

VOLUME 2, NÚMERO 12, DEZEMBRO DE 2019

## MODELAGEM DO VENTO DIÁRIO EM PELOTAS, RS: RESULTADOS PRELIMINARES

*João Baptista da Silva<sup>1</sup>, Luís Eduardo Torma Burgueño<sup>2</sup>, Venice Meazza de  
Camargo<sup>3</sup>, Juliano Vieira Ribeiro<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Física e Matemática da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS,  
[jbs39@terra.com.br](mailto:jbs39@terra.com.br)

<sup>2</sup> PPG em Engenharia Oceânica da Fundação Universidade de Rio Grande, Rio Grande-RS,  
[eduardo.burgueno@gmail.com](mailto:eduardo.burgueno@gmail.com),

<sup>3</sup>Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS,  
[venicemeazza@hotmail.com](mailto:venicemeazza@hotmail.com),

<sup>4</sup>Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS,  
[julianovrb@hotmail.com](mailto:julianovrb@hotmail.com)

### RESUMO

Estudou-se o comportamento dos ventos em Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul, por meio da análise harmônica dos dados diários. Foram utilizadas as médias das velocidades médias diárias, de 42 anos (1952/1993), registradas na Estação Agroclimatológica de Pelotas. Os resultados preliminares das análises realizadas indicaram duas ondas senoidais destacadas pelo periodograma e pela densidade espectral, a anual e a semestral. O modelo composto com estas duas ondas apresentou um  $r^2$  de 0,79, representando de forma adequada a sazonalidade dos dados. A qualidade do ajuste do modelo aos dados observados foi verificada pela análise dos resíduos. As autocorrelações dos resíduos indicaram que pode-se aceitar o modelo como adequado para representar a variabilidade dos dados. Pelo modelo pode-se observar um mínimo localizado no outono e um máximo na primavera. Sugere-se estudos mais aprofundados para comprovar esses resultados preliminares e assegurar o aproveitamento dessa importante fonte de energia.

**Palavras-Chave:** ventos, análise espectral, periodograma, autocorrelações.

## MODELLING OF THE DAILY WIND AT PELOTAS, RS: PRELIMINARY RESULTS

### ABSTRACT

The behavior of the wind in Pelotas, state of Rio Grande do Sul, was studied through the harmonic analysis of the daily data suitable to average of 42 years (1952/1993) of the daily average speed of the wind, registered at the Agroclimatological Station of Pelotas. The preliminary results indicated two sinusoids waves, annual and semi-annual, detached by the periodogram and the spectral density. The model compose with two waves introduced a  $r^2 = 0,79$  perform of the suitable form the data sazonality. Goodness-to fit of the model to observed data was verified by analysis of the residues. The autocorrelations of the residues indicated that we can to take the model same suitable for to represent data variability. It can to observe by model a minimum in the autumn and a maximum in the spring. It is suggest more deepended stydies for to prove that preliminary results and to assure the improvement of that important source of the energy.

**Key words:** wind, spectral analysis, periodogram, autocorrelation

### 1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações atuais refere-se ao aproveitamento de fontes alternativas de geração de energia. A utilização de fontes não renováveis e geradoras de gases de efeito estufa têm conduzido os atuais modelos de desenvolvimento a um impasse. Não se pode continuar o ritmo atual de crescimento da economia global sem o aporte suficiente de energia e, por outro lado o crescimento na demanda por combustíveis fósseis pode levar o planeta a um colapso. 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 de outras mais. Além de ser a matéria prima da energia eólica, o vento é de fundamental importância para diversas atividades

humanas. 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 (Baptista da Silva et al., 1997).

Por outro lado, os ventos intensos são bastante temidos, visto serem responsáveis por muitas catástrofes no mundo inteiro. Dentre os muitos prejuízos causados na agropecuária, pode-se destacar o acamamento das plantas, a erosão dos solos e a mortandade de pequenos animais. A importância dos efeitos do vento nas construções está intimamente ligada ao desenvolvimento da tecnologia dos materiais e da ciência e técnica das construções. O vento não era problema em construções baixas e pesadas de grossas paredes, mas passou a ser, e em medida crescente, quando as construções foram tornando-se mais e mais esbeltas e usando cada vez menos quantidade de material (Blessmann, 1986).

O objetivo do presente trabalho é uma avaliação preliminar do comportamento dos ventos diários ocorridos ao longo dos anos, em Pelotas, RS, como contribuição ao planejamento de atividades que dependem das condições do vento.

## 2. METODOLOGIA

Utilizaram-se os registros diários da velocidade média dos ventos, ocorridos no período de 1952/1993 na Estação Agroclimatológica de Pelotas situada no Campus da UFPel (latitude: 31°52'S, longitude: 52°21'W, altitude:13,2 m).

A velocidade média diária foi obtida através de um anemômetro de contato marca Gasella, instalado a 7 metros do solo. Os dados submetidos à análise foram os 365 valores médios dos 42 anos de observação das velocidades médias diárias, excluído o dia 29 de fevereiro dos anos bissextos.

