

# TRANSFORMADA EM ONDELETAS APLICADA AO ESTUDO DE TRANSIÇÃO VESPERTINA NO ESCOAMENTO ACIMA DA FLORESTA DE CAXIUANÃ, PA

Cintya A. Martins <sup>1</sup>; Leonardo D. A. Sá <sup>2</sup>; Osvaldo L. L. Moraes <sup>1</sup>; Taiane Prass <sup>1</sup>

*Laboratório de micrometeorologia*

*Departamento de Física*

*<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, RS – Brasil*

*<sup>(2)</sup>CPTEC-INPE/Museu Emílio Goeldi – Belém, PA – Brasil*

## 1. Resumo

Os estudos da camada limite noturna (CLN) têm ganhado um novo impulso com os resultados do Experimento CASES-99, dentre outros. Um aspecto ainda pouco abordado, refere-se à investigação da estrutura da camada limite atmosférica (CLA) no período de transição tarde-noite (Transição Vespertina) acima da floresta. É o que se pretende efetuar neste estudo, através da aplicação da análise dos sinais turbulentos em tempo-escala propiciada pela Transformada em Ondeletas (TO) para investigar características espectrais e co-espectrais de fenômeno de rajada, comum nos inícios de noite, no sítio experimental da Floresta de Caxiuanã, PA. Os dados foram obtidos no período de março a outubro de 2005 com instrumentos de resposta rápida amostrados a uma taxa de 10Hz, instalados no topo de torre meteorológica de 54m.

## 2. Introdução

Ainda que a CLN tenha sido objeto de muitas análises baseadas na Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov e de suas variantes (Sorbjan, 1989), recentemente os dados proporcionados pelo grande esforço experimental desenvolvido no CASES-99 (Poulos et al., 2002) assim como investigações da transição vespertina (Acevedo e Fitzjarrald, 1999) e da ação dos jatos de baixos níveis na mistura de “cima para baixo” da atmosfera inferior (Mahrt, 1999), chamam a atenção para aspectos novos da evolução da CLN. Dentre fenômenos interessantes associados a modificações bruscas e de curta duração na CLN, destacam-se os resultados de Sun et al. (2002; 2004) relacionados aos efeitos de correntes de densidade, ondas isoladas e interação de ondas de gravidade com a turbulência. Nogueira et al. (2005) estenderam tal tipo de investigação à CLN acima da Floresta de Caxiuanã e constataram ser freqüente a ocorrência de fortes rajadas de vento no início da noite, durante curtos intervalos de tempo (inferiores a 15min) quando há intensa atividade de troca turbulenta. A finalidade do presente estudo é a de investigar um caso de rajada em Caxiuanã utilizando para isto a análise em tempo-escala proporcionada pela TO. Com isto, determinam-se características espectrais e co-espectrais da turbulência durante tais eventos.

### 3. Transformada de Ondeleta (TO)

A TO é uma ferramenta matemática que permite análise em tempo e escala de um sinal utilizando-se de funções analíticas localizadas no tempo, as ondeletas (Daubechies, 1992). A decomposição em escala é obtida dilatando ou contraindo a ondeleta utilizada, e então fazendo a convolução desta com o sinal (Farge, 1992). A função de Morlet é complexa, e fornece muitas informações sobre o sinal, tais como, módulo de  $L^2$  que mostra a densidade de energia, a fase em cada instante e as partes real e imaginária dos coeficientes de ondeletas (Farge, 1992).

### 4. Descrição Experimental

Os dados usados neste trabalho foram coletados na Floresta Nacional de Caxiuanã, tendo os dados sido medidos durante os meses de março a outubro de 2005. No caso deste estudo, trabalhou-se com dados do dia juliano 208. Caxiuanã é uma reserva florestal localizada no leste do Pará ( $1^{\circ}42'30''S, 51^{\circ}31'45''W$ ), no município de Melgaço. Durante o experimento, os dados foram coletados por sensores de resposta rápida (10HZ) das três componentes do vento, temperatura, umidade específica e concentração de  $CO_2$ . As medidas das componentes da velocidade do vento e da temperatura foram realizadas com anemômetro sônico tridimensional da Campbell, modelo CSAT3, e os de umidade específica e concentração de  $CO_2$  com medidores LICOR, modelo 6262, os quais estavam instalados na altura de 54m na torre e acoplados a um sistema de aquisição de dados do datalogger CRX10 da Campbell. Da série temporal escolhida para análise (16:00h às 20:30h) foi destacado um período especial (da ordem de 10000s) durante o qual observou-se fenômeno de rajada intensa. Efetuaram-se também análises das variáveis de velocidade da componente longitudinal do vento, temperatura, umidade, não apresentadas aqui. A escolha de uma ondeleta complexa contínua, no caso, a de Morlet, deu-se em função dos objetivos estritos de visualização das projeções. Futuramente em abordagem mais voltada para os aspectos quantitativos dos resultados, será utilizada uma ondeleta discreta ortogonal.

