

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado a instalação de turbinas eólicas em alguns pontos do litoral do Nordeste. Conseqüentemente, há necessidade de se avaliar criteriosamente o potencial eólico de toda a região e nesse sentido é imprescindível o uso da distribuição de Weibull.

Um grande problema associado ao uso do modelo de Weibull reside na estimativa dos seus parâmetros (de forma a e de escala b). O método mais utilizado para tal propósito é o *método gráfico*, ou *dos mínimos quadrados*, provavelmente em virtude de sua relativa simplicidade quando comparados com o *dos momentos* e da *máxima verossimilhança*. Alguns estudos que ultimamente fizeram uso do método gráfico são: MAYHOUB e AZZAM (1997), COELINGH et al. (1996), SCERRI e FARRUGIA (1996), TORRES et al. (1999), LUN e LAM (2000). Atribuía-se o uso tão generalizado desse método à não disponibilidade dos atuais microcomputadores. Como se vê, no entanto, o problema parece ser de outra ordem.

O método considerado como o que oferece estimativas mais precisas dos parâmetros de um modelo probabilístico é o da *máxima verossimilhança*. Em seguida, vem o *dos momentos*, que em muitos casos se constitui no mais simples e é muito utilizado. Nos estudos em que são realizadas comparações entre esses métodos se confirma a melhor performance do da *máxima verossimilhança* (SEGURO e LAMBERT, 2000).

No presente momento estamos identificando o potencial de energia eólica do Nordeste, baseado no uso intensivo da distribuição de Weibull, e estimativa dos seus parâmetros com as três técnicas acima mencionadas. O mais importante, nesse sentido, é que tal potencial está levando em consideração, não apenas o melhor método de estimativa dos parâmetros do modelo, mas, principalmente, a distribuição freqüência das velocidades e a direção prevaiente horárias, como forma de oferecer subsídio à instalação de turbinas eólicas nesta região. Nesta oportunidade são apresentados resultados preliminares apenas para os meses de janeiro e julho, para o ano de 1977 em Campina Grande-PB.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados usados na pesquisa correspondem às velocidades médias horárias do vento medidas com anemógrafo universal Fuess, a 10m de altura. Em janeiro e julho foram considerados 744 e 463 valores, respectivamente.

O modelo de Weibull

Uma variável aleatória x, contínua e independente, distribui-se segundo o modelo de Weibull, se a função de densidade de probabilidade for do tipo:

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

onde a é o parâmetro de escala (adimensional) e b é o de forma (dimensão de velocidade), ambos positivos.

A função de distribuição, F(x₀), associada ao referido modelo probabilístico, é dada por:

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

Como se pode observar, a determinação de F(x) é facilmente obtida ao integrar-se f(x) através da substituição: u = (x/b)^a.

Método dos mínimos quadrados - MMQ

É o método que tem sido mais amplamente utilizado, principalmente antes da utilização massiva de microcomputadores. Considere-se a função:

$$1 - F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad (3)$$

onde F(x) é a função de distribuição associada ao modelo de Weibull. Ao se aplicar o logaritmo neperiano a ambos os lados da equação acima, obtém-se:

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

Multiplicando-se o resultado por -1 e repetindo-se o mesmo procedimento, obtém-se:

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

O procedimento de cálculo dos valores de a e b, a partir desta etapa, consiste em de considerar uma equação do tipo: Y = a₀ + b₀ X, ou seja, uma equação do primeiro grau, em que a₀ = -a · ln(b), b₀ = a e X = ln(x). F(x) é, então, substituída pela freqüência Califórnia.

Método dos momentos - MOM

Consiste em se obter os momentos de primeira [E(x)] e segunda [E(x²)] ordens, centrados na origem. Para o referido modelo, E(x) e E(x²) são dados por:

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

e

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

Por sua vez, sabendo que a variância de x, por definição, é dada por E(x²) - [E(x)]², o que resulta, para a distribuição de Weibull, na seguinte igualdade:

$$Var(x) = b^2 \cdot [\Gamma(1 + 2/a) - \Gamma^2(1 + 1/a)]$$

¹ Dr., Professor Adjunto da UFPB, Campina Grande, PB, e Pesquisador do CNPq

² Mestrando em Meteorologia, UFPB, Campina Grande, PB

Extraindo o valor de b da equação de E(x) e considerando que $E(x) = xm$ e $Var(x) = s^2$, ou seja, admitimos que a média aritmética amostral e o desvio padrão ao quadrado, são estimadores da esperança matemática e da variância da distribuição de Weibull, tem-se que:

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

O problema que se apresenta agora é o de se identificar a para o qual a igualdade acima é satisfeita. Ou seja, o problema agora é obter a raiz da equação:

$$f(a) = s^2 - xm^2 \left(\frac{\Gamma(1+2/a)}{\Gamma^2(1+1/a)} - 1 \right)$$

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos para os meses de janeiro e julho de 1977, em Campina Grande, estão sumarizados na Tabela 1. Como pode ser observado, os melhores ajustes são verificados com o MOM. Foram calculadas as diferenças entre a Califórnia $C(x)$, e a $F(x)$ de cada caso, em valor absoluto, o que possibilita o teste de ajustamento segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 1 – Parâmetros a e b de Weibull segundo os métodos dos momentos e gráfico

Métodos	a	B	Dmax
MOM	Jan 2,955	Jan 4,545	0,0536
	Jul 2,325	Jul 3,725	0,0578
MMQ	Jan 2,055	Jan 4,692	0,1016
	Jul 1,907	Jul 3,701	0,0660

Nas figuras 1 e 2 são apresentadas as distribuições empírica (em verde) e as obtidas pelo MOM (vermelho) e MMQ (azul), para os meses selecionados. Fica evidenciada a melhor performance do MOM.

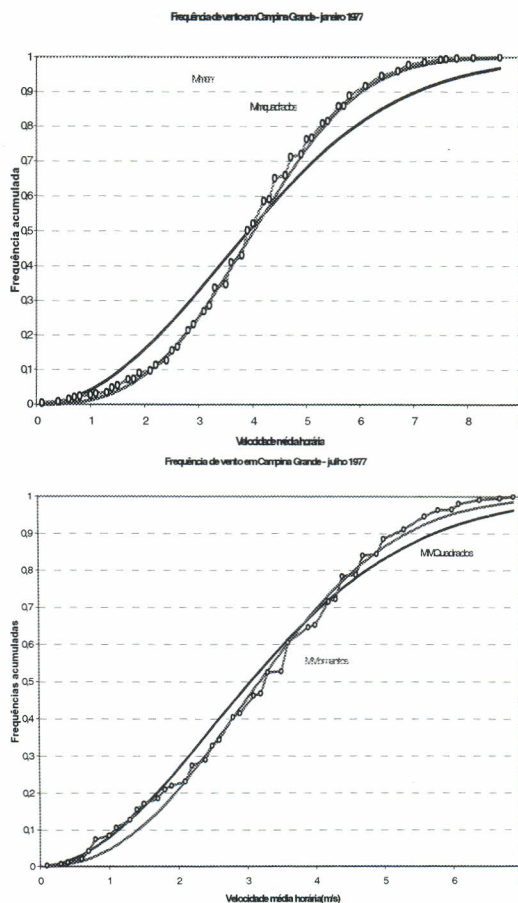
Potência eólica média (w/m^2) é obtida segundo a determinação da expressão:

$P = 0,5 \cdot \rho \cdot E(x^3)$, onde este último é uma função de a e b, e é calculado por: $E(x^3) = b^3 \cdot \Gamma(1+3/a)$. Para os meses de janeiro e julho P foi igual a 60,31 w/m^2 e 38,49 w/m^2 , respectivamente.

4. CONCLUSÃO

O MOM proporciona melhor ajustamento da velocidade do vento, quando comparado com o MMQ.

A potência eólica média (w/m^2) deve ser obtida com os valores de a e b usando o MOM.



Figuras 1 e 2 – Comportamento das distribuições empírica e de Weibull, segundo o MOM e MMQ para os meses de janeiro e julho de 1977 em Campina Grande, PB

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COELINGH et al. Analysis of wind speed observations over the North Sea. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 61:51-69, 1996.
- LUN, I., Y., F., e LAM, J., C. A study of Weibull parameters using long-term wind observations. *Renewable energy*, 20: 145-153, 2000.
- MAYHOUB, A., B. e AZZAM, A. Data bank: a survey on the assessment of Wind energy potential in Egypt. *Renewable energy*, 11(2): 235-247, 1997.
- SCERRI, E. e FARRUGIA, R. Wind data evaluation in the Maltese Islands. *Renewable energy*, 7(1): 109-114, 1996.
- SEGURO, J. V. e LAMBERT, T. W. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 85: 75-84, 2000.
- TORRES, J.L. et al. Characterization of wind speed data according to wind direction. *Solar energy*, 66: 57-64, 1999.