

**PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA DE RAJADAS MÁXIMAS DE VENTO EM PELOTAS,  
RS<sup>1</sup>**

**PROBABILITIES OF MAXIMUM GUSTS IN PELOTAS, RS, BRAZIL**

João Baptista da Silva<sup>2</sup>, Ricardo Luis Schons<sup>3</sup> e Eliane Gonçalves Larroza<sup>3</sup>

**RESUMO**

A partir dos registros disponíveis das velocidades máximas de 20 anos, coletados na Estação Agroclimatológica de Pelotas, determinou-se as rajadas máximas mensais. Verificou-se, pelo teste W de Shapiro e Wilk, o ajuste dos dados à distribuição normal na grande maioria dos meses. Para os meses de fevereiro, abril e setembro, onde esta condição não foi constatada, as transformações de dados,  $Z=10*X^{0,0821}$ , para os dois primeiros meses e  $Z=10*\log(X+0,1)$ , para o último mês, viabilizaram a característica dos dados poderem ser estudados pela distribuição normal. Estimativas das probabilidades de ocorrência de rajadas de vento com velocidades iguais ou acima de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 km/h foram, portanto, obtidas pela distribuição normal, para cada mês. Observou-se que ventos fortes, com velocidades acima de 60 km/h, ocorrem nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, com probabilidades superiores à 60% e as rajadas mais extremas, maiores do que 90 e 100 km/h são verificadas em outubro, com probabilidades muito superiores as dos demais meses.

**Palavras-chave:** rajada de vento, rajada máxima, probabilidade.

**SUMMARY**

The maximum monthly gusts were determined from the maximum wind speed recorded at the Agroclimatological Station of Pelotas, RS, Brazil. Application of the Shapiro and Wilk test revealed

<sup>1</sup> Trabalho realizado com o financiamento do CNPq e FAPERGS.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Livre Docente, Doutor em Ciências, Pesquisador do CNPq, Professor Titular (Aposentado) do Instituto de Física e Matemática (UFPel), Caixa Postal 354, CEP 96001-970, Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Bolsistas do PIBIC / CNPq / UFPel. Estudantes de Engenharia Agrícola e Meteorologia (UFPel), Caixa Postal 354, CEP 96001-970, Pelotas, RS.

approximate normal distribution in the majority of the cases. For the months in which this condition was not attained, namely February, April and September, the data transformations  $z=10x^{0,0821}$  for the two former months and  $z=10\log(x+0,1)$  for the later one led to approximate normality. Estimates of the probabilities of gusts with speeds equal or above 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 km/h were determined for the normal distribution, for each month, and are shown on a table. It was observed that strong winds with maximum speed of 60 km/h occurred from August to December with probabilities above 60%, and the most extreme gusts, above 90 and 100 km/h, occurred in October with probabilities far above the ones corresponding to the other months.

**Key words:** gust, maximum gust, probability.

## INTRODUÇÃO

Os ventos desempenham funções altamente benéficas para a vida humana. Entretanto, quando registram-se ventos de velocidades elevadas, normalmente de curta duração, os seus efeitos passam geralmente a ser danosos, como a erosão dos solos, a mortandade de animais, o acamamento de plantas, o destelhamento de prédios e a queda de redes de transmissão. Desta forma, uma previsão probabilística da ocorrência de rajadas de vento é importante para o planejamento das atividades sujeitas aos seus malefícios.

PINTO (1973), estudou as rajadas máximas anuais para localidades paulistas, estimando o tempo de recorrência de ventos de grau 11 na Escala Beaufort. Verificou tempos de recorrência de 20 anos nas localidades do centro e norte do Estado e, de 5 anos nas localidades situadas no sul do Estado.

ORTOLANI (1986), verificou que as rajadas máximas variam com a época do ano, a latitude e a altitude de localidades do Estado de São Paulo.

WAGNER et al. (1987) ajustaram a distribuição de Fisher-Tippett às velocidades máximas diárias do vento em Londrina e Ponta Grossa, no Paraná, e determinaram as velocidades máximas do pico para períodos de retorno de 2, 10 e 20 anos.

