



PERFIL DO VENTO DIÁRIO EM PELOTAS, RS

CAMARGO, Venice Meazza¹; RIBEIRO, Juliano Vieira¹; BAPTISTA DA SILVA, João²; BURGENO, Luís Eduardo Torma³.

¹Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, venicemeazza@hotmail.com, ²Instituto de Física e Matemática da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, ³PPG em Engenharia Oceânica da Fundação Universidade de Rio Grande, Rio Grande-RS.

1. Introdução

O comportamento dos elementos climáticos: precipitação, temperatura, vento, entre outros, têm sido a muito tempo objeto de estudo pelo homem. Não desmerecendo os demais elementos meteorológicos, o vento é de importância fundamental para diversas atividades. No desenvolvimento das plantas, ele facilita as trocas de calor, de dióxido de carbono e do vapor d'água entre a atmosfera e a vegetação. Pela ventilação da superfície das plantas novos suprimentos de dióxido de carbono são trazidos às folhas, enquanto que o vapor d'água e o calor são dissipados. O processo de polinização das flores não dispensa o auxílio imprescindível dos ventos.

Uma das grandes preocupações atuais refere-se ao aproveitamento de fontes alternativas de geração de energia. A energia pode ser utilizada de forma mais civilizada e menos dispendiosa por meio de fontes renováveis, como a energia eólica, solar, das marés, geotérmica, e outras mais. Por outro lado, os ventos intensos são bastante temidos, visto serem responsáveis por muitas catástrofes no mundo inteiro. Pode-se destacar na agropecuária, o acabamento das plantas, a erosão dos solos e a mortandade de pequenos animais. Deve-se dar atenção também a direção predominante do vento (Baptista da Silva *et al.*, 1997).

O objetivo do presente trabalho é o estabelecimento do perfil do vento diário em Pelotas, RS, ao longo dos anos, por meio de análises estatísticas, como contribuição ao planejamento de atividades que dependem das condições do vento.

2. Material e Métodos

Os dados utilizados foram os registros diários da velocidade média dos ventos, ocorridos no período de 1952/1993 na Estação Agroclimatológica de Pelotas situada no Campus da Universidade Federal de Pelotas - UFPel (latitude: 31°52'S, longitude: 52°21'W, altitude: 13,2 m). A velocidade média diária foi obtida de um anemômetro de contato marca Gasella, instalado a 7 metros do solo. Os dados submetidos às análises foram os 365 valores médios

dos 42 anos de observação das velocidades médias diárias, excluído o dia 29 de fevereiro dos anos bissextos.

O método consistiu, inicialmente, de uma análise estatística descritiva da velocidade média diária do vento de onde foram estimadas as principais medidas de posição, dispersão, assimetria e curtose. Os dados diários encontram-se distribuídos pelos 12 meses do ano, bem como as suas medidas estatísticas.

A seguir, a sazonalidade da velocidade média diária, manifestada pelas suas médias nos 365 dias do ano, foi expressa pelo modelo de análise harmônica:

$$X_t = A_0/2 + \sum [A_n \cos \omega_n t + B_n \sen \omega_n t] + e_t$$

Onde:

X_t : valor estimado da variável temporal

ω_n : frequência angular da n-ésima harmônica

A_n e B_n : parâmetros a serem estimados

e_t : resíduos

A estimativa dos parâmetros que caracterizam as 182 harmônicas resultantes da decomposição dos 364 graus de liberdade, visto que a cada harmônica correspondem 2 graus de liberdade, foram obtidas pelo periodograma dos dados.

O periodograma, cuja expressão matemática é $I_n = (N/2)(A_n^2 + B_n^2)$, mostra como as variâncias da série, constituída de senos e cossenos, estão distribuídas entre as várias frequências harmônicas distintas.

A seleção das ondas para o modelo baseou-se na magnitude dos picos do periodograma (Baptista da Silva *et al.*, 2001), concomitantemente com os valores da função de densidade espectral, de forma parcimoniosa.

