduce the impact on the environment. In this context, the objective was to evaluate the potential wind-campus University of Assis Gurgacz. The proposed methodology, based on the daily collection of data on wind speed and temperature at the meteorological station on campus. The wind power available per unit area was calculated by the equation proposed by literature. From the daily data of wind power available per unit area, were obtained monthly and seasonal averages. The daily average wind velocity (m s^{-1}) were converted to the heights of 7, 10, 15, 30 and 50 m. From the data collected, it was observed that the wind energy potential minimum required to enable the construction of a wind power plant (15 W m^2) was recorded during the months of August and October, and the average recorded 20,054, 20,536 and 18,268 W m^2 , respectively. However, analysis of the records to a height of 7, 10, 15, 30 and 50 meters, enables the use of wind energy at any time, provided that the windmill is positioned at a minimum height of 50 m.

Key words: wind energy, wind, energy sources.

Introdução

O aumento da produção de gás carbônico (CO₂) pela queima de combustíveis fósseis e de florestas é um problema que preocupa a todas as nações e, que vem ganhando a atenção de ambientalistas em todo o mundo. É válido lembrar que a emissão deste gás aumentou quatro vezes após 1950, sendo os países industrializados responsáveis por quase metade dessas emissões. Somente os Estados Unidos e o Canadá respondem por cerca de 26% (Giansanti, 1998; Silva *et al.*, 2002).

Os grandes impactos ambientais do nosso século provenientes do uso e implantação de fontes energéticas tradicionais, têm levado muitos países a investirem cada vez mais no desenvolvimento de tecnologias para o uso de fontes renováveis de energia. A escolha adequada de um modelo de geração de energia descentralizado e ecologicamente sustentável, poderá suprir as necessidades de comunidades isoladas, que de acordo com Silva e Burgueño, (2001), sem energia, permanecerão condenadas ao subdesenvolvimento, provocando o êxodo aos grandes centros urbanos de um enorme contingente de pessoas em busca de melhores condições econômicas, sociais e culturais.

Esses dados colocam o desafio de atender á demanda mundial de energia buscando amenizar impactos de várias ordens. Além disso, os combustíveis fósseis são uma fonte de energia não renovável e as previsões mais pessimistas indicam que seu esgotamento ocorrerá nos próximos 50 anos. Deste modo, tem-se buscado por fontes alternativas de energia, que sejam renováveis e que diminuam a incidência de impactos ambientais. Dentre as opções viáveis, está o uso da biomassa, do álcool etílico, da energia solar e da energia eólica (Leite, *et al.*, 2006).

A crise energética mundial e o aquecimento global despertou o Brasil para a possibilidade de economia e redução ainda maior dos impactos ambientais provocado pelo uso de hidrelétricas (Ortiz *et al.*, 2002). Sabe-se que 41% da matriz energética do país é renovável, nos países desenvolvidos esse valor não passa de 6%.

Dentre essas fontes “limpas” e de baixo custo, a energia eólica mostra-se promissora quando comparada com outras fontes de energia renováveis. De acordo com Camargo (2005), o termo “energia eólica” descreve o processo pelo qual o vento é usado para gerar energia mecânica ou eletricidade. Uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento que passa através da área varrida pelo rotor e a transforma em energia elétrica. Quanto à relevância do seu caráter não poluente, Garcia *et al.*, (1998) afirma que a geração de 1.649 GW h de energia extraída dos ventos, substituiria outras fontes convencionais e evitaria o

lançamento de $1,3 \times 10^6$ de CO_2 na atmosfera terrestre, o que impactaria fortemente na redução do aquecimento global.

Com o desenvolvimento da sociedade, o homem aprendeu a utilizar-se de diversos recursos oferecidos pela natureza, e mesmo que pareça ser algo recente, há séculos que ele já aproveita a força dos ventos para gerar energia. No século XIV, os holandeses alcançaram a liderança na melhoria continuada dos projetos de moinho de vento. Eles criaram um propulsor de pás e usaram o vento para drenar os pântanos e lagos do delta do rio Rôno. Na América, os imigrantes vindos da Europa usaram os moinhos de vento para moagem de trigo, bombeamento de água e para prover trabalho mecânico para serrarias. No século XX, os pequenos moinhos de vento foram utilizados para bombeamento de água e geração de energia elétrica. Nos anos 70, com o primeiro choque do petróleo, a geração de energia elétrica via sistemas eólicos tornou-se economicamente viável, além de alternativa estratégica para muitas nações. Atualmente, diversos centros de pesquisa dedicam esforços no desenvolvimento de sistemas eficientes, de baixo custo e com larga faixa de operação (Tolmasquim, 2003; Silva *et al.*, 2000).