A análise harmônica dos dados buscou estabelecer os parâmetros do modelo de representação periódica apresentado a seguir:

$$X_t = A_0/2 + \sum [ A_n \cos\omega_n t + B_n \sen\omega_n t ] + e_t \quad (1)$$

Onde:

$X_t$ : valor estimado da variável temporal

$\omega_n$ : frequência angular da n-ésima onda

$A_n$  e  $B_n$ : parâmetros a serem estimados

$e_t$ : resíduos.

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. O modelo foi composto por um número adequado de ondas senoidais, visando garantir uma boa representatividade dos dados, sem que se torne excessivamente complexo.

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

As estimativas da densidade espectral são adequadamente calculadas pela suavização dos valores do periodograma usando as especificações na janela de dados (data windows) para densidade espectral. A suavização do periodograma permite identificar as regiões das frequências que contribuem significativamente no comportamento cíclico das séries.

Estimado o modelo, a verificação do seu ajuste pode ser feito 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.

Tendo-se em vista que  $r_k$  tem aproximadamente distribuição normal, com média zero e variância  $1/N$ , pode-se considerar, de um modo geral, que o modelo é adequado quando  $r_k$  está dentro do limite  $\pm 2/\sqrt{N}$ , aceitando-se, no máximo, 5% dos seus valores fora deste intervalo.

Considerando-se que a série seja um processo “ruído branco”, isto é, que todas as autocorrelações são iguais a zero, determina-se a existência de ruído branco a partir da comparação de  $r_k$  com  $\pm 2\sigma(r_k)$ , onde  $\sigma(r_k)$  é o desvio padrão de  $r_k$ . Novamente, aceita-se como ruído branco quando, no máximo, 5% das autocorrelações ficam fora do intervalo  $\pm 2\sigma(r_k)$  (Box et al., 1994).

Outros testes podem ser aplicados para verificar a qualidade do ajuste do modelo aos dados observados.

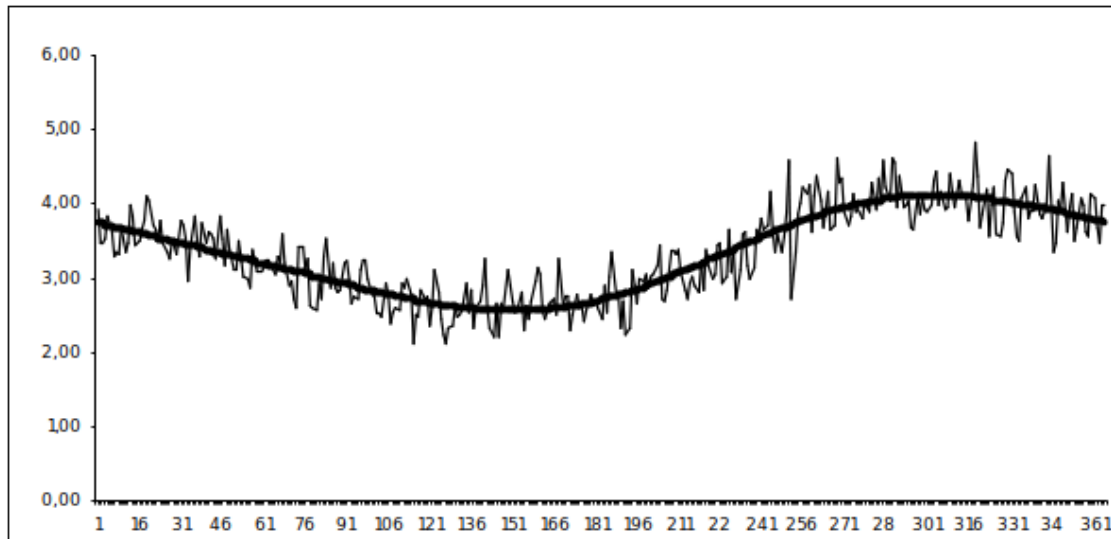
### 3. RESULTADOS

Os valores do periodograma indicam dois picos mais destacados correspondentes às ondas anual e semestral, concordantes com as estimativas da densidade espectral. O modelo proposto segundo a equação 1:

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

$$t = 0, 1, 2, \dots, 364.$$

Na Figura 1 estão representados os dados observados e o modelo de regressão periódica composto pelas duas ondas senoidais mais destacadas, com um coeficiente de determinação de 79%. Pode-se observar a boa concordância do modelo com os dados observados, representando de forma adequada a sazonalidade dos dados, conforme o encontrado em Baptista da Silva et al., 1997. Alguns autores alertam que, com dados meteorológicos, não é comum 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 avaliado por meio das autocorrelações dos resíduos. As autocorrelações foram estimadas para  $k = 1, 2, \dots, 90$ , de acordo com a recomendação de se usar no máximo  $k = N/4$  autocorrelações (Box et al., 1994). Na Figura 2 são apresentadas as autocorrelações dos resíduos e nota-se que apenas em dois lags ( $k = 1$  e  $k = 3$ ) as autocorrelações ficaram fora do intervalo  $\pm 2/\sqrt{365} = \pm 0,1047$  e, também nos mesmos lags, no gráfico, os valores ficaram fora do intervalo  $\pm 2\sigma(r_k)$ , representado pelas linhas pontilhadas. Portanto, em ambos casos, o número de lags rejeitados ficou abaixo dos 5% aceitáveis (4,5 lags). Em vista disso, aceita-se o modelo como adequado para representar o comportamento das velocidades médias diárias dos ventos em Pelotas, RS, nesta análise preliminar.