CAMARGO et al. (1994) testaram o ajuste das distribuições normal e gama aos dados de rajadas máximas diárias de Campinas, Estado de São Paulo, para todos os meses do ano, utilizando a distribuição normal, de onde obtiveram os valores das probabilidades mensais de ocorrência de rajadas acima de 10, 20, 30, 40 e 50 km/h.

ANGELOCCI et al. (1995) testaram o ajuste de distribuições de probabilidade Normal, Gama, Weibull e Gumbel para ventos máximos em cada mês do ano, em Piracicaba, Estado de São Paulo.

Utilizando a distribuição normal, estimaram as probabilidades de ocorrência de vento com velocidades iguais ou maiores de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 km/h.

O objetivo do presente trabalho foi estimar as probabilidades de rajadas máximas mensais de ventos iguais ou acima de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 km/h, utilizando a distribuição normal.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas as rajadas máximas mensais dos ventos a partir dos registros das velocidades máximas diárias, registradas pelo anemógrafo da Estação Agroclimatológica de Pelotas, situada no Campus da Universidade Federal de Pelotas a 15 quilômetros do centro da cidade de Pelotas (latitude: 31° 52' S; longitude: 52° 21' W; altitude: 13,24m), referentes ao período de 1957 a 1993. Foram utilizados apenas registros de 20 anos, dentre aqueles do período de referência, em virtude da indisponibilidade das observações.

Para cada mês do ano, testou-se o ajuste dos dados das rajadas máximas à distribuição normal, tendo-se em conta resultados já obtidos em outros trabalhos (ANGELOCCI et al., 1995; CAMARGO et al., 1994). Para tal, usou-se o teste W de normalidade, desenvolvido por Shapiro e Wilk. O procedimento baseia-se em ordenar as observações ( $X_i$ ) e calcular:

$$s^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

e

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (X_{n-i+1} - X_i),$$

sendo  $k = n/2$ , se  $n$  é par ou  $k = (n-1)/2$ , se  $n$  é ímpar;  $a_{n-i+1}$ , obtido da tabela de constantes (Tabela A-1 de SHAPIRO, 1990).

O valor de  $W = b^2/s^2$  é, então, comparado com o valor de  $W'_{\alpha}$ , para o nível de significância  $\alpha$ . Efetua-se então um teste unilateral à esquerda, isto é, se o valor de  $W$  é menor do que  $W'_{\alpha}$ , rejeita-se a hipótese de que os dados observados podem ser analisados pela distribuição normal (SHAPIRO, 1990).

Para aqueles meses em que a hipótese de nulidade foi rejeitada, procurou-se uma transformação de dados adequada, de modo a permitir os objetivos do estudo. A vantagem de transformar-se os dados, na busca da normalidade, em vez de ajustar uma outra distribuição é de que os dados transformados

ficam disponíveis para serem usados por outros métodos que exijam a normalidade da distribuição (análise da variação e análise de regressão, por exemplo).

As probabilidades de ocorrência de rajadas máximas diárias iguais ou superiores a 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 km/h, foram estimadas pela distribuição normal, segundo o pacote estatístico STATPAK (DURAN, 1986), para cada mês do ano.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão representadas as rajadas máximas mensais do vento, juntamente com a média e o desvio padrão, para cada mês. As rajadas máximas mensais do vento são os valores máximos das rajadas máximas diárias para cada mês, em cada um dos 20 anos do período estudado. Os valores mais elevados foram: 97,2 km/h, em setembro/1978 e em outubro/1961; 92,9 km/h em março/1962 e 92,2 km/h, em novembro/1980.

O teste W de Shapiro e Wilk, para o caso de amostras de tamanho  $n=20$  e no nível de significância de  $\alpha = 0,05$ , conduziu ao valor de  $W_{\alpha} = 0,905$ . Portanto, a hipótese de nulidade (de que os dados podem ser estudados pela distribuição normal) é rejeitada quando a estatística W é menor ou igual a 0,905.