Os estudos e projetos de construção e operação em energia eólica evoluíram, o que resultou em redução acentuada dos custos (Camargo, 2005). Atualmente, a indústria de turbinas eólicas vem acumulando crescimentos na ordem de 30% ao ano e movimentando neste intervalo de tempo cerca de 2 bilhões de dólares (Camargo, 2005).

Além de opção limpa, a energia eólica é uma opção relativamente barata (apenas o preço de sua instalação é elevado). Pode ser utilizada em sistemas de bombeamento de água, movimentos mecânicos de moinhos e na geração de energia elétrica. Porém, a geração eólica possui uma grande desvantagem quando aplicada como único meio de geração de energia, já que a mesma não pode ser uma fonte regular de energia, tornando-se então menos confiável que as fontes convencionais. A quantidade de energia diária disponível pode variar muito de uma estação do ano para outra em um mesmo local, assim, seu uso fica limitado a lugares de ventos fortes e relativamente constantes (Silva, *et al.*, 2000; Oliveira, 2003).

Antes, porém, de programar um projeto para a utilização de energia eólica, é essencial que análises climatológicas dos ventos locais sejam realizadas, com o intuito de verificar as regiões apropriadas para a utilização desta fonte renovável de energia (Souza, 1993).

No Brasil, grande atenção tem sido dirigida para o estado do Ceará, por ter sido um dos primeiros locais a realizar um programa de levantamento do potencial eólico através de medidas de vento com modernos anemógrafos computadorizados. Entretanto, não foi apenas na costa do Nordeste que áreas de grande potencial eólico foram identificadas; Minas Gerais e

Paraná, por exemplo, têm centrais eólicas em funcionamento que são afastadas da costa e possuem excelentes condições de vento (Camargo, 2005).

Estudos sobre a exploração do vento como potencial energético tem mostrado que o seu aproveitamento depende do conhecimento pormenorizado de suas características sobre a área onde serão implantadas as fazendas eólicas (Silva *et al.*, 2002). A identificação do potencial eólico de uma localidade é tarefa fundamental e tem como requisito básico e indispensável, a existência de observações da velocidade e direção do vento a uma altura adequada. Considerando a utilização do vento como fonte alternativa para geração de energia, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial eólico no campus da Faculdade Assis Gurgacz – FAG, localizada em Cascavel - Paraná.

Material e Métodos

O presente trabalho baseou-se em uma amostragem de uma série pontual de dados diários de velocidade do vento, coletados em períodos de cinco em cinco minutos, na estação meteorológica do campus da Faculdade Assis Gurgacz – FAG, Cascavel – Paraná, no período de janeiro a dezembro do ano de 2007.

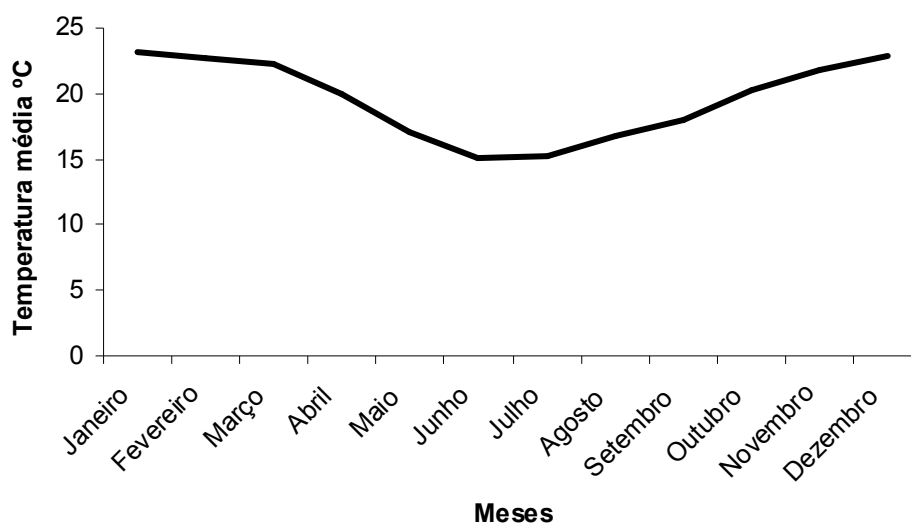


Figura 1: Temperatura média mensal para o ano de 2007

Caracterização da velocidade do vento e avaliação do potencial eólico

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 por uma variação da fórmula de Betz (Macintyre, 1983 in Silva e Saraiva, 2009) que também permite uma avaliação do potencial máximo teórico do vento, onde:

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

em que,

$\frac{P}{A}$ - potência eólica disponível por unidade de área, W m²;

ρ - massa específica do ar, Kg m³;

V - velocidade do vento, m s⁻¹.

Para calcular a massa específica do ar, foram considerados os efeitos da temperatura do ar e da pressão. A partir do total diário acumulado dos registros de temperatura, calculou-se a temperatura média diária. Posteriormente, para o cálculo da massa específica do ar, adotou-se a equação 2:

$$\rho = \frac{P.133,3224}{287(T + 273,15)} \quad (\text{Equação 2})$$

em que,

ρ - massa específica do ar, Kg m³;

t - temperatura ambiente no horário da medição, °C;

P - pressão, Bar.

Para obter a pressão, utilizou-se a equação 3:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (\text{Equação 3})$$

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

Conversão da velocidade para a altura de torre do aerogerador

As médias diárias de velocidade do vento (m s^{-1}) foram convertidas para as alturas de 7, 10, 15, 30 e 50 m por meio da equação 3 proposta por Pasquil (1949), citada por Wagner (1989), em que V_1 e V_2 são as velocidades para as alturas Z_1 e Z_2 , respectivamente:

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^{0,143} \quad (\text{Equação 3})$$

A partir da determinação da potência eólica disponível no local, converteu-se a velocidade km h^{-1} para m s^{-1} e a partir daí calculou-se a velocidade do vento a uma altura de 7, 10, 15, 30 e 50 m, considerando que os dados coletados na estação baseavam-se no registro a 2 metros de altura, com o intuito de verificar o comportamento da potencial eólica em diferentes alturas.

Resultados e Discussão

Embora a força dos ventos seja abundante e inesgotável e possa ser utilizada como fonte de energia renovável limpa e disponível em muitos lugares, verificou-se que a sua ocorrência foi irregular para o período analisado. Apesar de se poder utilizar o potencial eólico como uma fonte de baixo custo, pode-se verificar que pelos resultados encontrados neste trabalho a velocidade do vento local pode ser considerada como um fator limitante ao uso como fonte de energia.

Como o objetivo deste trabalho à obtenção de estimativas preliminares do potencial eólico da localidade em apreço, o estudo reveste-se de plena validade. O ideal seria obterem-se estimativas a partir de séries adequadas de registros, tomados experimentalmente nas alturas de 7, 10, 15, 30 e 50 m. Todavia estas séries não estão disponíveis e, se fossem iniciadas agora estas captações de dados teriam que esperar alguns anos para iniciar este trabalho.

Observando o comportamento da velocidade do vento a 2 m pela Figura 2 verificou-se que a velocidade média histórica do vento para Cascavel sempre se apresenta superior a 3 m s^{-1} , enquanto no Campus da FAG o vento apresentou-se inferior a 3 m s^{-1} no período analisado. Segundo Souza (1993), para que um sistema eólico torne-se viável, a velocidade do vento deve ser superior a 3 m s^{-1} .

Porém, nota-se que durante os meses de agosto a outubro foram obtidas as maiores médias, sendo respectivamente, 2,8; 2,9 e 2,7 m s^{-1} . Em contrapartida, os meses de março e

dezembro registraram as menores médias para velocidade de vento, sendo 1,5 e 1,6 m s^{-1} , respectivamente.

