

ISSN 0104-1347

Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa – PR

Evaluation of average speed and predominant direction of wind in Ponta Grossa – PR

Maysa de Lima Leite¹, Jorim Sousa das Virgens Filho²

Resumo: Nesta pesquisa foram avaliadas as distribuições de probabilidade de Weibull, de Rayleigh e Beta para ajustar os dados de distribuições empíricas com a finalidade de verificar o melhor ajuste aos dados de velocidade média do vento além de determinar as probabilidades médias mensais das direções predominantes para a localidade de Ponta Grossa – PR. Foram utilizados 26 anos de registros diários da velocidade média do vento a 10 metros de altura e 13 anos de dados de direção predominante. Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov evidenciaram que a distribuição Beta apresentou os melhores ajustes para a velocidade média do vento para todos os meses do ano. A direção nordeste (NE) foi a direção de maior ocorrência para ventos predominantes, sendo que a segunda e terceira direções mais frequentes foram noroeste (NW) e leste (E), respectivamente.

Palavras-chave: distribuições de probabilidades, Weibull, Rayleigh, Beta

Abstract: This study evaluated the performance of the distributions of probability Weibull, Rayleigh and Beta to adjust the data of empiric distributions with the purpose of verifying the best adjustment to the data of average speed of the wind besides determining the monthly average probabilities of the predominant directions to the place of Ponta Grossa-PR. There were used 26 years of daily registrations of average speed of the wind at 10 meters of height and 13 years of data of predominant direction. The results of the test Kolmogorov-Smirnov evidenced that the Beta distribution presented the best adjustments for the average speed of the wind for all of the months of the year. The northeast (NE) was the direction of largest occurrence for predominant winds, and the second and third more frequent directions were northwest (NW) and east (E), respectively.

Key-Words: probability distributions, Weibull, Rayleigh, Beta

Introdução

Sendo a velocidade do vento uma variável aleatória, é importante salientar a ocorrência de variabilidade sazonal, mensal, diária e até mesmo horária nos valores médios estimados dentro de uma série de anos. Essa inevitável variação que ocorre neste evento meteorológico justifica a utilização de uma análise mais criteriosa para estimativa dos valores a serem assumidos como constantes para uma

determinada região, análise esta relacionada à distribuição de frequência dos valores estimados (SAAD & SCALLOPI, 1988).

Para LE CHAPPELLIER (1981) é possível prever com alta precisão o comportamento dos ventos em um determinado local para um determinado período, a partir dos dados históricos coletados. PARK et al. (1979) consideram que a velocidade média anual do vento varia de um ano

¹ Professor Adjunto, Doutora em Agronomia, Depto. de Biologia Geral, UEPG - Universidade Estadual de Ponta Grossa, 84030-900, Ponta Grossa-PR, Brasil, mleite@uepg.br.

² Professor Adjunto, Doutor em Agronomia, Laboratório INFOAGRO, Depto. de Informática, UEPG - Universidade Estadual de Ponta Grossa, 84030-900, Ponta Grossa-PR, Brasil, jvirgens@uepg.br.

para o outro em torno de 10%, observando porém, que em alguns locais foram verificadas variações de até 30%.

Segundo BREDECHE & BREUZARD (1981), a velocidade e direção do vento são previsíveis sobre um período de um mês ou um ano e a velocidade do vento ajusta-se a um modelo identificável durante o mês ou um 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.

SOUZA & GRANJA (1997), considerando a pequena quantidade de estudos disponíveis para Mato Grosso do Sul, utilizaram o modelo de Weibull 2-parâmetros para efetuar uma descrição do potencial eólico das microrregiões de Campo Grande e Dourados. Para tanto, utilizaram dados diários de velocidade média e direção do vento no período de 1986 a 1991 para Campo Grande e de 1981 a 1991 para Dourados, concluindo que a utilização do modelo proposto mostrou-se adequada devido à facilidade na obtenção dos parâmetros do modelo.

Dados de velocidades máximas diárias de vento provenientes de 20 anos de observações (1975 a 1994) na localidade de Piracicaba – SP foram utilizados para testar as distribuições de probabilidade Normal, Gama, Weibull e de Valores Extremos para cada mês do ano. Os autores concluíram ser possível recomendar qualquer uma das três primeiras distribuições citadas para a estimativa da probabilidade de ocorrência de rajadas de vento na localidade em qualquer mês do ano (ANGELOCCI et al., 1995).

