



# XIX CBMET

CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA

JOÃO PESSOA PB | 07 A 11 DE NOVEMBRO DE 2016  
METEOROLOGIA: TEMPO, ÁGUA E ENERGIA



## PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA TURBULÊNCIA NA CAMADA LIMITE SUPERFICIAL NA ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA

Jennifer Guerra Sánchez, Jacyra Soares.  
IAG USP

### 1. INTRODUÇÃO

Descrição dos escoamentos turbulentos na região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF) (Fig. 1) é praticamente inexistente na literatura e muito de seus aspectos ainda são desconhecidos. Este estudo explora as propriedades espectrais da turbulência atmosférica na camada limite superficial, utilizando dados das componentes da velocidade do vento amostradas na EACF (62°05' S, 58°23' O, 20 m ao nível médio do mar) entre os dias 22 (dia do ano 326) e 27 de novembro (331) de 2014. Será investigada a possível influência da topografia e dos diferentes regimes de estabilidade atmosférica, presentes na região, no escoamento turbulento. Para tanto são estimadas as densidades espectrais e discutidas as possíveis diferenças entre o escoamento local e os resultados apresentados na literatura para terrenos planos e uniformes e com regime de estabilidade atmosférica neutra, no subintervalo inercial.



Figura 1. Península de Keller rodeada pela Baía de Almirantado. As localizações da EACF e da torre micrometeorológica são indicadas na figura.

### 2. METODOLOGIA

As medidas foram obtidas, a uma frequência de 10 Hz, utilizando um anemômetro sônico tridimensional instalado a 11.74 metros de altura. Foram escolhidos intervalos de 30 minutos para o cálculo dos espectros turbulentos das componentes da velocidade do vento. Os dados foram processados com o Software EddyPro, e incluiu uma série de correções para garantir a qualidade dos dados (Alves, 2016). Os espectros turbulentos, calculados sob diferentes tipos de estratificação atmosférica, foram ajustados a curvas teóricas para posterior comparação com a literatura. Aqui, a título de ilustração serão usadas somente a componente do vento cuja direção é alinhada à direção do vento médio ( $u$ ) e a componente vertical do vento ( $w$ ).

### 3. RESULTADOS

A estabilidade da atmosfera local observada no período de estudo é mostrada na Figura 2. Observa-se que a maior parte do tempo a atmosfera está perto da neutralidade.

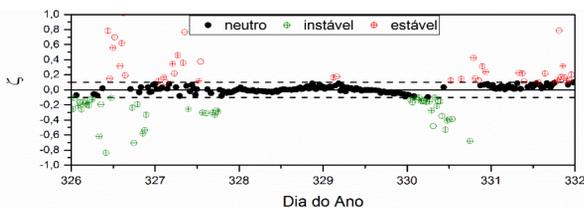


Figura 2. Variação temporal do parâmetro de estabilidade ( $\zeta$ ). As linhas horizontais tracejadas indicam o intervalo  $-0.1 \leq \zeta \leq 0.1$ , próximo da neutralidade.

As densidades espectrais das componentes da velocidade do vento ( $u$  e  $w$ ) foram estimadas e, então, ajustadas curvas, conforme Figura 3.

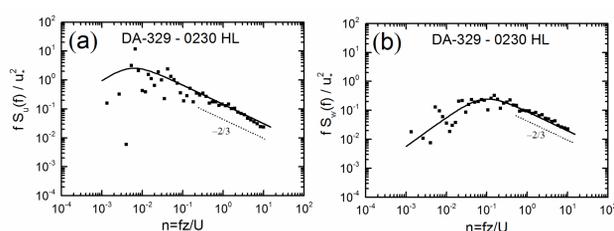


Figura 3. Densidades espectrais de (a)  $u$ , (b)  $w$ . As curvas contínuas representam o melhor ajuste à densidade espectral estimada (pontos). São especificados o Dia do ano (DA) e o horário. A escala aplicada em ambos os eixos é log-log. O gráfico corresponde a uma das séries estudadas, com estabilidade próxima da neutralidade ( $\zeta = 0.04$ ).

No subintervalo inercial, o comportamento dos espectros, com estabilidade próxima da neutralidade, foi consistente com o observado sob condições homogêneas por Kaimal et al. (1972) decaindo com  $n^{-5/3}$  no subintervalo inercial (Fig. 4).

