

AValiação DA DISTRIBUIÇÃO BETA COMO MODELO PROBABILÍSTICO PARA ANÁLISE DE DADOS DE VELOCIDADE DO VENTO PARA PONTA GROSSA - PR

EVALUATION OF THE BETA DISTRIBUTION AS A PROBABILISTIC MODEL FOR ANALYSIS OF WIND SPEED DATA FOR PONTA GROSSA - PR

Maysa de Lima Leite¹, Jorim Sousa das Virgens Filho²

¹ Autor para contato: Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Departamento de Biologia Geral, Campus em Uvaranas, Ponta Grossa, PR, Brasil; (42) 3220-3126; e-mail: mleite@uepg.br

² Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Departamento de Informática, Campus em Uvaranas, Ponta Grossa, PR

Recebido para publicação em 19/05/2006

Aceito para publicação em 20/10/2007

RESUMO

A análise do comportamento dos ventos é um dos principais parâmetros que norteiam o planejamento agropecuário e urbano de uma região, fornecendo informações importantes para o posicionamento de quebra-ventos, orientação na construção de estábulo, distribuição de diferentes culturas no campo, determinação de áreas destinadas à implantação de indústrias, de maneira que estas não prejudiquem áreas residenciais e principalmente no posicionamento e dimensionamento de torres para a utilização dessa fonte de energia natural. Nesta pesquisa foi avaliada a distribuição de probabilidades Beta como proposta de modelo para ajuste e representação dos dados de velocidade média do vento para a localidade de Ponta Grossa – PR. Para tanto, foram utilizados 26 anos de registros diários da velocidade média do vento predominante a 10 metros de altura. Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov evidenciaram que a distribuição Beta apresentou ajustes satisfatórios para a velocidade média do vento para todos os meses do ano durante o período avaliado.

Palavras-chave: velocidade do vento, Distribuição Beta, energia eólica.

ABSTRACT

The analysis of the behavior of winds is one of the main parameters that orientate the agricultural and urban planning of an area, supplying important

information for the positioning of windbreaks, for the orientation in the construction of stables, for the distribution of different crops in the field, for the determination of areas destined for the implantation of industries in a way that these will not harm residential areas and, mainly, for the positioning and planning of wind towers for the use of this natural source of energy. The distribution of Beta probabilities was evaluated in this research as a possible model for the adjustment and representation of data of the average wind speed for the city of Ponta Grossa, in the state of Paraná. In order to accomplish this, we used twenty-six years of daily registrations of the average speed of the predominant wind at a height of ten meters. The results of the test of Kolmogorov-Smirnov evidenced that the Beta distribution presented satisfactory adjustments for the average speed of the wind for all months of the year during the period encompassed by this study.

Key words: wind speed, Beta Distribution, eolic energy

Introdução

A sustentabilidade do setor energético depende da abordagem compreensiva de seus problemas, incluindo o desenvolvimento e adoção de inovações e incrementos tecnológicos em vários setores. Nesse sentido, a energia eólica é vista, hoje, como uma das fontes alternativas de geração de eletricidade com perspectivas de gerar quantidades substanciais de energia sem os impactos ambientais provocados por grande parte das fontes convencionais.

A energia do vento é proporcional ao cubo de sua velocidade, que por sua vez é susceptível de dobrar em um segundo. Assim, uma pequena variação na velocidade do vento acarreta grandes variações instantâneas na potência disponível (Reis *et al.*, 2005). Além disso, sendo a velocidade do vento uma variável aleatória, torna-se importante salientar a ocorrência de variabilidade sazonal, mensal, diária e até mesmo horária nos valores médios estimados dentro de uma série histórica. Essa variação que ocorre neste evento meteorológico justifica a utilização de análises criteriosas para estimativa dos valores a serem assumidos como constantes para uma determinada região. Análises estas relacionadas à distribuição de frequência dos valores estimados (Saad & Scallopí, 1988).

Segundo Bredeche & Breuzard (1981), a velocidade e a direção do vento, bem como a energia que ele contém, são previsíveis sobre o período de um mês, ou um ano e a velocidade do vento ajusta-se a um

modelo identificável durante o mês ou ano considerado. Vários outros pesquisadores chegaram a conclusões semelhantes e realizaram pesquisas ajustando um modelo probabilístico escolhido à distribuição de velocidades do vento registradas num dado local.