VAREJÃO-SILVA (2001) salienta que a velocidade do vento à superfície terrestre varia bastante com o tempo e se caracteriza por intensas oscilações cuja rapidez e amplitude estão relacionadas com o estado de agitação do ar, que constitui a turbulência.

A direção do vento é outro aspecto importante que deve ser considerado, não somente em relação à energia eólica, mas também quanto às fontes poluidoras do ar, melhoria no conforto térmico e construções de quebra-ventos. A determinação da direção predominante do vento, assim como sua

variabilidade são importantes quando se pretende utilizar modelos de simulação para estudos da qualidade do ar. Por isso, é fundamental que esses parâmetros sejam calculados, usando-se métodos que apresentem maior acuracidade (TURNER, 1986). Vale lembrar que a direção dos ventos é resultante da composição das forças atuantes (gradiente de pressão, atrito e força de Coriolis), com influência, também, da superfície terrestre, ou seja, o relevo predominante na região (PEREIRA et al., 2002).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar a velocidade média do vento em Ponta Grossa – PR, por meio das distribuições de probabilidade de Weibull, Rayleigh e Beta para verificar aquela distribuição capaz de proporcionar o melhor ajuste aos dados locais, assim como determinar as probabilidades das direções predominantes do vento.

Material e Métodos

Foram utilizados registros diários da velocidade média e da direção predominante do vento obtidos junto à Estação Agrometeorológica de Ponta Grossa-PR, 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, sendo que os dados disponíveis de velocidade média compreendem uma série histórica de 26 anos referente ao período de janeiro de 1973 a dezembro de 1998, enquanto os dados de direção predominante do vento correspondem a uma série de 13 anos referente ao período de janeiro de 1986 a dezembro de 1998.

Para descrever o comportamento da distribuição de frequência da velocidade média do vento foram utilizadas as distribuições de probabilidade de Weibull, de Rayleigh e Beta conforme o detalhamento a seguir:

a) Distribuição de Weibull-2 parâmetros:

A distribuição de Weibull-2 parâmetros para a velocidade do vento é expressa pela função de densidade de probabilidade:

$$f(v) = (k/c)(v/c)^{k-1} \exp [-(v/c)^k] \quad (1)$$

sendo a função cumulativa de probabilidade dada por:

$$F(v) = 1 - \exp [-(v/c)^k] \quad (2)$$

onde "c" é o fator de escala em unidades de velocidade do vento, "k" o fator de forma adimensional e "v" a variável aleatória velocidade do vento. O fator de forma "k" está inversamente relacionado à variância σ^2 das velocidades eólicas em torno da média.

Os parâmetros "c" e "k", conforme discutidos em JUSTUS et al. (1978), podem ser determinados a partir da transformação da equação (2) na forma linear.

$$\ln(-\ln(1-F(v))) = -k \ln(c) + k \ln(v)$$

que pode ser representada pela equação da reta:

$$Y = a + bX$$

onde $Y = \ln[-\ln(1-F(v))]$, $X = \ln(v)$, $a = -k \ln(c)$ e $b = k$.

Assim, a determinação dos parâmetros "c" e "k" fica condicionada aos cálculos dos coeficientes "a" e "b" da reta de regressão. Esses podem ser obtidos pelo método dos mínimos quadrados aplicado ao conjunto de dados $X = \ln(v)$ e $Y = \ln[-\ln(1-F(v))]$ obtidos dos valores de v e F(v) que, por sua vez, são determinados a partir das séries observadas da velocidade do vento distribuídas em "n" intervalos de classe com suas respectivas frequências.

b) Distribuição de Rayleigh:

A expressão matemática da função de densidade de probabilidade de Rayleigh é dada por:

$$f(v) = -\frac{v}{\left(\frac{2}{\pi}\mu\right)^2} \exp\left[-\frac{v^2}{2\left(\frac{2}{\pi}\mu\right)^2}\right] \quad (3)$$

onde, "μ" na equação 3, refere-se a E(v), ou seja, a esperança matemática da variável aleatória "v" (velocidade do vento).