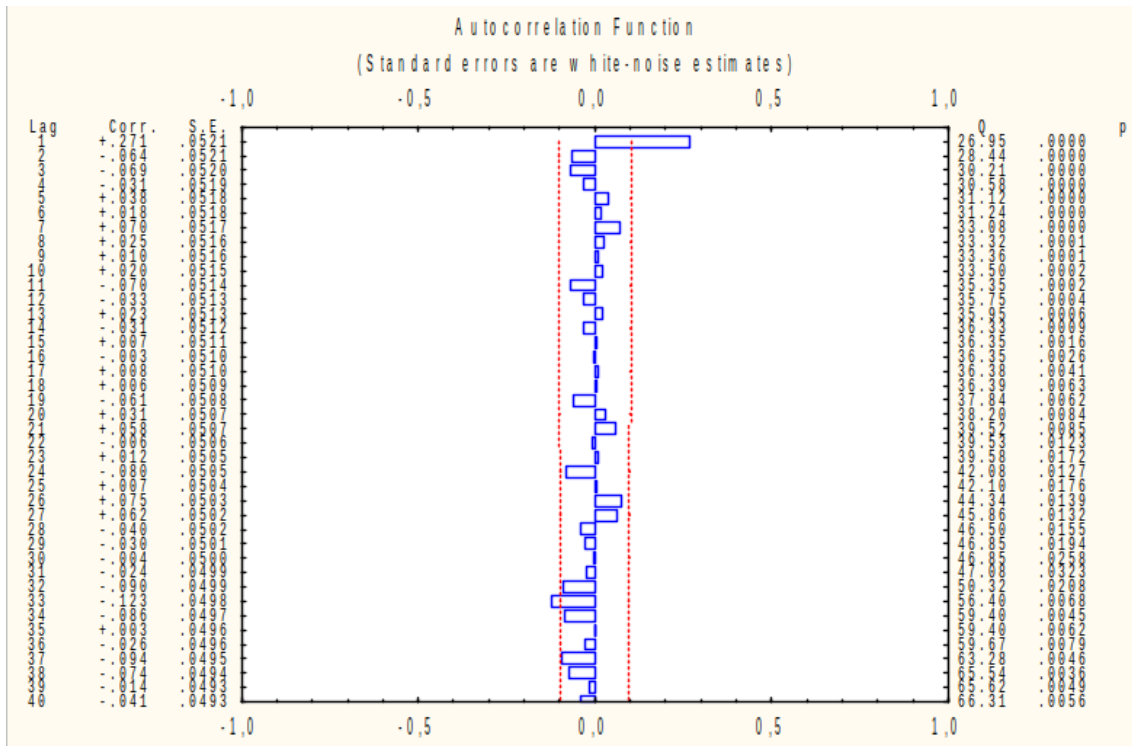
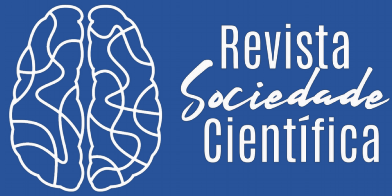


Figura 2: Autocorrelações dos resíduos para os 40 primeiros lags.

Os cálculos foram realizados com o auxílio do pacote estatístico Statistica Versão 4.2. Em estudos subsequentes pretende-se avaliar algumas propriedades nos dados, como, por exemplo, a normalidade, a homogeneidade de variâncias, a estacionariedade.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares nos permitem concluir que o perfil do vento diário em Pelotas, RS, segue um modelo de regressão periódica composto pelas ondas anual e semestral, com  $r^2 = 0,79$ .



O modelo representa adequadamente a sazonalidade dos dados, com um mínimo no outono e um máximo na primavera.

Estudos mais aprofundados são necessários para o aproveitamento dessa importante fonte de energia.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAPTISTA DA SILVA, J., ZANUSSO, J. T., SILVEIRA, D. L. M. et al. **Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS.** Revista Brasileira de Meteorologia, Santa Maria, v.5, n.2, p.227-235, 1997.
- [2] 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.
- [3] BLESSMANN, J. **Acidentes causados pelo vento.** Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, 1986, 81p.
- [4] BOX, G.E., JENKINS, G.M., REINSEL, G.C. **Time series analysis: forecasting and control.** 3 ed. New Jersey: prentice Hall, 1994, 598p.