Os valores de W, inicialmente, determinados ( $W_1=0,967$ ;  $W_2=0,856$ ;  $W_3=0,946$ ;  $W_4=0,888$ ;  $W_5=0,927$ ;  $W_6=0,975$ ;  $W_7=0,970$ ;  $W_8=0,950$ ;  $W_9=0,846$ ;  $W_{10}=0,943$ ;  $W_{11}=0,935$ ;  $W_{12}=0,941$ ) permitiram concluir sobre a possibilidade de estimar as probabilidades pela distribuição normal, para 9 dos 12 meses analisados. Os dados dos meses de fevereiro ( $W_2$ ), abril ( $W_4$ ) e setembro ( $W_9$ ) não se ajustaram à distribuição normal. Entretanto, as transformações de dados,  $Z = 10X^{0,0821}$ , para os meses de fevereiro e abril e,  $Z=10 \log(X + 0,1)$ , para setembro, viabilizaram uma melhor aproximação à distribuição normal ( $W_2=0,939$ ,  $W_4=0,933$  e  $W_9=0,901$ ).

Na Tabela 2, encontram-se as probabilidades de ocorrência de rajadas diárias do vento para velocidades iguais ou acima de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 km/h para cada um dos meses do ano.

Observa-se que, nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro registraram-se ventos bastante fortes (superiores a 60 km/h) com probabilidades maiores do que 60%.

ANGELOCCI et al. (1995) verificaram para Piracicaba, SP, ventos com mesma intensidade também nos meses de setembro, novembro e dezembro, além de janeiro, fevereiro, março e maio, com probabilidades superiores a 50%. Em Pelotas, em janeiro, fevereiro, março e maio ocorrem ventos com mesma intensidade, entretanto com probabilidades inferiores a 50%.

O mês de outubro destaca-se como aquele onde ocorrem as maiores rajadas de vento com probabilidades bem superiores as dos demais meses, ou seja, ventos com mais de 90 km/h, com

probabilidades 10 vezes superior a da maioria dos meses e ventos com mais de 100 km/h, com probabilidades cerca de 5 vezes superior a dos demais meses. Por outro lado, em Piracicaba, SP, foi em dezembro que se verificaram as maiores probabilidades de ocorrência de ventos de velocidades extremas, superiores a 90 e a 100 km/h (ANGELOCCI et. al., 1995).

## CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que as rajadas máximas mensais podem ser estudadas pela distribuição normal na maioria dos meses. Para aqueles meses onde isto não se verifica encontram-se adequadas transformações de dados que asseguram esta característica ou mesmo melhoram a aproximação à normal. Nos meses de agosto a dezembro, encontram-se ventos muito fortes com velocidades acima de 60 km/h, com alta probabilidade de ocorrência, destacando-se o mês de outubro com rajadas mensais extremas.

Tabela 1. Valores das rajadas máximas mensais (km/h), a 7 metros acima do nível do solo, em cada um dos doze (12) meses do ano, nos 20 anos de observações disponíveis no período de 1957 a 1993, em Pelotas, RS.

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1957	42,5	46,8	36,7	49,7	41,4	39,6	64,1	54,0	53,3	45,0	55,4	43,9
1961	60,5	59,4	65,5	45,0	68,4	57,6	49,0	72,7	67,7	97,2	63,0	58,3
1962	54,0	81,0	92,9	54,0	48,6	49,0	48,6	54,0	63,0	58,3	77,4	83,5
1966	67,7	64,8	74,9	72,0	50,4	68,4	67,7	80,6	65,5	75,6	54,0	76,3
1970	58,3	46,1	46,8	46,1	45,0	43,9	70,9	77,4	67,0	88,6	63,4	62,3
1971	59,4	58,3	61,9	56,9	53,3	61,2	43,9	57,6	84,6	54,0	68,4	82,8
1973	72,7	49,0	36,7	43,2	64,8	54,0	64,8	43,2	62,3	72,7	55,8	42,5
1975	54,7	48,6	52,2	41,4	44,6	35,3	41,4	47,5	56,9	37,4	46,1	43,9
1977	61,2	87,1	50,4	68,4	64,8	67,7	64,8	63,4	70,2	90,0	68,4	56,9
1978	59,4	63,0	55,8	71,3	58,3	54,0	54,0	50,4	97,2	54,0	66,6	64,8
1979	50,4	42,5	41,4	56,9	54,0	34,2	55,8	61,9	66,6	55,4	57,6	81,0
1980	47,5	51,1	70,2	43,2	82,1	82,8	72,0	69,1	91,8	85,7	92,2	79,2
1982	46,8	51,1	37,8	54,0	54,7	54,0	63,0	43,2	55,8	88,2	77,4	61,2
1985	54,0	46,1	68,4	49,7	43,2	55,8	66,2	82,8	50,4	82,8	57,6	45,0
1986	59,4	63,0	54,0	55,8	59,4	47,5	54,0	70,2	63,0	77,4	61,2	54,0
1987	54,0	52,2	65,5	58,3	54,7	43,2	69,1	82,8	61,9	68,4	55,8	88,9
1988	74,9	56,9	46,8	53,3	46,8	45,7	61,2	76,3	64,8	61,6	82,8	76,3
1991	67,7	41,4	48,6	41,4	43,9	60,5	55,8	72,7	56,9	81,0	57,6	64,8
1992	60,1	50,4	77,4	90,0	54,7	76,0	56,5	63,0	60,1	54,0	65,5	52,6
1993	56,9	48,6	43,2	58,3	62,3	67,7	76,3	64,8	53,3	86,8	66,6	68,4
Média	59,0	55,4	56,4	54,4	54,6	54,9	60,0	64,4	65,6	70,7	64,7	64,3
D.P.	8,32	11,95	15,34	12,31	10,01	13,18	9,61	12,78	12,42	17,14	11,02	14,80