A função cumulativa de probabilidade da distribuição de Rayleigh é:

$$F(v) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi v^2}{4E(v)^2}\right) \quad (4)$$

c) Distribuição Beta:

A função densidade de probabilidade Beta pode ser expressa da seguinte forma (FALLS, 1973):

$$f(v) = \frac{1}{(b-a)\Gamma(p)\Gamma(q)} \left[\frac{v-a}{b-a}\right]^{p-1} \left[1-\frac{v-a}{b-a}\right]^{q-1} \quad (5)$$

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).

$$p = \frac{\mu_1(\mu_1 - \mu_2)}{[\mu_2 - (\mu_1)^2]} \quad (6)$$

$$q = \frac{(1 - \mu_1)(\mu_1 - \mu_2)}{[\mu_2 - (\mu_1)^2]} \quad (7)$$

onde "μ₁" corresponde ao momento de ordem 1 e "μ₂" ao momento de ordem 2 para a variável "v", dentro de uma série de N dados. Estes termos podem ser estimados a partir da seguinte análise:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i}{N} \quad (8)$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N} \quad (9)$$

Para a estimativa dos valores de ocorrência de probabilidade, por meio da distribuição Beta, a equação (5) deve ser adimensionalizada para um intervalo compreendido entre [0 e 1]. A variável adimensionalizada “v'” toma então a seguinte forma:

$$v' = \frac{v - a}{b - a} \quad (10)$$

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

$$f(v') = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} (v')^{p-1} (1-v')^{q-1} \quad (11)$$

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

A integração numérica da equação (11), confere os valores da probabilidade de ocorrência para um valor de “v” qualquer dentro do intervalo considerado.

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para determinar o modelo probabilístico que melhor se ajustou aos dados observados. Segundo COSTA NETO (1977), este teste é o mais adequado para testar diferenças entre distribuições de frequências empíricas e distribuições de frequência teóricas.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é aplicado para verificar se os valores de uma certa amostra de dados podem ser considerados como provenientes de uma população com distribuição teórica pré-estabelecida, sob a hipótese de nulidade (H_0). Ele 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:

$$D_{\max} = \text{MAX} |F'(X) - F(X)| \quad (12)$$

4) Se, ao nível de significância estabelecido, o valor observado de D_{\max} (calculado) for maior ou igual ao valor crítico de D_{\max} (tabelado), a hipótese de nulidade, ou seja, a hipótese de que os dados amostrais provêm de uma população com distribuição teórica, $F'(X)$, é rejeitada (ASSIS et al., 1996).

As direções predominantes para as velocidades médias do vento, foram descritas probabilisticamente por meio da frequência relativa simples (fr_d) para cada mês do ano do período considerado, cuja estimativa é dada por:

$$fr_d = \frac{f_d}{n} \quad (13)$$

onde, “ f_d ” é a frequência absoluta de cada direção e “ n ” é o número de observações dentro do mês analisado. Nesta pesquisa as direções do vento serão representadas pelos pontos cardeais (Norte, Sul, Leste, Oeste) e pontos colaterais (Nordeste, Sudeste, Noroeste e Sudoeste) por meio da rosa-dos-ventos.

Resultados e Discussão

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

Observa-se que os meses de julho a dezembro apresentaram, em média, os valores mais altos de velocidade média do vento, sendo setembro o mês que mostrou o maior valor médio ($4,02 m s^{-1}$). Apesar disto, foi possível observar que os demais meses apresentaram valores médios bastante próximos entre si, não tendo ocorrido nenhum valor médio inferior a $3,09 m s^{-1}$. Por outro lado, valores elevados de amplitude total de velocidade média do vento foram observados na maioria dos meses. A variabilidade dos dados, medida pelo coeficiente de variação, concentrou-se entre 26,56 e 42,33%, tendo sido dezembro e junho, respectivamente, os meses

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de velocidade média do vento ($m s^{-1}$) para o ajuste das distribuições de frequências empíricas aos modelos teóricos de Weibull, de Rayleigh e 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

responsáveis por estes valores. De maneira geral, os curtos intervalos de confiança obtidos para todos os meses sugerem que as médias mensais da amostra utilizada são bastante representativas da média populacional da variável velocidade média do vento para a localidade em estudo.