Pereira *et al.* (2002) afirmam que a intensidade e direção dos ventos são determinadas pela variação espacial e temporal do balanço de energia na superfície terrestre, que causa variações na pressão atmosférica, gerando os ventos. Dessa forma, torna-se possível concluir que localidades próximas podem ter comportamentos totalmente diferenciados como consequência de suas características peculiares de superfície e até mesmo devidos às alterações físicas que venham a sofrer ao longo do tempo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi a avaliar a distribuição de probabilidade Beta como modelo para ajuste e representação dos dados de velocidade média diária do vento, na localidade de Ponta Grossa - PR, durante o período estudado.

Material e métodos

Os trabalhos foram conduzidos no Laboratório de Pesquisa em Tecnologia da Informação Aplicada ao Agronegócio e Ciências Ambientais (INFOAGRO), pertencente ao Departamento de Informática da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Ponta

Grossa - PR. Foram utilizados registros diários da velocidade média predominante do vento obtidos junto à Estação Agrometeorológica de Ponta Grossa-PR pertencente ao IAPAR, situada no Parque Estadual de Vila Velha, com coordenadas geográficas de 25°13' de latitude sul 50°01' de longitude oeste e 880 metros de altitude. Os dados foram obtidos por meio de registros do Anemógrafo Universal, marca R. Fuess, cujos sensores estão situados a 10 metros acima do nível do solo, compreendendo uma série histórica de 26 anos referente ao período de janeiro de 1973 a dezembro de 1998.

Para descrever o comportamento da distribuição de frequências da velocidade média predominante do vento foi utilizada a distribuição de probabilidade Beta, cuja função densidade de probabilidade pode ser expressa da seguinte forma (Falls, 1973):

$$f(v) = \frac{1}{(b-a)} \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \left(\frac{v-a}{b-a}\right)^{p-1} \left(1-\frac{v-a}{b-a}\right)^{q-1} \quad (1)$$

onde a e b correspondem ao menor e maior valor da série de dados, respectivamente, Γ é o símbolo da função Gama das respectivas variáveis, p e q são parâmetros da distribuição Beta e v é um valor qualquer da variável em análise. A estimativa dos parâmetros p e q pode ser realizada a partir do método dos momentos (Pearson, 1934).

$$p = \frac{\mu_1(\mu_1 - \mu_2)}{[\mu_2 - (\mu_1)^2]} \quad (2)$$

$$q = \frac{(1 - \mu_1)(\mu_1 - \mu_2)}{[\mu_2 - (\mu_1)^2]} \quad (3)$$

onde μ_1 corresponde ao momento de ordem 1 e μ_2 ao momento de ordem 2 para a variável v , dentro de uma série de N dados. Estes termos podem ser estimados à partir da seguinte análise:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i}{N} \quad (4)$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N} \quad (5)$$

Para a estimativa dos valores de ocorrência de probabilidade, por meio da distribuição Beta, a equação (1) deve ser adimensionalizada para um intervalo compreendido entre [0 e 1]. A variável adimensionalizada v' toma então a seguinte forma:

$$v' = \frac{v-a}{b-a} \quad (6)$$

sugerindo que a função densidade de probabilidade Beta assumira a seguinte forma:

$$f(v') = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} (v')^{p-1} (1-v')^{q-1} \quad (7)$$

onde $0 \leq v' \leq 1$, para $p > 1$ e $q > 1$.

A integração numérica da equação (7), apresenta os valores da probabilidade de ocorrência para um valor de v qualquer, dentro do intervalo considerado.

O teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) foi utilizado para avaliar o modelo probabilístico ajustado aos dados observados. Segundo Costa Neto (1977), este teste é o mais adequado para verificar diferenças entre distribuições de frequências empíricas e distribuições de frequência teóricas.

O teste de K-S é aplicado para verificar se os valores de uma certa amostra de dados podem ser considerados como provenientes de uma população com distribuição teórica preestabelecida sob uma hipótese, a hipótese de nulidade (H_0).

O teste confronta duas distribuições de frequência acumuladas, uma $F'(X)$ teórica e outra $F(X)$ derivada dos dados amostrais, tal que:

1) Seja $F'(X)$ uma função de distribuição de probabilidade teórica com seus parâmetros especificados;

2) Seja $F(X)$ uma distribuição de probabilidade empírica, ou seja, para uma determinada classe de

frequência $F(X) = fa/n$, onde fa é a frequência absoluta acumulada da classe;

3) Determine-se:

$$D_{\text{máx}} = \text{MAX } |F'(X) - F(X)| \quad (8)$$

4) Se ao nível de significância estabelecido, o valor observado de $D_{\text{máx}}$ (calculado) for maior ou igual ao valor crítico de $D_{\text{máx}}$ (tabelado), a hipótese de nulidade, ou seja, a hipótese de que os dados amostrais

provém de uma população com distribuição teórica $F'(X)$ é rejeitada (Assis *et al.*, 1996).

