

CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE CAMPINA GRANDE, PB

Bernardo Barbosa da SILVA¹, Enilson Palmeira CAVALCANTI¹, Theresa Carolina S. C. Cabral de MELO¹

INTRODUÇÃO

Para melhor caracterizar o vento de uma dada localidade, pesquisadores em diferentes países têm feito uso da distribuição de Weibull, por ser a mais adequada. Grande parte dos estudos de caracterização do vento, no entanto, tem utilizado o *Método Gráfico* de estimativa dos parâmetros do modelo de Weibull. Essa técnica proporciona resultados satisfatórios em muitos casos, mas há alternativas mais precisas e que proporcionam resultados mais confiáveis, caso do *Método dos Momentos* e do *Método da Máxima Verossimilhança* (Silva et al., 2002).

Dentre os estudos pioneiros com a distribuição de Weibull, merecem destaque especial os de Hennessey (1977) e Justus et al. (1978). Estes últimos aplicaram o modelo de Weibull à velocidade do vento medida em mais de cem localidades dos Estados Unidos, ocasião em que concluíram que esse modelo foi o que proporcionou o melhor ajuste aos dados de distribuição de freqüências da velocidade do vento. Hennessey (1978) realizou outro estudo em que comparava o desempenho dos modelos de Weibull e Rayleigh, quando concluiu que o erro máximo esperado, obtido com o uso do modelo uniparamétrico de Rayleigh em comparação com o da Weibull, é tolerável. Mais recentemente, Silva et al. (2002) identificaram o potencial da direção predominante de estações do Nordeste, mas não foi regionalizada a potência, o que teria proporcionado forte subsídio à escolha de áreas propícias à instalação de turbinas eólicas de grande porte, nem utilizado o Método da Máxima Verossimilhança.

A presente pesquisa tem por objetivo avaliar o potencial eólico de Campina Grande, com base em diferentes métodos de estimativa dos parâmetros da distribuição de Weibull, e identificado o método que proporciona melhor ajuste aos dados locais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados que serviram de base para o presente estudo consistem de velocidade e direção horários do vento registrados em anemógrafo *Fuess*, no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981, inclusive. O seu elemento sensível situava-se a 10 m da superfície e proporcionou a obtenção da direção horária predominante do vento e a velocidade média horária correspondente. Foram consideradas, para fins de identificação da direção horária predominante, oito faixas centradas nos pontos cardeais e colaterais. Cada faixa corresponde a 45° e nesse sentido a direção Norte compreende os ventos com direções entre 337,5° a 360° e de 0° a 22,5° (Silva et al., 2002).

O modelo de Weibull

A distribuição de Weibull tem sido utilizada em inúmeros estudos destinados à análise de freqüência da velocidade do vento, bem como na

identificação do potencial eólico de várias áreas do planeta (Hennessey, 1977; Justus et al., 1978; Bandeira, 1990; Souza & Granja, 1997; Silva et al, 2002; dentre outros). A sua função de densidade de probabilidade $f(x)$ e de distribuição $F(x)$, são iguais a:

$$f(x) = \left(\frac{a}{b}\right) \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad (1)$$

e

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad (2)$$

onde a é o parâmetro de forma (adimensional e positivo) e b é o fator de escala (dimensão de velocidade e positivo)

No Método Gráfico determinam-se a e b , através da solução da seguinte equação:

$$\ln\{-\ln[1 - F(x)]\} = -a \cdot \ln(b) + a \cdot \ln(x) \quad (3)$$

em que $F(x)$ é substituída pela freqüência empírica acumulada de Kimball (Silva et al., 2002). O procedimento de cálculo dos valores de a e b , a partir desta etapa, consiste em se considerar uma equação linear do tipo: $Y = a_0 + b_0 X$, em que $a_0 = -a \cdot \ln(b)$, $b_0 = a$ e $X = \ln(x)$.

No Método dos Momentos são obtidos os momentos de primeira $E(x)$ e segunda $E(x^2)$ ordens, centrados na origem, que para o modelo de Weibull são dados por:

$$E(x) = b \cdot \Gamma(1 + 1/a) \quad (4)$$

e

$$E(x^2) = b^2 \cdot \Gamma(1 + 2/a) \quad (5)$$

onde Γ refere-se à função matemática gama, cuja solução pode ser aproximada por polinômio. Considerando-se que a média aritmética amostral (x_m) e o desvio padrão ao quadrado (s^2), são estimadores da esperança matemática e variância da distribuição de Weibull, respectivamente, tem-se:

$$s^2 = x_m^2 \left(\frac{\Gamma(1 + 2/a)}{\Gamma^2(1 + 1/a)} - 1 \right) \quad (6)$$

que pode ser resolvida por método numérico destinado à obtenção da raiz de uma equação (Silva et al., 2002).

Para o Método da Máxima Verossimilhança, segundo solução proposta por Stevens & Smulders (1998), estimam-se os parâmetros de Weibull, segundo as expressões:

$$a = \left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i^a \cdot \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^a} - \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \right)^{-1} \quad (7)$$

¹ Prof. Dr. da UFCG, Campina Grande, PB. E.mail: bernardo@dca.ufcg.edu.br, enilson@dca.ufcg.edu.br

$$b = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^a \right) \quad (8)$$

onde v_i é a velocidade do vento ($m.s^{-1}$), e n o número de dados não-nulos da amostra. A eq.(7) deve ser resolvida iterativamente (inicialmente atribui-se $a = 2$) e em seguida obtém-se o valor de b através da eq. (8). Em geral 20 iterações proporcionam uma boa conveniência de a e b . Esta técnica foi usada com sucesso por Seguro & Lambert (2000).