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 dos ventos permaneceu em média em torno de 2,20 e 1,74 $m s^{-1}$ respectivamente, para cada período avaliado, em todos os meses do ano. SILVA et al. (1997), estudando o comportamento dos ventos em Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, por um período de 20 anos, observaram velocidades médias em todos os meses do ano entre 0,00 e 4,00 $m s^{-1}$ 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 um apreciável potencial eólico para as localidades. Diante da afirmação destes autores para estas outras localidades e dos resultados obtidos para Ponta Grossa, cujas velocidades médias se mantiveram entre os valores de 3,02 e 4,02 $m s^{-1}$ ao longo de todos os meses do ano, 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 produtores rurais locais.

As estimativas dos parâmetros mensais das distribuições de Weibull, de Rayleigh e Beta para os dados de velocidade média do vento são apresentadas na Tabela 2.

Verificou-se que para a distribuição de Weibull, o parâmetro de forma "k" oscilou de forma considerável na comparação entre os meses, variando desde 1,6338 até 4,2176, ocorrendo o valor mais baixo no mês de novembro e o valor mais elevado no mês de janeiro. JUSTUS et al. (1978) observaram que o valor de "k" está inversamente relacionado com a variância da velocidade do vento em torno da velocidade média, o que implica baixas variâncias se "k" for alto e vice-versa. Neste sentido, os valores de "k" obtidos para Ponta Grossa concordaram plenamente com a afirmação anterior, onde os valores mais elevados de "k" referentes aos meses de dezembro a março estiveram relacionados às menores variâncias mostradas na Tabela 1. O parâmetro de escala "c" variou bem menos, dentro do intervalo de 2,6824 a 3,8377, com valores mínimos no outono, sugerindo para este período uma maior probabilidade de ocorrência de ventos com velocidades mais baixas.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros mensais das distribuições analisadas para os dados de velocidade média do vento ($m s^{-1}$), para Ponta Grossa - PR, no período de 1973 a 1998.

Meses	Weibull		Rayleigh	Beta	
	k	c	μ	p	q
Janeiro	4,2176	3,8377	3,3525	2,7713	4,3419
Fevereiro	2,9472	2,8657	3,0419	2,3179	4,5765
Março	2,0601	2,6249	3,0207	2,6835	8,2696
Abril	2,3585	2,9090	3,2076	2,3031	4,5129
Maió	1,9572	2,6824	3,0926	1,7877	3,9941
Junho	1,9006	2,7663	3,2594	1,6292	4,0752
Julho	2,1135	3,3102	3,7192	2,3006	4,2483
Agosto	2,3611	3,3532	3,7408	2,2997	3,9819
Setembro	2,7019	3,6753	4,0191	3,0489	4,3156
Outubro	2,7561	3,6882	3,9291	2,5121	4,8917
Novembro	1,6338	3,2852	3,9582	5,3879	5,5431
Dezembro	3,7002	3,6148	3,6884	2,5277	3,7617

Quanto ao parâmetro " μ " da distribuição de Rayleigh, os valores foram mais constantes variando entre 3,0207 e 4,0191.

Para a distribuição Beta, maiores oscilações mensais 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 1 em todos os meses, segundo ASSIS et al., 1996, as distribuições foram classificadas como assimétricas e unimodais.

Os resultados do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov 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, podendo-se afirmar que entre as três distribuições testadas, a distribuição Beta é a mais indicada para a representação desta variável para a localidade de Ponta Grossa. Os modelos de Weibull e de Rayleigh não são recomendados pois, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a hipótese de nulidade foi rejeitada.

O resultado obtido mostra-se relevante, uma vez que grande atenção tem sido dada para a

distribuição de Weibull, cujo modelo apresentou um bom ajuste para os dados de velocidade do vento, segundo os autores HENNESSEY (1977), JUSTUS et al. (1978), GUPTA (1986). JUSTUS et al. (1978) aplicaram o modelo para mais de 100 estações nos Estados Unidos e concluíram que a distribuição de Weibull proporcionou o melhor ajuste e ainda que a mesma é mais fácil para trabalhar do que a normal bivariada e mais geral do que a distribuição de Rayleigh.

SUCHAROV et al. (1990) trabalharam com períodos de dados variáveis entre 5 e 27 anos, referentes a 10 localidades do Rio de Janeiro e consideraram a distribuição de Weibull como o melhor modelo probabilístico para descrever a distribuição de frequências mensais de velocidade do vento para aquelas localidades.