### 5. Resultados e Discussões

Procurou-se determinar características co-espectrais do fluxo de  $CO_2$  durante um intenso episódio de rajada, com duração inferior a 20min, ocorrido durante o DJ 208 e após às 19 horas (hora local). Será mostrado o sinal da concentração de  $CO_2$  (figura 1(a)) das 16:00 às 20:30 horas e a flutuação intensa observada em torno das 19:00 horas (foi também observada nos sinais de vento, umidade e temperatura, não apresentados aqui). Ainda, há a apresentação do escalograma (gráfico tridimensional, com o tempo nas abscissas, escala temporal nas ordenadas e valor do coeficiente resultante da análise de ondeletas, associado as cores mais ou menos intensas), na parte inferior (figura 1(a)), o qual indica claramente a manifestação em tempo-escala da rajada. Com a finalidade de investigar quantitativamente a contribuição em escala para fluxos de  $CO_2$  e determinar as escalas em que houve maior contribuição efetiva, são mostrados os gráficos (figura 1(b) até 1(d)), que representam os produtos das projeções de  $w'$  e  $c'$  (onde  $c'$  é a flutuação de  $CO_2$ ) nas escalas temporais de 22,5s, 17s e 13,6s. Ressalta-se que neste intervalo de escalas a soma das contribuições foi notoriamente positiva, o

que não foi verificado nas escalas superiores a 22,5s e inferiores a 13,6s, onde a somatória das contribuições foi aproximadamente nula. Ressalta-se, também, que o mesmo procedimento foi estendido às flutuações de  $w'q'$  e  $w'T'$ , no mesmo intervalo de tempo. Os resultados para  $w'q'$  foram similares aos de  $w'c'$ , contrariamente ao observado para os fluxos de calor sensível ( $w'T'$ ), que apresentam valores predominantemente negativos.

