

## **PARAMETRIZAÇÕES DE RAJADAS DE VENTO BASEADAS EM EQUAÇÕES DE ESPECTRO DE ENERGIA CINÉTICA TURBULENTA**

**LUCAS DA COSTA BERNA<sup>1</sup>; JONAS DA COSTA CARVALHO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – lucas.berna@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – jonas.carvalho@ufpel.edu.br*

### **1. INTRODUÇÃO**

Rajadas de ventos são caracterizadas por grandes variações na velocidade e direção do vento em curtos intervalos de tempo, geralmente menores que 20 segundos. Essas flutuações podem facilmente exceder o dobro da velocidade média do vento em eventos climáticos extremos (AZAD e ALAM, 2010).

Modelos numéricos de previsão do tempo como, por exemplo, o *Weather Research Forecast* (WRF), realiza o prognóstico do campo de vento em grandes intervalos de tempo. Torna-se necessário, portanto, a obtenção de parametrizações para estimar as rajadas de vento que ocorrem em intervalos de tempo muito curtos (SHERIDAN, P, 2011).

O objetivo deste trabalho é realizar estimativas de rajada de vento a partir do campo de Energia Cinética Turbulenta (ECT) na Camada Limite Atmosférica (CLA). Para isso, propõe-se uma nova abordagem para o cálculo de rajada de forma que a ECT é determinada pelas equações do espectro de turbulência, como sugerido por Mangia et al. (2000) e Degrazia et al. (2000).

A partir do cálculo da ECT com as expressões do espectro, utilizam-se parametrizações de rajada disponíveis na literatura para reproduzir os valores medidos por Estações Meteorológicas de Superfície (EMS).

### **2. METODOLOGIA**

Neste trabalho são utilizados, para avaliação dos resultados simulados, dados horários observados pela EMS do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na cidade de Bagé (Tabela 1). O período considerado para a análise é de 9 a 19 de setembro de 2018.

Tabela 1 - Características da EMS do INMET utilizada no estudo

| Estação | Código | Tipo       | Coordenadas (°) |           |              |
|---------|--------|------------|-----------------|-----------|--------------|
|         |        |            | Latitude        | Longitude | Altitude (m) |
| Bagé    | A827   | Automática | -31,34          | -54,01    | 230,0        |

Para a realização da simulação das condições do tempo no período estudado, foi utilizado o modelo numérico WRF. Através do *downscaling* dinâmico realizado pelo modelo, são obtidos os valores das variáveis utilizadas para o cálculo da ECT, através das equações do espectro de turbulência e da variância de velocidade turbulenta.

A dispersão turbulenta na CLA é gerada por dois processos: mecânico, relacionado ao cisalhamento do vento, e térmico, resultado do mecanismo de força de empuxo. Então, assumindo a hipótese de superposição dos efeitos produzidos pelas duas forças, pode-se escrever os espectros Eulerianos dimensionais (DEGRAZIA et al., 2000):

$$S_i^E(n) = S_{ib}^E(n) + S_{is}^E(n) \quad (1)$$

onde o primeiro termo representa a produção por empuxo e o segundo termo representa a componente mecânica, sendo que o subscrito b representa o empuxo, s representa o cisalhamento e  $i = u, v, w$ . O desenvolvimento das equações espectrais utilizadas é descrito com detalhes em Mangia et al. (2000) e Degrazia et al. (2000). Para calcular a ECT, utilizam-se as expressões para as variâncias de velocidade térmica e mecânica, obtidas integrando-se os espetros Eulerianos de ECT em todo o domínio de frequências.

O cálculo para a obtenção dos valores de rajada de vento é realizado através de uma rotina escrita em linguagem de programação FORTRAN. A rotina recebe as variáveis e os parâmetros de escala gerados pelo modelo WRF e calcula a rajada de vento com base nas equações do espectro de ECT e das variâncias de velocidade tubulenta.