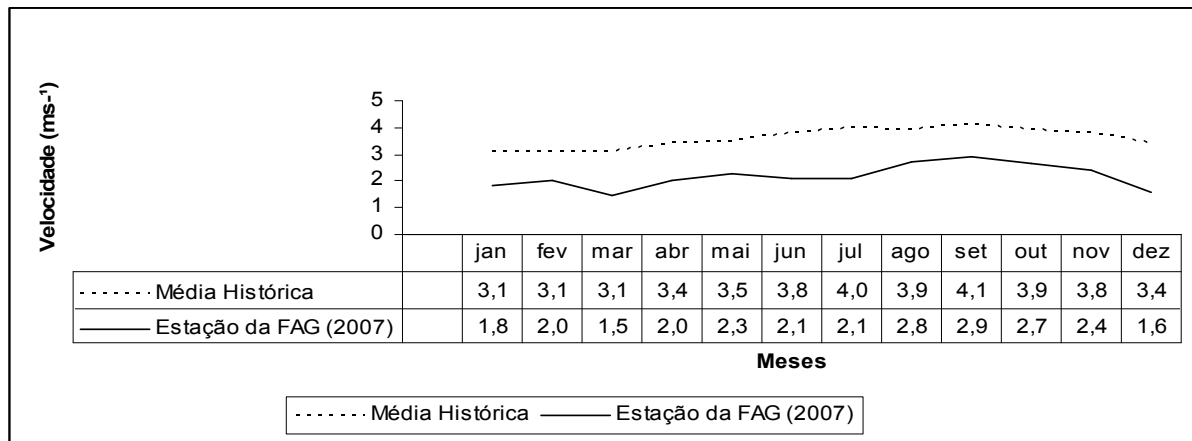


Figura 2 - Médias mensais da velocidade do vento (m s^{-1}) a 2m de altura.

A velocidade mensal disponível variou de uma estação do ano para outra no local. Observa-se que durante o inverno e primavera, foram registradas as maiores médias de velocidade do vento, sendo 2,46 e 2,38 m s^{-1} respectivamente.

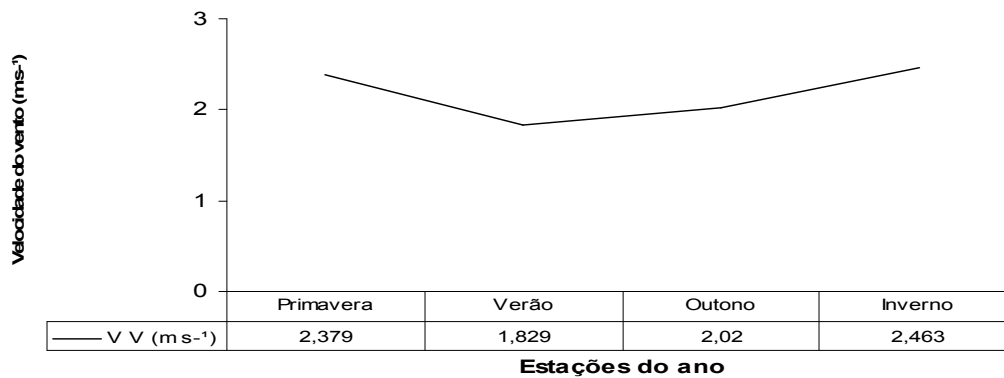


Figura 3 - Médias sazonais da velocidade do vento (m s^{-1}) durante o ano de 2007 a 2m de altura.

A partir das velocidades médias diárias, utilizando-se da equação proposta por Wagner (1989), foram obtidas, diariamente, as potências eólicas disponíveis por unidade de área e suas respectivas médias mensais e sazonais, sendo as médias mensais e a estatística de dispersão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da análise estatística aplicada às médias mensais de velocidade do vento (m s) e potência eólica disponível por unidade de área em $W m^{-2}$ a 2 m de altura

Mês	Média	Média	Mediana	Desvio	Valor	Valor	CV (%)
	V V (m/s)	PE ($W m^2$)	PE ($W m^2$)	Padrão PE	Mínimo PE	Máximo PE	
Janeiro	1,815	5,87	3,222	8,235	0,121	31,221	140,28
Fevereiro	2,017	7,12	3,584	7,904	0,321	31,062	111,01
Março	1,486	2,755	2,018	2,986	0,17	11,049	108,38
Abril	2,013	7,012	3,719	7,422	0,355	27,341	105,84
Mai	2,255	11,598	5,493	15,085	0,188	67,004	130,06
Junho	2,109	8,372	4,753	9,944	0,15	51,308	118,77
Julho	2,074	8,611	5,784	9,826	0,303	36,405	114,11
Agosto	2,75	20,054	9,122	24,799	0,674	100,926	123,66
Setembro	2,919	20,536	16,363	18,343	1,039	70,623	89,32
Outubro	2,685	18,268	10,887	20,671	0,202	80,418	113,14
Novembro	2,396	14,684	4,761	21,464	0,1	86,805	146,18
Dezembro	1,589	4,054	1,894	5,641	0,144	24,746	139,12

V V = Velocidade do vento; PE = Potência eólica.