Deve-se levar em conta que o uso do periodograma exige que a série seja estacionária. Intuitivamente, um processo é estacionário se ele desenvolve-se no tempo, de modo que a escolha de uma origem dos tempos não é importante. Em consequência disso, a média e a variância do processo são constantes. Em relação a normalidade, podemos considerar que os valores médios da variável no conjunto dos 42 anos, que vão constituir a série das temperaturas médias diárias do vento dos 365 dias do ano, podem ser aceitos seguindo aproximadamente a distribuição normal.

Estimado o modelo, a verificação do seu ajuste pode ser feita pela análise das autocorrelações dos resíduos. Se os r_k indicarem as autocorrelações dos resíduos e_t , então deve-se ter r_k aproximadamente igual a zero. Alguns testes permitem avaliar esta hipótese (Box *et al.*, 1994).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1, encontra-se uma amostra da análise estatística descritiva realizada para todos os 365 dias do ano. Como se pode observar, nas colunas estão os valores: mínimo, máximo, média, desvio padrão, assimetria, curtose, quartil 1, mediana, quartil 3, intervalo da média, frequência relativa, teste da assimetria (SCA), teste da curtose (SCC) e coeficiente de variação.

A velocidade média diária anual foi de 3,12 m/s. Em todos os dias do ano a média diária esteve no intervalo de 2 a 4 m/s. A partir do início do ano,

verão, a média diária é decrescente até atingir um mínimo no outono e voltando a crescer até atingir um máximo na primavera.

A frequência relativa (probabilidade) da variável estudada encontrar-se no intervalo de 2 a 4 m/s, nos 42 anos de observação, foi igual ou superior a 50% em aproximadamente 31% dos dias do ano.

A variabilidade da velocidade média diária nos 42 anos de observação é medida pelo coeficiente de variação. Este coeficiente igual ou superior a 50% indica uma grande variabilidade da variável em apreço, tendo ocorrido em 48% dos dias de janeiro, 54% de fevereiro, 55% de março, 93% de abril, 97% de maio, 100% de junho, 97% de julho, 87% de agosto, 83% de setembro, 55% de outubro, 57% de novembro e 42% de dezembro. Nota-se que nos meses em que a média é mais baixa a variabilidade dos dados é maior e vice-versa.

Sabe-se que dados climáticos em períodos curtos não seguem à distribuição normal. O teste de normalidade de Fisher confirma isto nas medidas de assimetria e de curtose, que comparadas com os erros padrões de assimetria e de curtose, respectivamente, produziram valores significativos a 5% ($t_{0,05;41}=2,02$), para a assimetria e, principalmente para a curtose em todos os 365 dias do ano. Nesse caso, a melhor medida de posição é a mediana que se encontra entre 1,75 e 4,75m/s.

TABELA 1. Medidas estatísticas descritivas da velocidade média diária do vento de janeiro em Pelotas, RS (1952/1993).