Tabela 2. Probabilidades (%) de ocorrência de rajadas máximas mensais de vento com velocidade igual ou acima de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 km/h, a 7 m acima do solo, para os doze (12) meses do ano, em Pelotas, RS.

Meses	VELOCIDADE (km/h)						
	> 40	> 50	> 60	> 70	> 80	> 90	> 100
JAN	98,5	83,5	40,9	7,6	0,4	< 0,1	<0,1
FEV	94,0	69,6	34,9	12,5	3,5	0,8	0,2
MAR	85,7	66,1	40,6	18,7	6,2	1,4	0,2
ABR	92,5	66,1	31,7	11,1	3,0	0,6	0,1
MAI	92,7	67,6	29,4	6,1	0,5	< 0,1	< 0,1
JUN	87,1	64,5	34,9	12,6	2,8	0,4	< 0,1
JUL	98,1	85,0	49,8	14,8	1,8	< 0,1	< 0,1
AGO	97,2	87,0	63,4	33,0	11,1	2,2	0,3
SET	99,7	92,9	66,2	32,3	10,9	2,8	0,6
OUT	96,3	88,6	73,4	51,6	29,3	13,0	4,3
NOV	98,7	90,8	66,3	31,3	8,1	1,1	< 0,1
DEZ	95,0	83,4	61,5	35,0	14,4	4,1	0,8

## 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, IX, 1995. Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/UFPb, 1995. 505 p. p. 498-500.
- BAPTISTA DA SILVA, J., ZANUSSO, J.T., SILVEIRA, D.L., et al. Estudo da velocidade e da direção dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 223-235, 1997.
- CAMARGO, M.B.P., ORTOLANI, A.A., ARRUDA, H.V. Ocorrência mensal de rajadas máximas diárias de vento em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 1, p. 107-112, 1994.
- DURAN, J. F. **Como usar o pacote estadístico STATPAK**. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Serie Publicaciones Misceláneas, Montevideo, 203 p., 1986.
- ORTOLANI, A.A. Agroclimatologia e o cultivo da seringueira. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO, I, Piracicaba. **Trabalhos apresentados...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 11-32.
- PINTO, H.S. **Determinações dos intervalos de ocorrência de rajadas máximas do vento no Estado de São Paulo**. Botucatu, SP, 1973, 64 p. Tese de doutorado, UNESP.
- THOM, H.C.S. **Some methods of climatological analysis**. Genebra WMO, 53 p., 1966 (WMO 199, Technical note 81).

SHAPIRO, S.S. **How to test normality and other distributional assumptions**. 2° ed. American Society for Quality Control, Wisconsin, 92 p., 1990 (V. 3).

WAGNER, S.C., BERNARDES, L.R.M., CORREA, A., et al. Estudo da velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, V, 1987. Belém, PA. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia / CPATU, 1987. 518 p. p. 269-273.