De acordo com Souza (1993), a potência eólica acima de $15 W m^2$ torna viável o uso de energia eólica na agricultura. Assim sendo, a partir dos dados apresentados na Tabela 1, verifica-se que durante os meses de agosto e outubro o local analisado teria potencial eólico disponível, visto que os valores registrados foram 20,054; 20,536 e 18,268 $W m^2$, respectivamente.

No mês de setembro observa-se um crescimento da potência eólica média (20,536 $W m^2$) e redução do coeficiente de variação quando comparado com os demais meses (CV 89,32%), caracterizando que neste mês, foi registrada menor heterogeneidade nos dados com relação a sua média.

Em contrapartida, os meses de março, dezembro e janeiro registraram as menores médias de potencial eólico disponível, sendo respectivamente, 2,755; 4,054 e 5,87 $W m^2$. O mês de novembro apresentou o maior índice de coeficiente de variação (CV 146,18%), indicando que este foi o período de maior heterogeneidade dos dados.

O potencial máximo eólico identificado por Sopian *et al.* (1995) em estudos feitos na Malásia foi de 85,61 $W m^2$ a 10 m de altura (Silva *et al.*, 2002). Já Sousa & Granja (1997) em estudos no Brasil, nas cidades de Dourados e Campo Grande MS, utilizando registros de seis

anos de dados do INMET, chegaram a valores de 40,2 e 49,8 W m^{-2} com vento medido a 10 m de altura.

Ao analisar a Tabela 1 que expressa o potencial eólico disponível para cada estação do ano, verifica-se que durante a primavera e o inverno, a potência eólica mínima exigida para a implantação de um sistema eólico, segundo Souza (2003), quase é atingido, visto que as médias registradas foram respectivamente 14,63 e 14,46 W m^{-2} .

Pelos resultados encontrados com os dados da estação agroclimatológica localizada no Campus da Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel - Pr, pode se afirmar que o potencial local é promissor para o uso desta fonte de energia, concordando com resultados encontrados por Silva e Burguenõ (2001). Entretanto, é importante lembrar que, tendo em vista as características pontuais dos ventos, os resultados apresentados tem validade para o local onde se encontra a estação meteorológica e suas vizinhanças (loais próximos e de mesma topografia).

Ressalta-se ainda que, durante a primavera foi registrada a maior heterogeneidade dos dados (CV 50,31%).

Tabela 2 - Resultados da análise estatística aplicada às médias sazonais da potência eólica disponível por unidade de área em W m^{-2} a 2m de altura

Estação do Ano	Média (W m^{-2})	Mediana (W m^{-2})	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	CV (%)
Primavera	14,632	5,706	19,84	0,1	86,805	50,31
Verão	5,707	2,841	7,28	0,121	31,221	41,72
Outono	8,131	3,643	11,31	0,17	67,004	43,36
Inverno	14,457	7,536	17,909	0,15	100,926	43,07

Silva *et al.*, (2004), avaliaram o potencial eólico de algumas localidades no estado de Santa Catarina. A partir dos dados coletados, concluiu-se que as regiões mais promissoras localizam-se no litoral sul catarinense, em Laguna, no município de Água Doce. Notou-se constância de vento em São Joaquim e Água Doce durante o período analisado, sendo que as velocidades médias encontradas foram 5,70 e 6,40 m s^{-1} , respectivamente.

A área do rotor dos motores eólicos é frequentemente é muito superior a 1m^2 , o que aumenta consideravelmente os potenciais eólicos. O uso de um cata-vento da marca Kenya, em Santa Vitória do Palmar, com velocidade média anual de $4,6\text{m/s}$, geraria uma potência de cerca de $310,5\text{ W}$.

Para o aproveitamento do potencial eólico disponível no campus da Faculdade Assis Gurgacz é importante o conhecimento da direção predominante do vento, principalmente no dimensionamento e localização das torres. Equipamentos modernos possuem um sistema de modificação de posicionamento, permitindo um melhor aproveitamento do vento. Na aquisição dos equipamentos deverá ser levado em conta à existência de proteção contra danos causados por possíveis rajadas de vento (Sobral e Faccioli, 2009).