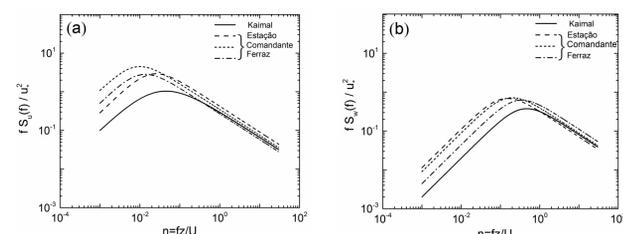


Figura 4. Densidades espectrais normalizadas por  $u^2$ . A curva contínua, obtida em condições homogêneas sob estabilidade atmosférica neutra, representa o modelo de Kaimal et al. (1972). Espectros de (a)  $u$  e (b)  $w$  observados em condições de estabilidade atmosférica próximos à neutralidade.

Decorre da hipótese de Taylor, da condição de isotropia local, da incompressibilidade do escoamento turbulento e da hipótese de Kolmogorov (1941) os espectros das componentes de velocidade devem obedecer a relação (1) (Fig. 5).

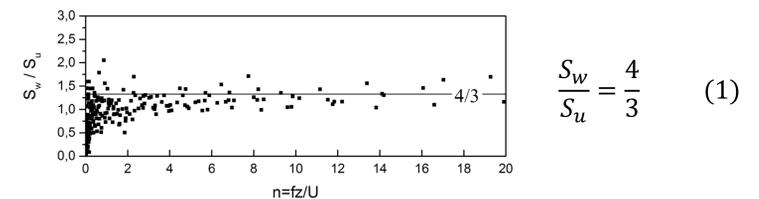


Figura 5. Razão de isotropia entre os espectros de velocidade vertical ( $w$ ) e zonal ( $u$ ) do vento no subintervalo inercial. Foram utilizadas um total de 10 séries temporais que se encontravam sob uma estabilidade atmosférica próxima à neutralidade. Os pontos foram obtidos a partir dos espectros suavizados de  $w$  e  $u$ .

A comparação das variâncias das componentes vertical e zonal do vento calculadas mediante a integração das curvas ajustadas aos espectros turbulentos e as variâncias obtidas diretamente das séries temporais (Fig. 6) mostrou boa correlação com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) maiores do que 0.88.

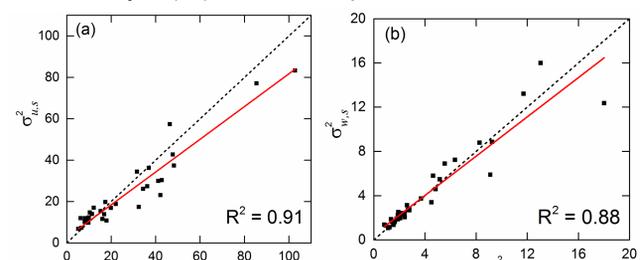


Figura 6. Relação de dispersão entre as variâncias obtidas diretamente das séries temporais ( $\sigma_{u,s}^2$  e  $\sigma_{w,s}^2$ ) e as estimadas mediante a integração dos espectros turbulentos ( $\sigma_{u,e}^2$ ,  $\sigma_{w,e}^2$ ). Variâncias de (a)  $u$  e (b)  $w$ .

### 4. CONCLUSÕES

Os espectros turbulentos das componentes da velocidade do vento investigadas neste trabalho ( $u$  e  $w$ ) se apresentaram em acordo com a Lei de Kolmogorov com um decaimento de  $-5/3$  no subintervalo inercial. Além disso, quando a estabilidade atmosférica era perto da neutralidade, o comportamento dos espectros na região das frequências mais altas também foi consistente com a razão de isotropia para ( $S_w/S_u$ ), se aproximando ao valor constante de  $4/3$  com o aumento da frequência. O cumprimento destas propriedades afirmou o caráter isotrópico da turbulência nessa região do espectro (Kolmogorov, 1941) quando atmosfera estava perto da neutralidade. As variâncias estimadas mediante a integração dos espectros turbulentos resultaram estar, em geral, em boa concordância com aquelas calculadas diretamente das séries temporais.

### 5. REFERÊNCIAS

- Alves, M.A.A., 2016: Investigation of the energy balance and momentum flux in the atmospheric surface layer in a non-glaciated coastal area at Ferraz Station, Antarctic region. Dissertação (mestrado) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 43 pp.
- Kaimal, J. C., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and O. R. Cote, 1972: Spectral characteristics of surface layer turbulence. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, **98**, 563-589.
- Kolmogorov, A.N., 1941: Local structure of turbulence in an incompressible fluid at very high Reynolds numbers. *Dokl. Accad. Nauk. URSS*, 30:299-303

### AGRADECIMENTOS

O primeiro autor deseja agradecer a bolsa de estudo do CNPq. O segundo autor agradece o apoio financeiro do CNPq (305357/2012-3, 407137/2013-0). Ambos os autores gostariam de agradecer ao "INCT-APA", CNPq (574018 / 2008-5) e FAPERJ (E-16/170.023/2008).