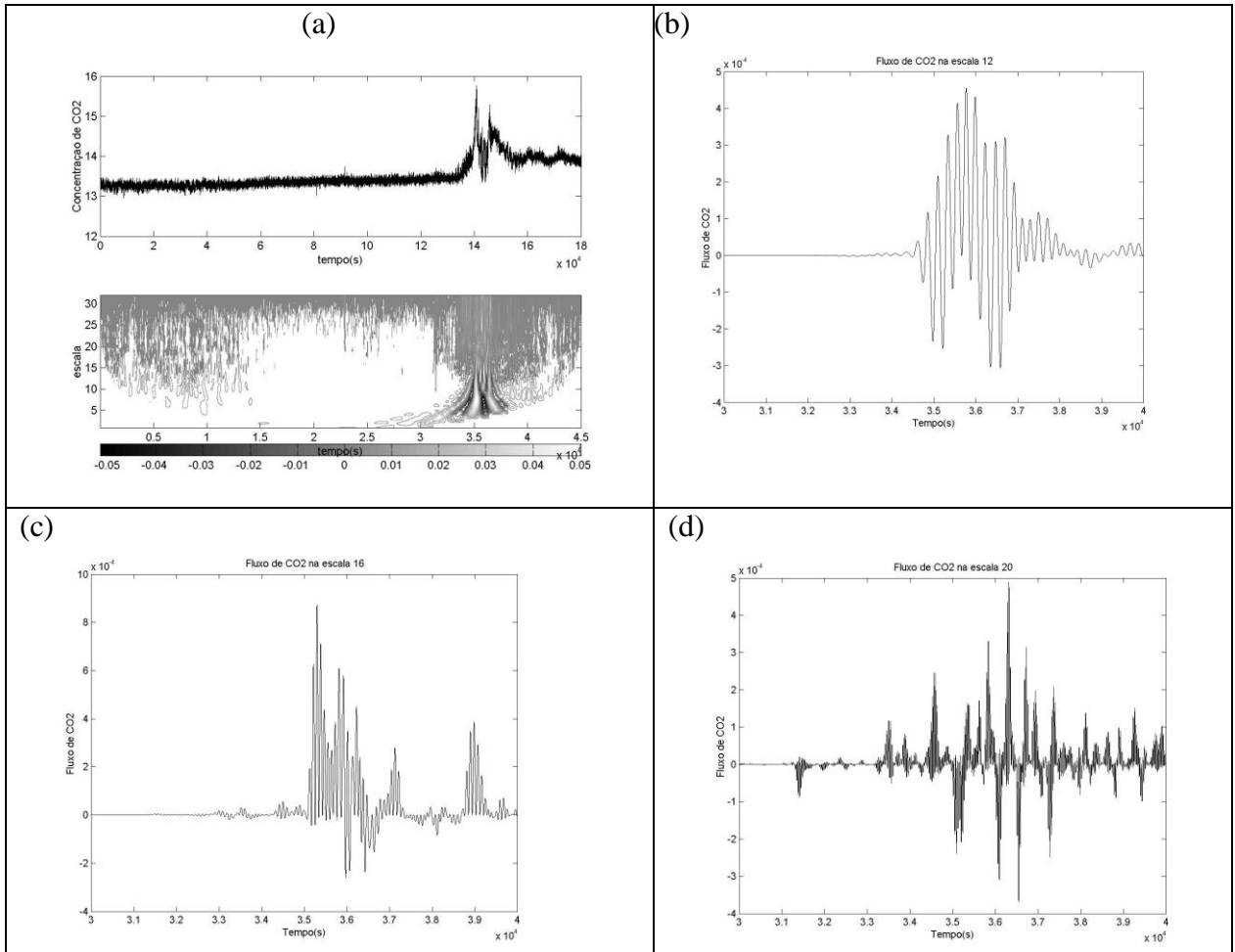


Figura 1. (a) Sinal bruto de CO<sub>2</sub> e análise de ondeleta em tempo- escala da parte real do coeficiente de CO<sub>2</sub>; (b) projeção da ondeleta de Morlet na escala 12 do fluxo de CO<sub>2</sub>; (c) projeção da ondeleta de Morlet na escala 16 do fluxo de CO<sub>2</sub>; (d) projeção da ondeleta de Morlet na escala 20 do fluxo de CO<sub>2</sub>;

## 6. Conclusões

Utilizou-se a Transformada em Ondeletas de Morlet, sendo possível estudar qualitativamente um episódio de rajada noturna em Caxiuanã, PA. Os resultados mostram intensos fluxos positivos de CO<sub>2</sub> e vapor d'água, bem como fluxos negativos de calor sensível, cujas contribuições estão confinadas nas escalas temporais entre 22,5s e 13,6s.

## Agradecimentos

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pelo MCT e CNPq/PADCT, através do Instituto do Milênio, com os Projetos nº 62.0056/01-0, e nº 62.0065/01-0, e pela FADESP/SECTAM/PRONEX, contrato nº 1082. Cintya Martins agradece à CAPES pela bolsa de doutoramento; Leonardo Sá e Osvaldo Moraes agradecem ao CNPq (pelas bolsas de produtividade em pesquisa, processo 306769/2004-2 e pelos auxílios proporcionados pelo Edital Universal, processo 481340/2004-1); Taiane Prass agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Os autores agradecem ao Museu Paraense Emílio Goeldi que proporcionou todas as facilidades para o bom andamento deste experimento, ao LIM-CPTEC-INPE e ao Departamento de Meteorologia da UFPA pelo apoio às atividades experimentais em Caxiuanã.

## Referências

- Acevedo, O. C. and Fitzjarrald, D. R.: The early evening surface-layer transition: Temporal and Spatial Variability. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.58, n. 17, p. 2650-2668, Sept, 2001.
- Daubechies, I.: **Ten lectures on wavelets**. SIAM, 1992, p. 278-285.
- Farge, M.: The Wavelet Transform and its applications to turbulence. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 24, p. 395-457, 1992.
- Mahrt, L.: Stratified Atmospheric Boundary Layers. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 90, 375-396, 1999.
- Nogueira, D. S.; Sá, L. D. A.; Cohen, J. C. P.: Rajadas Noturnas e Trocas de CO<sub>2</sub> Acima da Floresta de Caxiuanã, PA, Durante a Estação Seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, submetido em maio de 2005.
- Poulos, G. S.; Blumen, W.; Fritts, D.C. Lundquist, J. K.; Sun, J.; Burns, S. P.; Nappo, C.; Banta, R.; Newsom, R.; Cuxart, J.; Terradellas, E.; Balsley, B.; Jensen, M. CASES-99.: A comprehensive investigation of the stable nocturnal boundary layer. **American Meteorological Society**, Apr, 2002.
- Sorbjan, Z. **Structure of the atmospheric boundary layer**. London: Prentice-Hall, 317p, 1989.
- Sun, J.; Burns, S. P.; Lenschow, D. H.; Banta, R.; Newsom, R.; Coulter, R.; Frasier, S.; Ince, T.; Nappo, C.; Cuxart, J.; Blumen, W.; Lee, X.; Hu, X.: Intermittent turbulence associated with a density current passage in the stable boundary layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 105, 199-219, 2002.
- Sun, J.; Burns, S. P.; Lenschow, D. H.; Banta, R.; Newsom, R.; Coulter, R.; Frasier, S.; Ince, T.; Nappo, C.; Balsley, B. B.; Jensen, M.; Mahrt, L.; Miller, D.; Skelly, B.: Atmospheric disturbances that generate intermittent turbulence in nocturnal boundary layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 110, 255-279, 2004.