As médias mensais de velocidade de vento (m s^{-1}) e a potência eólica gerada em cada altura de torre são apresentadas na Tabela 3 e 4, respectivamente.

Conforme os registros apresentados na Tabela 3 e 4, a utilização de um sistema eólico é viável durante a primavera e o inverno, desde que o aerogerador seja posicionado em uma torre com altura mínima de 10m . Nas demais estações, verão e outono, a velocidade do vento mínima exigida para a utilização deste sistema gerador de energia (3 m s^{-1}) e a potência eólica necessária (15 W m^2), não foram registradas.

Em contrapartida, a partir do posicionamento de um aerogerador em uma torre com altura mínima de 30 metros , o sistema eólico torna-se viável em qualquer estação do ano, embora, os períodos de maior produção sejam durante a primavera e o inverno, períodos estes, que registraram as maiores velocidades de vento (m s^{-1}).

Silva e Burgueño (2001), estimaram o potencial eólico a partir de tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal do vento, em Pelotas-RS. A partir da análise, os autores observaram que as potências eólicas estimados para os níveis de probabilidade de 25 , 50 e 75% , apresentam-se como razoáveis para diversas atividades agrícolas e turísticas na região.

Tabela 3 - Análise das médias sazonais estimadas de velocidade do vento (m s^{-1}) a variação na altura da torre

Mês	Estatística	Altura das Torres (m)				
		7	10	15	30	50
Primavera	Média	2,85	3,00	3,17	3,50	3,77
	DP	1,43	1,151	1,60	1,76	1,90
	Máximo	6,29	6,62	7,02	7,75	8,34
	Mínimo	0,66	0,69	0,73	0,81	0,87
	CV	50,32	50,32	50,32	50,32	50,32
Verão	Média	2,20	2,31	2,45	2,71	2,91
	DP	0,91	0,96	1,02	1,12	1,21
	Máximo	4,48	4,72	5,00	5,52	5,94
	Mínimo	0,70	0,74	0,78	0,87	0,93
	CV	41,44	41,44	41,44	41,44	41,44
Outono	Média	2,39	2,51	2,66	2,94	3,17
	DP	1,02	1,07	1,13	1,25	1,35
	Máximo	5,72	6,02	6,38	7,05	7,58
	Mínimo	0,79	0,83	0,88	0,97	1,04
	CV	42,59	42,59	42,59	42,59	42,59
Inverno	Média	2,92	3,07	3,26	3,60	3,87
	DP	1,25	1,32	1,39	1,54	1,66
	Máximo	6,57	6,91	7,32	8,09	8,70
	Mínimo	0,75	0,79	0,84	0,92	0,99
	CV	42,81	42,81	42,81	42,81	42,81

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação.

Silva *et al.*, (2004) analisaram o potencial eólico de algumas localidades do Rio Grande do Sul. As estimativas de potencial eólico obtidas mostraram que os valores estimados para os níveis de probabilidade de 25, 50 e 75% da velocidade média pentadal, apresentaram-se adequados para diversas atividades agrícolas e turísticas nas quatro localidades avaliadas. A partir das velocidades médias anuais de vento, verificou-se que as localidades avaliadas comprovaram as indicações de regiões favoráveis ao uso de energia eólica, expressas no mapa do potencial eólico do Rio Grande do Sul. As velocidades médias

registradas foram de $1,526 \text{ m s}^{-1}$, $1,577 \text{ m s}^{-1}$, $1,046 \text{ m s}^{-1}$ e $0,852 \text{ m s}^{-1}$ em Caxias do Sul, Campo Bom, Santa Rosa e Taquari, respectivamente.

Tabela 4 - Análise das médias sazonais estimadas de potência eólica (W m^2) a variação na altura da torre.