Mais recentemente, SANSIGOLO (2005) avaliou o ajuste de diferentes distribuições de extremos a séries longas de precipitações diárias, temperaturas máximas e mínimas e velocidades instantâneas do vento em Piracicaba, SP. Com relação ao vento, concluiu que as velocidades instantâneas máximas anuais do vento a 10m de altura foram melhor ajustadas pela distribuição de Weibull-3 parâmetros. Segundo o autor, este resultado confirma que esta distribuição trata-se de

Tabela 3. Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov 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 às distribuições testadas.

Meses	$D_{máxtab}$	Weibull	Rayleigh	Beta
		$D_{máxcalc}$	$D_{máxcalc}$	$D_{máxcalc}$
Janeiro	0,0479	0,1090	0,1918	0,0195
Fevereiro	0,0502	0,1885	0,1984	0,0286
Março	0,0479	0,2967	0,1643	0,0141
Abril	0,0487	0,2082	0,1287	0,0307
Mai	0,0479	0,1944	0,0812	0,0137
Junho	0,0487	0,2275	0,0838	0,0213
Julho	0,0479	0,2102	0,0963	0,0209
Agosto	0,0479	0,1939	0,1117	0,0152
Setembro	0,0487	0,2080	0,1339	0,0171
Outubro	0,0479	0,1858	0,1441	0,0149
Novembro	0,0487	0,3625	0,1617	0,0155
Dezembro	0,0479	0,1500	0,1988	0,0170

uma das mais apropriadas, não só para descrever os extremos de vento como para extrapolá-los para longos períodos de retorno

ASMUSSEN et al. (1978), seguidos por PARK et al. (1979) empregaram a distribuição de Rayleigh para calcular a energia específica de uma turbina geradora a vento, sob a hipótese que para os locais com velocidade média anual maior do que $4,00 m s^{-1}$ esta distribuição se ajusta adequadamente. Assim, sempre que a distribuição de Rayleigh pode ser usada, é fácil estimar a média do cubo da velocidade do vento e, portanto, a potência eólica média. Por outro lado, diversos estudos têm demonstrado que os valores estimados de alguns elementos meteorológicos também podem ser adequadamente representados pela distribuição Beta (FALLS, 1973; HAAN & BARFIELD, 1973), conforme pode ser comprovado pelos valores médios mensais de velocidade de vento na região de Passo do Lontra/Pantanal Sul-Matogrossense (SOUZA et al., 1998) e na região de Botucatu/SP, à partir de uma série de 20 anos de dados (MARQUES JÚNIOR et al., 1995).

As probabilidades para direção predominante do vento em Ponta Grossa são apresentadas na Tabela 4 e Figura 1. Os resultados obtidos indicam,

para os doze meses do ano, a predominância do vento nordeste (NE) com percentuais de ocorrência variando entre 59,80% em agosto e 41,42% em fevereiro. Em média 49,10% das observações efetuadas são de direção nordeste (NE). A segunda direção de maior ocorrência é noroeste (NW), com percentuais variando entre 26,05% em janeiro e 13,40% em outubro. Os valores médios anuais conferem direção noroeste (NW) para 18,76% das ocorrências. A direção leste (E) mostra-se como a terceira de maior ocorrência com valor mínimo de 7,95% em junho e, máximo de 20,10% em outubro.

Os resultados obtidos indicam constância nas direções predominantes durante os meses e estações do ano, concordando com resultados alcançados por WAGNER et al. (1989) no que se refere à direção de maior ocorrência (NE) para ventos predominantes em Ponta Grossa, PR. Houve alteração, no entanto, com relação às segunda e terceira direções mais frequentes, que foram leste (E) e sudeste (SE), respectivamente, no estudo desenvolvido pelos autores anteriormente citados, no período de 1975 a 1986. Tais resultados estão, provavelmente, relacionados com os centros de alta pressão do Atlântico e do Pacífico, que originam ventos de NE, E e SE (TUBELIS & NASCIMENTO, 1986).

Tabela 4. Distribuição de probabilidades (%) mensais da direção predominante do vento, para Ponta Grossa - PR, no período de 1986 a 1998.