A densidade de potência eólica média horária (W/m^2) foi calculada com base nos parâmetros da distribuição de Weibull, obtidos pelos três métodos já mencionados e na frequência relativa $[fr(d)]$ correspondente à direção predominante do vento, em cada mês, segundo a expressão:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot E(x^3) \cdot fr(d) \quad (9)$$

em que ρ é massa específica do ar úmido ($1,15 \text{ kg.m}^{-3}$) e $E(x^3)$ o terceiro momento centrado na origem, que para a distribuição de Weibull é igual a:

$$E(x^3) = b^3 \cdot \Gamma(1 + 3/a) \quad (10)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A direção predominante do vento em Campina Grande é de leste, exceto nos meses de maio a setembro, que é sudeste. Portanto, foram obtidos os parâmetros de Weibull e a potência correspondente, para a direção leste. Na Tabela 1 constam os valores de a e b , obtidos segundo as três técnicas usadas. Como pode ser visto, não há grandes diferenças entre os valores obtidos para um mesmo mês. Por outro lado, também não há diferença significativa entre as potências obtidas segundo os três métodos. No entanto, quando analisados os ajustes segundo o teste de Kolmogorov – Smirnov, conclui-se que o Método da Máxima Verossimilhança foi o que proporcionou melhor ajuste aos dados de vento estudados. Na Tabela 2 consta, ainda, o número de dados utilizados no cálculo dos parâmetros de Weibull. Em novembro foram considerados 3083 dados horários da velocidade do vento, constituindo a maior amostra, e julho, embora sendo a menor amostra, resultou em 640 dados de velocidade do vento.

O mês de maior potencial eólico foi o mês de novembro, com cerca de 60 W.m^{-2} , seguido de dezembro, com mais de 50 W.m^{-2} . As menores potências foram registradas em junho e julho. Ao avaliar o potencial eólico da Malásia, Sopia et al. (1995) observaram que o maior potencial foi obtido em Mersing, com DPMA igual a $85,615 \text{ W.m}^{-2}$ a 10 metros, alcançando $119,755 \text{ W.m}^{-2}$ no mês de janeiro. Já Tolun et al (1995) observaram que no noroeste da Turquia a DPMA chegou a 342 W.m^{-2} , observada na localidade de Cinaralti.

CONCLUSÃO

Não obstante a Máxima Verossimilhança ter proporcionado o melhor ajuste aos dados de vento de Campina Grande, não houve diferença significativa entre os parâmetros obtidos pelos métodos estudados.

Tabela 1 – Parâmetros de forma (a) e de escala (b) da distribuição de Weibull em Campina Grande, obtidos com os métodos da máxima verossimilhança, dos momentos e dos mínimos quadrados.

Método Mês	Max.Ver.		Momentos		Min.Quad.	
	a	b	a	b	a	b
Jan	3,940	5,015	3,952	5,008	3,895	4,955
Fev	3,582	4,860	3,582	4,856	3,709	4,766
Mar	3,388	4,540	3,348	4,538	3,355	4,434
Abr	3,418	4,039	3,404	4,036	3,410	3,952
Mai	3,356	3,821	3,349	3,815	3,449	3,762
Jun	3,068	3,846	3,098	3,839	2,710	3,857
Jul	3,510	4,077	3,490	4,075	3,424	3,987
Ago	3,875	4,526	3,780	4,532	3,099	4,452
Set	4,195	4,938	4,170	4,938	3,956	4,874
Out	4,697	5,200	4,592	5,201	3,731	5,233
Nov	4,782	5,204	4,789	5,198	5,139	5,131
Dez	4,395	5,028	4,411	5,022	4,654	5,009

Tabela 2 – Potência eólica mensal em Campina Grande obtida com os métodos da máxima verossimilhança, dos momentos e dos mínimos quadrados.

Mês	No.de dados	Potência - Wm^{-2}		
		Max.Ver	Momentos	Min.Quad.
Jan	2087	41,52	40,88	39,74
Fev	2097	39,02	39,21	36,74
Mar	1860	26,13	26,18	24,40
Abr	1485	15,17	15,16	14,23
Mai	1063	8,88	8,86	8,42
Jun	818	7,46	7,39	7,98
Jul	640	6,97	6,98	6,57
Ago	970	13,05	13,17	13,26
Set	1601	28,31	28,34	27,52
Out	2548	50,19	50,39	53,13
Nov	3084	62,82	62,59	59,89
Dez	2919	52,95	52,72	51,99

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bandeira, M. M. **Regionalização do regime eólico no Nordeste do Brasil**. Campina Grande, PB, DCA, UFCG (Dissertação de Mestrado). 1990, 62p.
- Henessey, Jr. J.P. Some aspects of wind power statistic. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 16, n. 2, p. 119 – 128, 1977.
- Justus, C. G; Hargraves, W. R; Mikail, A; Graber, D. Methods for estimating wind speed frequency distributions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 17, n. 3, p. 350 – 353, 1978.
- Seguro, J.V. & Lambert, T.W. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. **Journal of Wind Engineering**, 85: 75-84, 2000.
- Silva, B. B. da; Alves, J. J. A; Cavalcanti, E.P. & Dantas, R.T. **Revista Bras. De Eng. Agrícola e Ambiental**, v.6,n.3, p. 431-439, 2002.
- Sopian, K; Othman, M. Y. H; Wirsat, A. The wind energy potential of Malaysia. **Renewable Energy**, v. 6, p. 1005 - 1016, 1995.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.