Mês	Estatística	Potência eólica (W m^2)				
		7	10	15	30	50
Primavera	Média	25,04	29,18	34,73	46,75	58,21
	DP	33,95	39,57	47,08	63,39	78,92
	Máximo	148,30	172,81	205,65	276,86	344,70
	Mínimo	0,17	0,20	0,24	0,32	0,40
	CV	135,58	135,58	135,28	135,58	135,58
Verão	Média	9,91	11,54	13,74	18,49	23,02
	DP	12,56	14,64	17,42	23,45	29,19
	Máximo	53,66	62,53	74,42	100,19	124,73
	Mínimo	0,21	0,24	0,29	0,39	0,48
	CV	126,80	126,80	126,82	126,80	126,80
Outono	Média	12,94	15,08	17,95	24,17	30,09
	DP	17,52	20,42	24,30	32,72	40,73
	Máximo	111,44	129,86	154,43	208,05	259,02
	Mínimo	0,29	0,34	0,40	0,54	0,68
	CV	135,37	135,37	135,37	135,37	135,37
Inverno	Média	23,46	27,34	32,53	43,80	54,53
	DP	29,20	34,03	40,49	54,51	67,87
	Máximo	168,61	196,49	233,82	314,79	391,91
	Mínimo	0,25	0,29	0,35	0,47	0,58
	CV	124,46	124,46	124,46	124,46	124,46

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação.

Existem diversos modelos de aerogeradores, porém, neste trabalho, realizou-se uma análise dos modelos Whisper H100, H200 e H500. O primeiro, Whisper H100, é projetado para operar em locais com ventos médios de $5,4 \text{ m s}^{-1}$; o segundo, Whisper H200, é projetado

para locais com velocidade inferior a $5,4 \text{ m s}^{-1}$; e o terceiro, o Whisper H500 também trabalha com ventos de $5,4 \text{ m s}^{-1}$.

Segundo informações do fabricante, o Whisper H100, tem um custo de \$ 21.476,80; o Whisper H200 tem um custo inicial de \$ 25.940,80 e o Whisper H500 \$ 67.208,00¹.

Ressalta-se ainda que, conforme se aumenta a altura da torre para o posicionamento do aerogerador, a velocidade do vento e a potência eólica, aumentam proporcionalmente. Assim sendo, quanto maior a altura da torre, maior a velocidade do vento e, conseqüentemente, maior a produção de energia eólica.

Resultados de trabalhos de avaliação do potencial eólico para a geração de energia, medidos em vários locais no Brasil apresentado pela Eletrobrás (Procel, 2009), mostram a possibilidade da geração de energia elétrica com custo da ordem de 70 a 80 dólares por MWh. Nos Estados Unidos no ano de 2004, estes valores atingiram a 45 dólares o MWh. No Estado do Texas o custo da energia eólica diminuiu drasticamente chegando a 0,039 dólares o kWh.

Embora os resultados encontrados nas tabelas não tenham sido testados, o método empregado na sua construção é o mesmo utilizado em outros trabalhos já publicados, onde os testes puderam ser realizados (Baptista da Silva e Burgueño, 2001), o que nos inclina a aceitá-los como adequados. No momento em que uma série de dados de mais anos forem disponibilizados, será possível atingir uma determinada magnitude de observações que permitam afirmar com maior acurácia a legitimidade dos resultados.

Embora fosse esperada, em função das médias históricas apresentadas pelo IAPAR (2009) e altitude (780 m), uma velocidade média anual superior àquela ocorrida no Campus da FAG ($3,6 \text{ m s}^{-1}$), o vento apresentou a velocidade média anual de $2,2 \text{ m s}^{-1}$. O fato de ter-se valores muito pequenos para as velocidades médias mensais e, conseqüentemente, baixos potenciais eólicos, deve-se às condições orográficas e à topografia ambiente onde está situada a Estação Agroclimatológica. A estação localiza-se em uma área de quebra vento a norte por uma reserva florestal e a sul por uma grande construção, o que diminuiu significativamente a velocidade do vento na direção predominante (NE). Entretanto, isto não significa que os ventos incidentes em toda região onde se localiza a IES sejam insuficientes para geração de energia elétrica, mas sim evidenciam a localização inadequada da estação e do aerogerador para este tipo de expectativa e reforça o conhecimento da ação pontual dos ventos. Por outro lado, a intensidade da velocidade do vento para o local é suficientemente grande para o uso do vento no bombeamento d'água para fins agrícolas.

¹ Valores convertidos em dólares segundo a cotação do dia 07 de dezembro de 2008 (Dólar comercial R\$ 2,48).