Dias	Mínima	Máxima	Média	D. P.	Ass.	Curtose	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	x € interv.	Freq.Rel.	SCA	SCC	CV
1	0,00	7,80	3,92	1,81	0,35	2,83	2,90	3,60	4,90	2;4	0,52	0,96	3,95	46,17
2	0,60	8,70	3,48	1,97	0,88	3,16	2,00	3,10	4,50	2;4	0,45	2,41	4,41	56,61
3	0,00	8,00	3,48	1,73	0,57	3,67	2,40	3,15	4,40	2;4	0,57	1,56	5,12	49,71
4	0,60	8,00	3,52	1,67	0,74	3,23	2,40	3,30	4,00	2;4	0,52	2,03	4,51	47,44
5	0,50	9,00	3,84	2,24	0,72	2,51	2,40	2,94	5,40	2;4	0,43	1,97	3,50	58,33
6	0,00	8,10	3,63	1,77	0,68	3,13	2,10	3,30	4,90	2;4	0,57	1,86	4,37	48,76
7	0,00	7,10	3,30	1,61	0,34	2,90	2,10	3,10	4,30	2;4	0,47	0,93	4,05	48,79
8	0,70	8,70	3,36	1,95	1,05	3,37	2,00	2,90	4,00	2;4	0,50	2,87	4,70	58,04
9	0,00	7,20	3,32	1,43	0,70	3,99	2,50	3,00	4,10	2;4	0,67	1,92	5,57	43,07
10	1,30	6,80	3,67	1,46	0,45	2,17	2,60	3,10	4,70	2;4	0,47	1,23	3,03	39,78
11	1,10	7,10	3,36	1,61	0,51	2,29	1,90	3,25	4,40	2;4	0,40	1,40	3,20	47,92
12	0,90	10,80	3,48	1,78	1,59	7,85	2,10	3,40	4,30	2;4	0,43	4,35	10,95	51,15
13	0,00	9,30	3,98	1,85	0,72	3,55	2,80	3,35	5,00	2;4	0,50	1,97	4,95	46,48
14	0,50	9,80	3,84	2,07	0,62	2,98	2,20	3,45	5,30	2;4	0,33	1,70	4,16	53,91
15	0,00	8,00	3,43	2,00	0,58	2,76	1,90	2,95	4,70	2;4	0,40	1,59	3,85	58,31
16	0,00	8,70	3,51	1,91	0,86	3,94	2,40	3,30	4,30	2;4	0,48	2,35	5,50	54,42
17	0,00	8,10	3,64	1,88	0,62	3,07	2,50	3,30	4,80	2;4	0,52	1,70	4,28	51,65
18	1,30	12,30	3,77	1,89	2,28	11,06	2,70	3,30	4,60	2;4	0,55	6,24	15,43	50,13
19	1,30	12,00	4,10	2,22	1,32	5,15	2,50	3,40	5,30	2;4	0,40	3,61	7,19	54,20
20	0,70	8,50	4,04	1,74	0,40	2,95	2,80	3,90	5,10	2;4	0,40	1,09	4,12	43,07
21	0,50	8,30	3,72	1,65	0,51	2,98	2,60	3,50	4,80	2;4	0,45	1,40	4,16	44,35
22	1,20	10,20	3,65	1,83	2,00	7,76	2,40	3,30	4,20	2;4	0,62	5,47	10,83	50,14
23	1,10	7,50	3,49	1,48	0,60	3,02	2,20	3,35	4,30	2;4	0,57	1,64	4,21	42,41
24	0,90	8,30	3,76	1,75	0,72	3,00	2,20	3,45	4,80	2;4	0,50	1,97	4,19	46,54
25	0,00	7,00	3,46	1,57	0,27	3,01	2,40	3,40	4,32	2;4	0,52	0,74	4,20	45,38
26	0,90	8,00	3,36	1,70	0,80	3,09	2,10	3,05	4,20	2;4	0,50	2,19	4,31	50,60
27	0,60	8,00	3,27	1,68	1,01	4,50	2,30	3,25	4,20	2;4	0,54	2,76	6,28	51,38
28	0,00	7,80	3,46	1,69	0,58	3,47	2,30	3,45	4,20	2;4	0,52	1,59	4,84	48,84
29	0,70	7,10	3,44	1,70	0,62	2,20	2,30	2,85	4,70	2;4	0,57	1,70	3,07	49,42
30	0,00	8,50	3,33	1,83	1,22	4,28	2,30	2,70	4,00	2;4	0,57	3,34	5,97	54,95
31	0,50	8,20	3,77	1,93	0,48	2,36	2,60	3,30	5,20	2;4	0,43	1,31	3,29	51,19

Quanto ao modelo determinístico (análise harmônica) que representa a sazonalidade, os valores do periodograma indicaram dois picos mais destacados correspondentes às ondas anual e semestral, concordantes com as estimativas da função de densidade espectral. Logo, tem-se:

$$X_t = 3,3326 + 0,522481\cos(0,01726t) - 0,539691\sin(0,01726t) + \\ - 0,108458\cos(0,03453t) + 0,005041\sin(0,03453t) \\ t=0, 1, 2, \dots 364$$