Resultados e discussão

Como primeira etapa foi realizada uma análise exploratória da variável aleatória velocidade média de ventos (m.s^{-1}) para cada um dos meses do ano, cujas estatísticas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamento descritivo dos dados de velocidade média diária do vento (m.s^{-1}) para ajuste da distribuição de frequências empíricas ao modelo teórico Beta, para Ponta Grossa - PR, no período de 1973 a 1998.

Estatísticas	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximo	6,60	6,54	9,00	7,67	8,17	8,91	9,22	8,66	8,59	8,97	8,00	6,90
Mínimo	1,28	1,27	1,08	0,93	0,82	1,00	0,74	0,90	0,79	1,34	0,03	1,53
Amplitude Total	5,32	5,27	7,92	6,74	7,35	7,91	8,48	7,76	7,80	7,63	7,97	5,37
Total de dados (n)	806	734	806	780	806	780	806	806	780	806	780	806
Média Aritmética	3,35	3,04	3,02	3,21	3,09	3,26	3,72	3,74	4,02	3,93	3,96	3,69
D.Padrão	0,91	0,89	0,98	1,14	1,30	1,38	1,48	1,39	1,33	1,25	1,16	0,98
Variância	0,83	0,78	0,97	1,30	1,70	1,91	2,18	1,92	1,77	1,55	1,33	0,95
Coef. de Var. (%)	27,16	29,28	32,45	35,51	42,07	42,33	39,78	37,17	33,08	31,81	29,29	26,56
IC (μ) 5% - LI	3,29	2,98	2,95	3,13	3,00	3,16	3,62	3,65	3,93	3,84	3,88	3,62
IC (μ) 5% - LS	3,42	3,11	3,09	3,29	3,18	3,36	3,82	3,84	4,11	4,02	4,04	3,76

Observa-se que os meses de julho a dezembro apresentaram os valores mais altos de velocidade média do vento, sendo setembro o mês que mostrou o maior valor ($4,02 \text{ m.s}^{-1}$). Apesar disso, foi possível observar que os demais meses apresentaram valores médios bastante próximos entre si, não tendo ocorrido nenhum valor médio inferior a $3,02 \text{ m.s}^{-1}$. Por outro lado, valores elevados de amplitude total de velocidade média do vento foram observados para todos os meses, havendo menores amplitudes somente nos meses de dezembro a fevereiro. A variabilidade dos dados, medida pelo coeficiente de variação, concentrou-se entre 26,45 e 42,35%, tendo sido dezembro e junho, respectivamente, os meses responsáveis por estes valores. De uma maneira geral, os curtos intervalos de confiança obtidos para todos os meses sugerem que as médias mensais da amostra utilizada

foram bastante representativas das médias mensais populacionais da variável velocidade média do vento para a localidade em estudo.

Torna-se importante salientar que o clima dos Campos Gerais, região na qual Ponta Grossa está inserida, assim como o clima do Paraná de maneira geral, está relacionado, entre outros fatores, à infiltração das massas de ar frio, principalmente, durante o inverno e à ação dos ventos marítimos úmidos, influenciados pelo Anticiclone do Atlântico Sul, que provocam chuvas orográficas na Serra do Mar. Além disso, variações na posição do Equador Térmico e do Anticiclone do Atlântico Sul, que no verão posicionam-se ao sul e interferem na dinâmica climática do estado e dos Campos Gerais alteram, significativamente, as condições das precipitações, temperaturas, umidade relativa e dos ventos locais, (Melo, 2003).

Martins (1993) e Marques Júnior *et al.* (1995) analisaram o regime de ventos da região de Botucatu, estado de São Paulo e observaram que a velocidade média anual do vento permaneceu em torno de 2,20 e 1,74 m.s⁻¹ respectivamente em todos os meses do ano, para um período de 20 anos em ambos trabalhos. Silva *et al.* (1997), estudando o comportamento dos ventos em Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, observaram velocidades médias em todos os meses do ano entre 0 e 4,0 m.s⁻¹ em mais de 50% dos casos estudados. Nestes estudos, os autores foram unânimes quanto às possibilidades locais para o uso deste elemento como fonte de energia alternativa, apontando apreciável potencial eólico para tais localidades. Diante disso e dos resultados obtidos para Ponta Grossa, compreende-se que a exploração racional e direcionada deste elemento climático para a obtenção de recursos energéticos alternativos nesta localidade seja somente uma questão de tempo e conscientização dos agentes locais, entre eles os proprietários de áreas rurais.