Os valores de ECT são aplicados para estimar as rajadas de vento conforme Kurbatova et al. (2018), Born et al. (2012) e Schreur e Geertsema (2008). Kurbatova et al. (2018) sugerem a seguinte expressão:

$$wge = U + 3\sigma = U + 3\sqrt{q} \quad (2)$$

onde "wge" é a estimativa da rajada de vento,  $U$  é a velocidade média do vento,  $\sigma$  é o desvio padrão da velocidade do vento e  $q$  representa a ECT. Born et al. (2012) apresentam a seguinte equação:

$$wge = U + \sqrt{2q} \quad (3)$$

Schreur e Geertsema (2008) derivaram a equação de rajada como sendo:

$$wge = U \left( 1 + gr_\sigma \frac{\sqrt{2q}}{U} \right) \quad (4)$$

Considerando a duração da rajada de vento  $t = 3$  s e a altura de observação  $z = 10$  m, pode-se obter:

$$g = 1,42 + 0,3013 \ln \left( \frac{990}{Ut} - 4 \right) \quad (5)$$

e

$$r_\sigma = \left( 1 - 0,069 \exp \left( -2,3 \frac{Ut}{z} \right) \right) \exp \left( -2,3 \left( \frac{Ut}{z} \right)^{0,555} \right) \quad (6)$$

Para a avaliação estatística dos resultados obtidos são calculados os seguintes índices: *Root Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) e *BIAS* (WILKS, 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região de Bagé esteve sob da atuação de cavados (áreas alongadas de baixa pressão) persistentes durante o período de estudo, tendo as rajadas de vento oscilado entre 55 km/h no momento de maior intensidade e menos de 10 km/h nos momentos de calmaria. A figura 1 ilustra que, de um modo geral, as parametrizações reproduzem de forma satisfatória os estágios de amplificação e enfraquecimento das rajadas de vento, porém cada parametrização estima de forma diferente os picos de rajada. O método de Kurbatova estima os valores de maior intensidade de maneira satisfatória, porém tende a superestimar os valores menos intensos. O método de Born representa melhor os valores de menor intensidade, mas não reproduz bem os maiores valores de rajada. Já a parametrização de Sheuer tende a superestimar os picos de rajada no período simulado.

A figura 2 apresenta os índices estatísticos calculados a partir da comparação entre as parametrizações de rajadas e os dados observados na estação de superfície. O índice RMSE evidencia que o método de Born, embora não reproduza satisfatoriamente os picos de rajada, gera os menores valores do índice, enquanto o método de Sheuer gera os maiores valores. O índice BIAS indica que o método de Sheuer apresenta, de uma forma geral, a tendência em superestimar os valores observados de rajada, enquanto que as parametrizações de Kurbatova e Born apresentam a tendência de subestimar. Os valores MAPE de Kurbatova e Born apresentam resultados satisfatórios, uma vez que estão entre 20% e 50%, enquanto que o método de Sheuer apresenta MAPE acima de 50%.

Figura 1 - Comparação entre rajadas de vento estimadas e observadas na EMS.