Meses	Direções							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janeiro	3,23	41,44	14,14	5,96	2,48	2,98	3,72	26,05
Fevereiro	4,09	41,42	16,62	10,08	2,18	1,63	4,09	19,89
Março	0,74	51,36	14,39	11,91	1,74	3,23	1,24	15,38
Abril	1,79	46,67	13,33	9,23	4,10	2,56	2,82	19,49
Mai	4,47	50,37	10,42	6,70	4,71	4,47	3,23	15,63
Junho	4,10	49,23	7,95	4,87	2,56	3,33	2,56	25,38
Julho	5,21	47,64	8,68	7,20	1,49	2,98	3,72	23,08
Agosto	2,98	59,80	8,93	6,45	2,73	1,99	1,99	15,14
Setembro	1,79	52,05	17,95	6,92	3,59	1,28	0,26	16,15
Outubro	1,74	52,11	20,10	5,21	3,47	1,49	2,48	13,40
Novembro	2,31	49,23	18,21	7,44	1,54	2,82	1,28	17,18
Dezembro	3,23	47,89	14,39	9,18	1,74	2,23	2,98	18,36
Média	2,97	49,10	13,76	7,60	2,69	2,58	2,53	18,76

É importante lembrar que a direção do vento é bastante variável no tempo e no espaço, em função da situação geográfica do local, da rugosidade da superfície, do relevo, da vegetação, do clima e da época do ano (VENDRAMINI, 1986).

As rosas-dos-ventos obtidas podem ser utilizadas como subsídios para projetos que se baseiem na direção do vento, tais como implantação de quebra-ventos, estudo da disseminação de doenças e pragas e instalação de parques industriais e aeroportos.

Conclusões

- A distribuição beta apresentou os melhores ajustes para todos os meses do ano, sendo por isso a mais adequada para este tipo de estudo, nesta localidade.

- A função de distribuição Weibull mostrou-se inadequada para o regime de ventos analisado.

- A direção nordeste (NE) é a direção de maior

ocorrência para ventos predominantes ao longo do ano, seguida pelas direções noroeste (NW) e leste (E), respectivamente.

- Os dados de velocidade média dos ventos ocorridos na maioria dos meses sinalizam um possível potencial eólico a ser aproveitado na região, que deverá ser avaliado por estudos complementares.

Referências Bibliográficas

ANGELOCCI, L. R.; WIENDL, F. W.; ARRUDA, H. V. Probabilidades mensais de ocorrência de rajadas de vento na região de Piracicaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Universidade Federal da Paraíba, 1995. 505p. p. 498-500.

ASMUSSEN, J.; MANNER, D.; PARK, G. L. An empirical expression for the specific output of wind turbine generators, **Proceedings of the IEEE**, v. 66, n. 10, p. 1295-1298, 1978.