As estimativas dos parâmetros mensais da distribuição Beta para os dados de velocidade média do vento são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Estimativas dos parâmetros mensais da distribuição Beta para os dados de velocidade média diária do vento (m.s⁻¹), para Ponta Grossa - PR, no período de 1973 a 1998.

Meses	Parâmetros	
	p	q
Janeiro	2,7713	4,3419
Fevereiro	2,3179	4,5765
Março	2,6835	8,2696
Abril	2,3031	4,5129
Mai	1,7877	3,9941
Junho	1,6292	4,0752
Julho	2,3006	4,2483
Agosto	2,2997	3,9819
Setembro	3,0489	4,3156
Outubro	2,5121	4,8917
Novembro	5,3879	5,5431
Dezembro	2,5277	3,7617

Verificou-se para a distribuição em estudo que, grandes oscilações foram observadas, onde o parâmetro “p” variou entre 1,6292 e 5,3879 enquanto o parâmetro “q” variou entre 3,7617 e 8,2696. Estes dois parâmetros definem a forma da distribuição e como ambos foram maiores que um, a distribuição é classificada como unimodal (Assis *et al.*, 1996)

Tabela 3 - Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov (5%) aplicados às séries históricas de dados de velocidade média do vento (m.s⁻¹) em Ponta Grossa - PR, no período de 1973 a 1998, para verificação da aderência dos dados à distribuição testada.

Meses	D _{máxtab}	D _{máxcale}
Janeiro	0.0479	0.0195
Fevereiro	0.0502	0.0286
Março	0.0479	0.0195
Abril	0.0487	0.0307
Mai	0.0479	0.0137
Junho	0.0487	0.0213
Julho	0.0479	0.0209
Agosto	0.0479	0.0152
Setembro	0.0487	0.0171
Outubro	0.0479	0.0149
Novembro	0.0487	0.0155
Dezembro	0.0479	0.0170

Os resultados do teste de aderência de K-S, ao nível de significância de 5%, aplicados aos dados de velocidade média do vento apresentados na Tabela 3 mostraram que a distribuição Beta ajustou-se adequadamente à série histórica analisada para todos os meses do ano, tornando possível a afirmação de que esta distribuição de probabilidades pode ser indicada para a representação satisfatória desta variável para a localidade de Ponta Grossa.

O resultado obtido mostra-se relevante por indicar uma alternativa às distribuições utilizadas atualmente para a representação de dados de velocidade média do vento e principalmente por mostrar que peculiaridades do espaço físico local podem influenciar no comportamento da variável climática de tal forma que outras distribuições de probabilidade, além daquelas

mais comumente usadas, também podem representar adequadamente os dados em estudo e talvez de forma mais satisfatória do que uma outra distribuição mais conhecida.

No caso de dados de vento, não só para velocidade média como também para velocidade máxima, a situação mais comum tem sido a recomendação da utilização da distribuição de Weibull e suas modificações, uma vez que estas têm proporcionado bons ajustes, conforme alguns autores como Hennessey (1977) e Justus *et al.* (1978) para estações localizadas nos Estados Unidos, Gupta (1986) na Índia, Sucharov *et al.* (1990) no Rio de Janeiro e Sansigolo (2005) em Piracicaba, SP. É evidente que em função destes resultados satisfatórios obtidos por tantos autores, a tendência dos novos estudos seja continuar utilizando aquela que vem sendo considerada a melhor distribuição de probabilidades, ou seja a Weibull, no entanto, o fato da distribuição Beta ter fornecido um bom ajuste para os dados de Ponta Grossa, para todos os meses do ano, remete a todos à velha discussão da necessidade de rever conceitos e fórmulas empregadas em outros países e no Brasil de um modo geral e principalmente da necessidade de se buscar sempre outros caminhos, tão bons ou melhores do que aqueles regularmente utilizados.