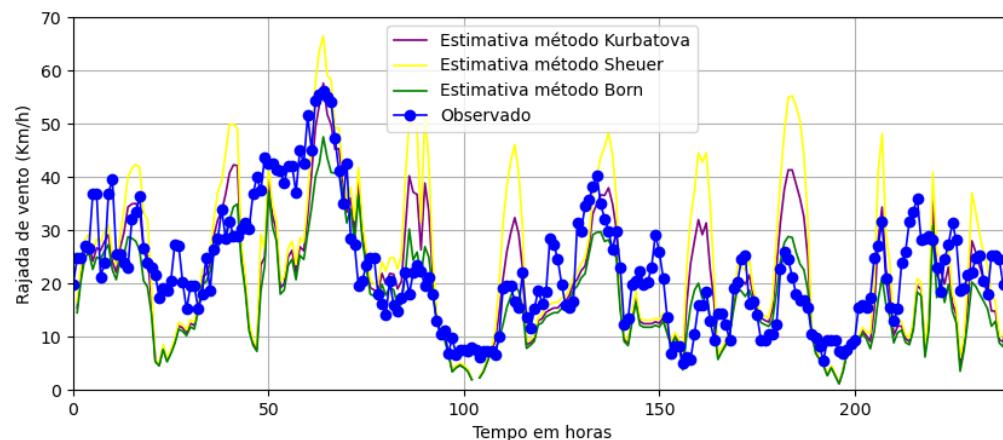
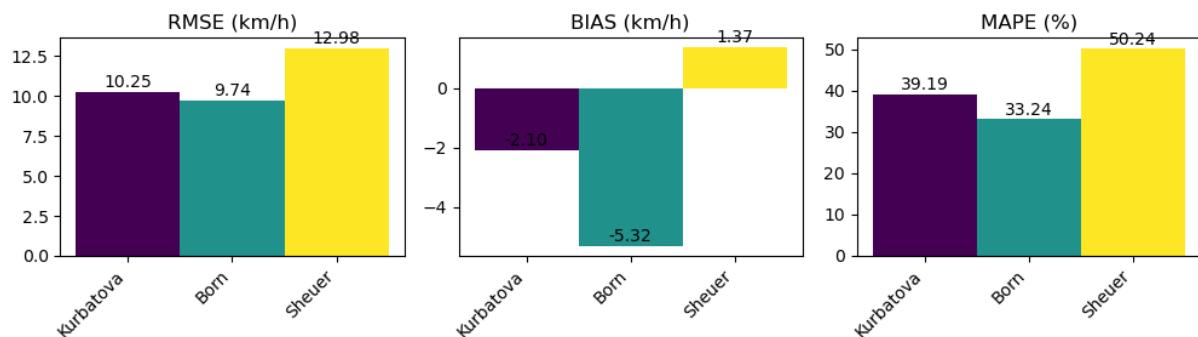


Figura 2 – Análise estatística com RMSE, BIAS e MAPE.



#### **4. CONCLUSÕES**

Conclui-se que as parametrizações de Kurbatova et al. (2018) e Born et al. (2012) apresentam resultados razoavelmente satisfatórios e podem ser aplicadas na região de Bagé, diante das condições de tempo verificadas. Já o método de Schreur e Geertsema (2008) não é recomendado para a situação estudada. Também, conclui-se que o cálculo da ECT a partir das equações de espectro turbulento é uma abordagem válida e que traz bons resultados quando associadas às parametrizações de rajada de vento.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AZAD, A. K.; ALAM, M. M. Determination of Wind Gust Factor at Windy areas of Bangladesh. **Proceedings of the 13th Asian Congress of Fluid Mechanics**, p. 17-21, Dhaka, Bangladesh, December, 2010.
- BORN, K.; LUDWIG, P.; PINTO, J. G. Wind gust estimation for Mid-European winter storms: towards a probabilistic view, **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 64, Cologne, Germany, 2012.
- DEGRAZIA, G. A.; ANFOSSI, D.; CARVALHO, J. C.; MANGIA, C.; TIRABASSI, T.; VELHO, H. F. C. Turbulence parameterisation for PBL dispersion models in all stability conditions. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 3575-3583, 2000.
- KURBATOV M.; RUBINSTEIN K.; GUBENKO I.; KURBATOV G. Comparison of seven wind gust parameterizations over the European part of Russia. **Advances in Science & Research**, v. 15, p. 251–255, November, 2018.
- MANGIA, C.; DEGRAZIA, G. A.; RIZZA, U. An Integral Formulation for the Dispersion Parameters in a Shear-Buoyancy-Driven Planetary Boundary Layer for Use in a Gaussian Model for Tall Stacks. **Journal of Applied Meteorology**, November, 2000.
- SCHREUR, B. W.; GEERTSEMA, G. Theory for a TKE based parameterization of wind gusts. **HIRLAM Newsletter**, Citeseer, n. 54, p. 177–188, December, 2008.
- SHERIDAN, P. Review of techniques and research for gust forecasting and parameterisation. **Forecasting Research Technical Report**, v. 570, Abril, 2011.
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic Press, 2011.