Na Figura 1, estão representados os dados observados e o modelo de análise harmônica composto pelas duas ondas senoidais mais destacadas, com um coeficiente de determinação de 79%, que pode ser considerado satisfatório. Pode-se observar na figura a concordância entre o modelo e os dados observados, representando adequadamente a sazonalidade dos dados, conforme já verificado por Baptista da Silva *et al.*, 1997. Poder-se-ia usar no modelo apenas a onda anual pela sua grande representatividade, entretanto, segundo alguns autores, não é comum com dados meteorológicos usar-se modelos de uma única onda.

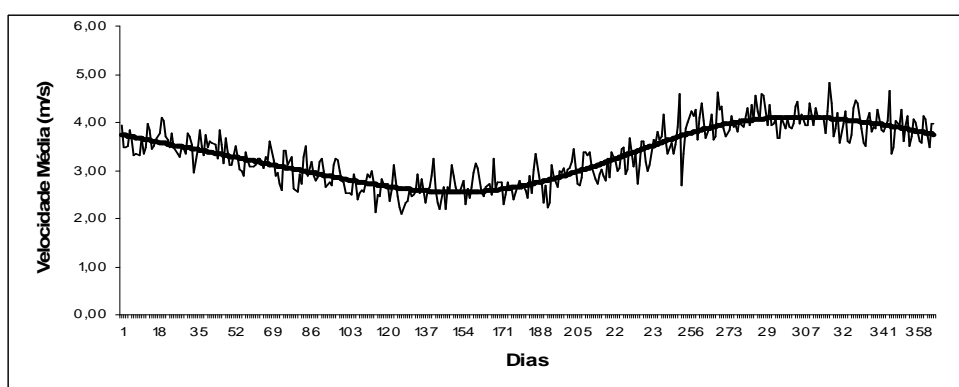


Figura 1: Modelo ajustado aos dados observados da velocidade média diária do vento, no período de 1952-1993, em Pelotas, RS.

O ajuste do modelo aos dados observados foi por meio das autocorrelações dos resíduos. As autocorrelações foram estimadas para $k=1,2,\dots,90$ de acordo com o sugerido por Box *et al.*, 1994. Para os dois testes utilizados as autocorrelações dos resíduos apenas em dois lags ($k=1$ e $k=33$) ficaram fora do intervalo $\pm 2/\sqrt{365} = \pm 0,1047$ e do intervalo $\pm 2\sigma(r_k)$, definido pelo erro padrão do coeficiente de autocorrelação. Portanto, em ambos os casos, o número de lags rejeitados ficou abaixo dos 5% aceitáveis (4,5 lags), ao nível de significância de 5%. Em vista disso, aceita-se o modelo como adequado para representar o comportamento das velocidades médias diárias em Pelotas, RS.

4. Conclusões

A velocidade média diária do vento em todos os dias do ano esteve no intervalo 2 a 4 m/s, apresentando uma grande variabilidade ($\geq 50\%$) na grande maioria dos dias do ano, sendo maior nos meses com média mais baixa. O perfil do vento diário é decrescente a partir do verão até atingir um mínimo no outono e crescente até atingir um máximo na primavera, conforme o modelo de análise harmônica, composto pelas ondas anual e semestral, com $r^2=0,79$, representa adequadamente a sazonalidade dos dados.

5. Referências Bibliográficas

BAPTISTA DA SILVA, J., ZANUSSO, J.T., SILVEIRA, D.L.M. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.5, n.2, p.227-235, 1997.

BAPTISTA DA SILVA, J. *et al.* Modelagem das chuvas trimestrais por regiões homogêneas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, p.317-324, 2001.

BOX, G.E., JENKINS, G.M., REINSEL, G.C. **Time series analysis: forecasting and control**, 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994, 598p.