Nesse sentido, esta pesquisa concorda com outros estudos conforme pode ser comprovado pelos valores médios mensais de velocidade média do vento na região de Passo do Lontra/Pantanal Sul-Matogrossense (Souza *et al.*, 1998) e na região de Botucatu/SP (Marques Júnior *et al.*, 1995), os quais também foram adequadamente representados pela distribuição Beta, sugerindo que outras distribuições de probabilidade além da Weibull, podem e devem ser testadas para outras localidades.

Conclusões

- A distribuição Beta apresentou ajustes adequados para todos os meses do ano, podendo ser considerada uma distribuição de probabilidades satisfatória para a representação dos dados de velocidade média diária do vento observados no período, para Ponta

Grossa - PR.

- Os dados de velocidade média diária dos ventos ocorridos na maioria dos meses sinalizam um possível potencial eólico a ser aproveitado na região.

- Recomenda-se a avaliação da distribuição de probabilidades Weibull para Ponta Grossa, para o mesmo período, com o objetivo de confrontar os ajustes obtidos com a distribuição Beta.

REFERÊNCIAS

1. ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPEL, 1996. 161p.
2. BREDECHE, P. & BREUZARD, M. **Le vent: une inepuisable source d'énergie**. Paris, Jacques Grancher Editeur, 1981, 137p.
3. COSTA NETO, P. L. **Estatística**. São Paulo, Edgard Blücher, 1977. 264p.
4. FALLS, L. W. **The beta distribution: a statistical model for world cloud cover**. Alabama, NASA, 1973, p.1-6. (NASA Technical Memorandum, TMX- 64714).
5. GUPTA, B. K. Weibull parameters for annual and monthly wind speed distributions for five locations in India. **Solar Energy**. India, v.37, n.6, p.469-471, 1986.
6. HENESSEY, J. P. P. Some aspects of wind power statistics. **J. Appl. Meteor.**, Boston, v.16, n. 2, p.119-128, 1977.
7. JUSTUS, C.G.; HARGRAVES, W.R.; MIKHAIL, A.; GRABER, D. Methods for estimating wind speed frequency distributions. **J. Appl. Meteor.**, Boston, v.17, n.3, p. 350-353, 1978.
8. LE CHAPPELLIER, P. **Le vent, les éoliennes et l'habitat**. Paris, Eyrolles, 1981, 99p.
9. MARQUES JÚNIOR, S.; VALADÃO, L. T.; VIEIRA, A.R. R.; MOURA, M. V. T. Análise de dados de vento para a região de Botucatu - SP utilizando a distribuição beta. **Revista Brasileira de Agrometeorologia.**, Santa Maria, v.3, p.129-132, 1995.
10. MARTINS, D. Comportamento dos ventos na região de Botucatu-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA-CEPLAC, 1993. v.2, p.784-89.
11. MELO, M. S.(Coord.). **Caracterização do patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**: relatório de pesquisa. Ponta Grossa: UEPG, abr.2001/set.2002. 2003. 240p. (Projeto Interdepartamental realizado com o apoio da Fundação Araucária, CNPq-PSPPQ e Prefeitura Municipal de Tibagi). Projeto concluído.
12. PARK, L. G.; KRAUSS, O.; LAWLER, J.; ASMUSSEN, J. **Planning manual for utility application of wecs**. Michigan,

- U.S. Department of Energy. Division of Distributed Solar Technology, 1979, 243p.
13. PEARSON, K. **Tables of the incomplete Beta function**. London: University College, Biometriks Office, 1934. 494p.
14. PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; **Agrometeorologia – Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba, Agropecuária, 2002. 478p.
15. REIS, L.B. dos; FADIGAS, E.A.A.; CARVALHO, C.E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri, Editora Manole, 2005. 415p.
16. SAAD, J. C. C. e SCALOPPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis, ABID, 1988. v.2., 747p. p.1037-1052,
17. SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 2005, Campinas, SP. **Anais...**, Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ Universidade Estadual de Campinas, [CD-ROM], 2005.
18. SILVA, J.B., ZANUSSO, J.T., SILVEIRA, D.L.M. et al. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2,p.227-235, 1997.
19. SOUZA, A. de; SOLER, L. S.; FERNANDEZ, W. A. Probabilidade da velocidade média mensal do vento no Passo do Lontra/ Pantanal Sul Mato-Grossense, Brasil: um estudo preliminar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.235-238, 1998.
20. SUCHAROV, E. C.; DOMINGUES, M. O.; SILVA, A. L. M. O modelo de Weibull para distribuições de velocidade do vento, no Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, Salvador, 1990. **Anais...** Salvador: SBMET, 1990. 879p. v.2, p.593-597.