Velocidades a partir de $2,2 \text{ m s}^{-1}$ permitem a instalação de modelos de cataventos que podem obter vazões superiores a 2000 l h^{-1} (Cataventos Kenya, 2001). Neste caso, a área em que está localizado a Faculdade Assis Gurgacz pode ser servida com essa tecnologia, tendo um uso mais racional dos recursos naturais existentes, uma alternativa viável às práticas de irrigação e uso doméstico da água, e ainda servir como uma atração do ponto de vista turístico e ecológico.

Conclusão

Os valores médios mais elevados de velocidade vento no campus da Faculdade Assis Gurgacz – FAG, em Cascavel – PR, foram encontrados para os meses de agosto e setembro respectivamente, $2,75$ e $2,91 \text{ m s}^{-1}$ acompanhando os potenciais eólico de $20,05$ e $20,53 \text{ W m}^2$, o que justifica a instalação de aerogeradores a partir da altura de torre de 50m .

Referências

BAPTISTA DA SILVA, J.; ANDRIONI, J. e SARAIVA, I. **Estimativa do potencial eólico de São Luiz Gonzaga-RS, usando Precipitações pentadais**. Disponível em: <http://www.criatividadecoletiva.net/cbm-files/14-6969fef95214de5760b4dc706d2d0c4c.pdf> Acesso em 07 de Agosto de 2009.

BAPTISTA da SILVA, J., BURGUEÑO, L.E.T. Estimativa do potencial eólico a partir de tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal do vento, na Cascata, em Pelotas – RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001.

CAMARGO, A. S. G. **Análise da operação das usinas eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades no Paraná**. 2005. 248 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.

CATAVENTOS KENYA. **Bombeamento d'água: uso de catavento**. Disponível em: <http://www.cataventoskenya.com.br/cataventos.html>. Acesso em 07 de Agosto de 2009.

ENERGIA PURA. Disponível em <http://www.energiapura.com/produtos_eolico.htm>. Acesso em: 06 de novembro de 2008.

GARCIA, A.; TORRES, J.L.; PRIETO, E.; DE FRANCISCO, A. Fitting wind speed distributions: A case study. **Solar Energy**, Freiburg, v.62, n.2, p.139-144, 1998.

GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. 3 ed. São Paulo: Atual, 1998. IAPAR - **Instituto Agrônomo do Paraná**. Disponível em: www.iapar.br. Acesso em 07 de Agosto de 2009.

LEITE, A.P.; BORGES, C.L.T.; FALCÃO, D.M. Modelagem de Usinas Eólicas para estudos de confiabilidade. **Revista Controle & Automação**. v. 17, 2006.

OLIVEIRA, J. Análise climatológica do potencial eólico na região de Cascavel – PR. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 23, 2003.

ORTIZ, L. S.; STANCICH, E. e SWITKES, G. Seminário internacional fontes alternativas de energia e eficiência energética – **Opção para uma política sustentável no Brasil**. Brasília, 2002.

PROCEL. **Informativo Eletrobrás do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**, 2009.

SILVA, B.B.; ALVES, J. J. A.; CAVALCANTI, E. P. e DANTAS, R. T. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 6, 2002.

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**. Santa Maria, v. 12, n. 1, 2004.

SILVA, G. K.; COLLE, S.; PASSOS, J. C.; REGUSE, W. e BEYER, H. G. **Metodologia de avaliação do potencial de geração eólica para o estado de Santa Catarina**. Trabalho apresentado no III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Florianópolis, 2004.

SILVA, B. B.; ALVES, J. J.A.; CAVALCANTI, E. P. e DANTAS, R. T. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, 2002.

SILVA, J. B. e BURGUEÑO, L. E. T. Estimativa do potencial eólico a partir de tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal do vento, na Cascata, em Pelotas-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.9, n.2, 2001.

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

SOBRAL, F. S. B. e FACCIOLI, G. G. **Avaliação do Potencial Eólico para Geração de Energia em Nossa Senhora da Glória-SE**. Disponível em: http://www.scientiaplena.org.br/sp_v5_062401.pdf. Acesso em 07 de Agosto de 2009.

SOUZA, A e GRANJA, S.C. Estimativa dos parâmetros "C" e "K" do modelo de Weibull e da direção dos ventos para Campo Grande e Dourados, MS, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 1997.

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, Viçosa, 1993.

TOLMASQUIM, M.T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

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