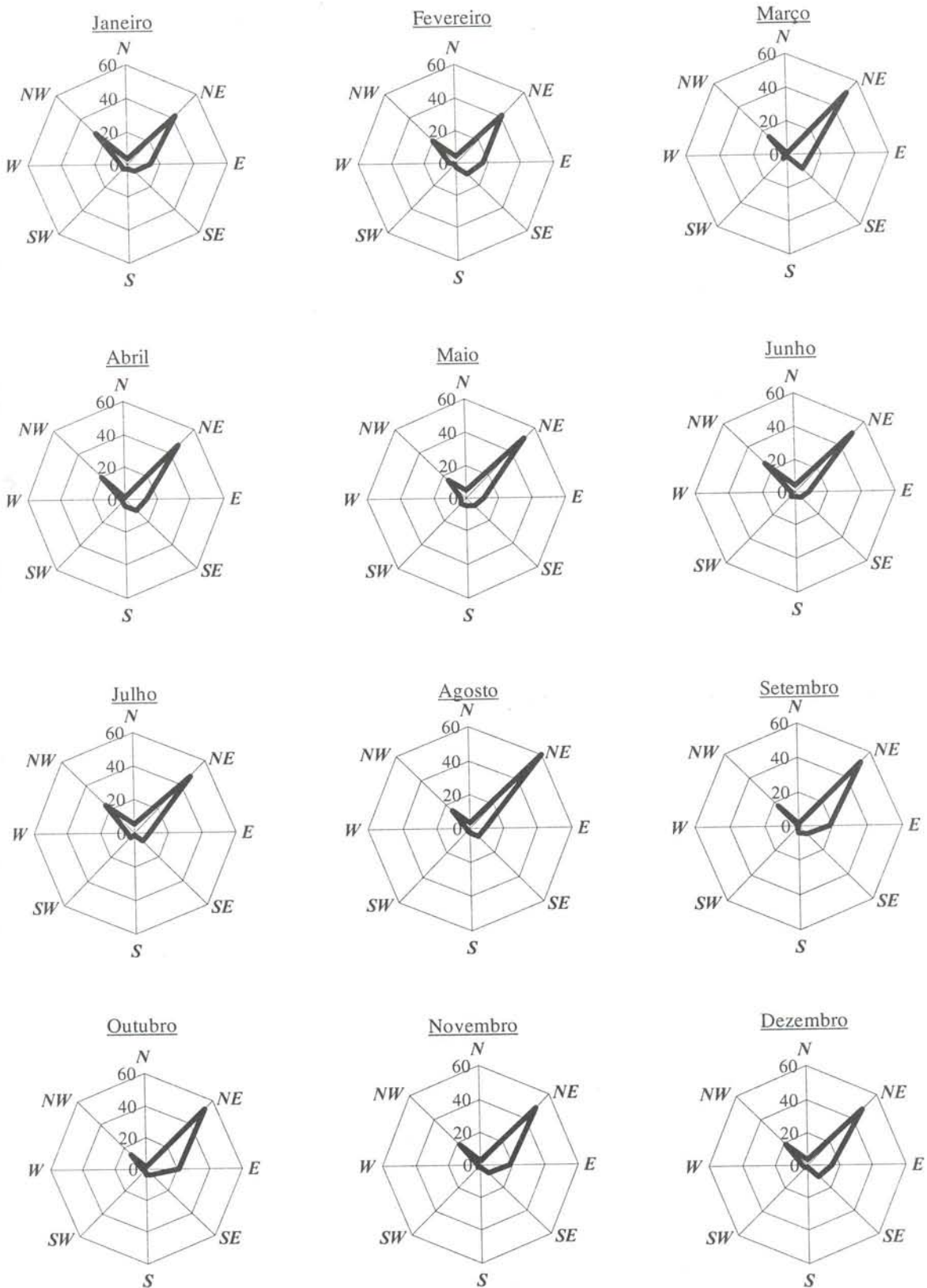


Figura 1. Direção média mensal predominante do vento (em %) para Ponta Grossa - PR, no período de 1986 a 1998.

- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996. 161p.
- BREDECHE, P. ;BREUZARD, M. **Le vent: une inepuisable source d'énergie**. Paris, Jacques Grancher, éditeur, 1981, 137p.
- COSTANETO, P. L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264p.
- FALLS, L. W. **The beta distribution: a statistical model for world cloud cover**. Alabama: NASA, 1973, p, 1-6. (NASA Technical Memorandum, TMX- 64714).
- 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.
- HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J. Data simulation from probability distributions. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 16, n. 2, p, 347-377, 1973.
- HENESSEY, J. P. P. Some aspects of wind power statistics. **Journal of Applied Meteorology**., Boston, v. 16, n. 2, p, 119-128, 1977.
- JUSTUS, C. G. et al. Methods for estimating wind speed frequency distributions. **Journal of Applied Meteorology**., Boston, v.17, n.3, p. 350-353, 1978.
- LE CHAPPELLIER, P. **Le vent, les éoliennes et l'habitat**. Paris, Eyrolles, 1981, 99p.
- MARQUES JÚNIOR, S. et al. 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.
- MARTINS, D. Comportamento dos ventos na região de Botucatu-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus, BA. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira: Centro de Pesquisa do Cacau, 1993. v. 2, p. 815-825.
- PARK, L. G. et al. **Planning manual for utility application of wecs**. Michigan, U.S. Department of Energy. Division of Distributed Solar Technology, 1979, 243p.
- PEARSON, K. **Tables of the incomplete Beta function**. London: University College, Biometriks Office, 1934. 494p.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- SAAD, J. C. C.; SCALLOPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, Universidade Federal de Santa Catarina, 1988. v.2., 747p. p.1037-1052,
- 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, 2005. [CD-ROM].
- SILVA, J. B. 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.
- SOUZA, A.; 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, v.5, n. 1, p, 109-114, 1997.
- 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.
- 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, BA. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Meteorologia,

1990. 879p. v. 2, p, 593-597.

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

TURNER, D. B. Comparison of three methods for calculating the standard deviation of wind direction. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 25, p, 703-707, 1986.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília – DF: INEMET, Gráfica e

Editora Pax, 2001. 532p.

VENDRAMINI, E. Z. **Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico**. 1986. 110p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 1986.

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