

# ESTIMATIVA DE ERROS AMOSTRAIS EM FLUXOS TURBULENTOS ACIMA DA FLORESTA DE CAXIUANÁ, PARÁ

Alessandro Lechinoski<sup>1</sup>, Cintya de Azambuja Martins<sup>2</sup>, Leonardo Deane de Abreu Sá<sup>3</sup>

(1) Bolsista de Iniciação Científica, Museu Paraense Emílio Goeldi-CNPq

(2) Bolsista de doutorado da CAPES, Universidade Federal de Santa Maria

(3) Pesquisador do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Museu Paraense Emílio Goeldi

## Resumo

É estudada a variabilidade da estimativa de erros amostrais de fluxos turbulentos na camada limite superficial (CLS) acima de floresta primária em Caxiuanã, reserva localizada no município de Melgaço, Pará, a aproximadamente 400 km de Belém. Para isto foram utilizados dados de resposta rápida da componente vertical da velocidade do vento,  $w'$ , e da flutuação da concentração de gás carbônico,  $c'$ , medidos acima da floresta, em torre de 54m de altura. Foi utilizada a metodologia proposta por Wyngaard (1983), a qual utiliza informações proporcionadas por escala integral associada ao sinal de  $w'c'$ , seu coeficiente de correlação, além do comprimento amostral dos dados turbulentos. Os resultados para a Floresta de Caxiuanã indicaram acentuada variabilidade no erro amostral que foi maior durante o período de transição tarde-noite e foi menor durante o início da tarde. Em algumas situações, foi impossível determinar o erro amostral, dada a acentuada não estacionaridade dos dados, conforme mostrado através do escalograma do sinal de  $w'c'$  obtido com transformada em ondas complexa (Morlet), muito útil na visualização da variabilidade do sinal em tempo-escala. São propostas explicações físicas para os resultados alcançados.

## 1. Introdução

A determinação precisa dos fluxos turbulentos é muito importante em estudos teóricos e práticos dos processos de interação superfície-atmosfera. Ganha um significado especial nos estudos referentes ao papel desempenhado pela Floresta Amazônica no ciclo do carbono. No que se refere a erros em estimativas de fluxos, de uma maneira simplificada, podem-se definir duas fontes principais de incertezas associadas ao cálculo seu preciso: a primeira é o resultado de todos os erros associados à medida das grandezas turbulentas e a segunda advém do método de cálculo utilizado. Aqui, só serão discutidos erros associados à segunda fonte de incerteza mencionada anteriormente. Serão abordados exclusivamente erros associados ao cálculo dos fluxos pelo método das covariâncias, que apesar de ser o único procedimento de medida direta dos fluxos, ainda mantém questões abertas no que tange à sua aplicabilidade irrestrita (Vickers e Mahrt, 2003).

## 2. Metodologia

O cálculo do erro amostral associado à estimativa dos fluxos turbulentos pelo método das covariâncias baseou-se na metodologia de Wyngaard (1983), que envolve o uso de escalas integrais temporais, e cuja expressão é apresentada abaixo:

$$\sigma/\langle f \rangle = [ (2\lambda/L) (1 + r^2)/r^2 ]^{1/2}$$

onde  $\sigma/\langle f \rangle$  indica a precisão da estimativa do fluxo,  $\langle f \rangle$  é o fluxo turbulento médio e  $\sigma$ , o seu respectivo desvio-padrão,  $L$  é a duração temporal da amostra em que foi efetuado o cálculo (no caso, 30 minutos),  $\lambda$  é a escala integral temporal associada ao sinal  $w'c'$  (em

que  $w'$  é a flutuação de velocidade vertical e  $c'$  é a flutuação da concentração de  $\text{CO}_2$ ,  $r$  é o coeficiente de correlação entre  $w'$  e  $c'$ .

#### 4. Dados experimentais

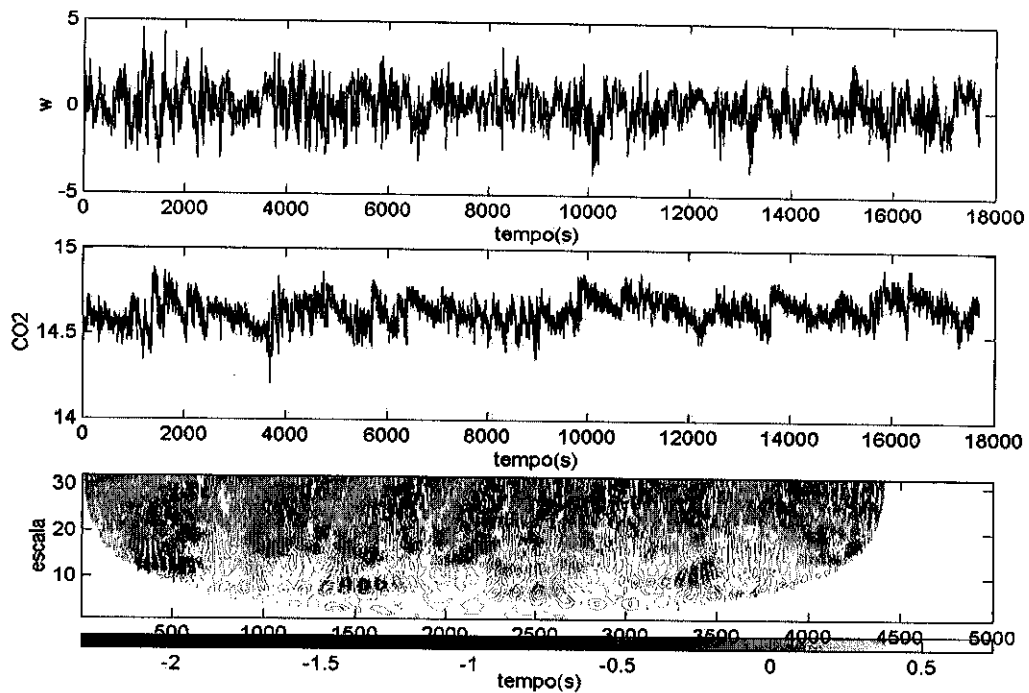
Os dados foram coletados na Floresta de Caxiuanã ( $1^\circ 42'30''S, 51^\circ 31'45''W$ ), no município de Melgaço, PA, durante os meses de março a outubro de 2005. Foram utilizados sensores de resposta rápida (10Hz) das três componentes do vento ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ), temperatura, umidade específica e concentração de  $\text{CO}_2$ . As medidas da velocidade do vento e da temperatura foram efetuadas com anemômetro sônico tridimensional da Campbell, modelo CSAT3, e as de umidade específica e concentração de  $\text{CO}_2$  com medidores LI-COR, modelo 6262 (caminho aberto), os quais estavam instalados na altura de 54m na torre e acoplados a um sistema de aquisição de dados do datalogger CRX10 da Campbell.

#### 5. Resultados e discussão

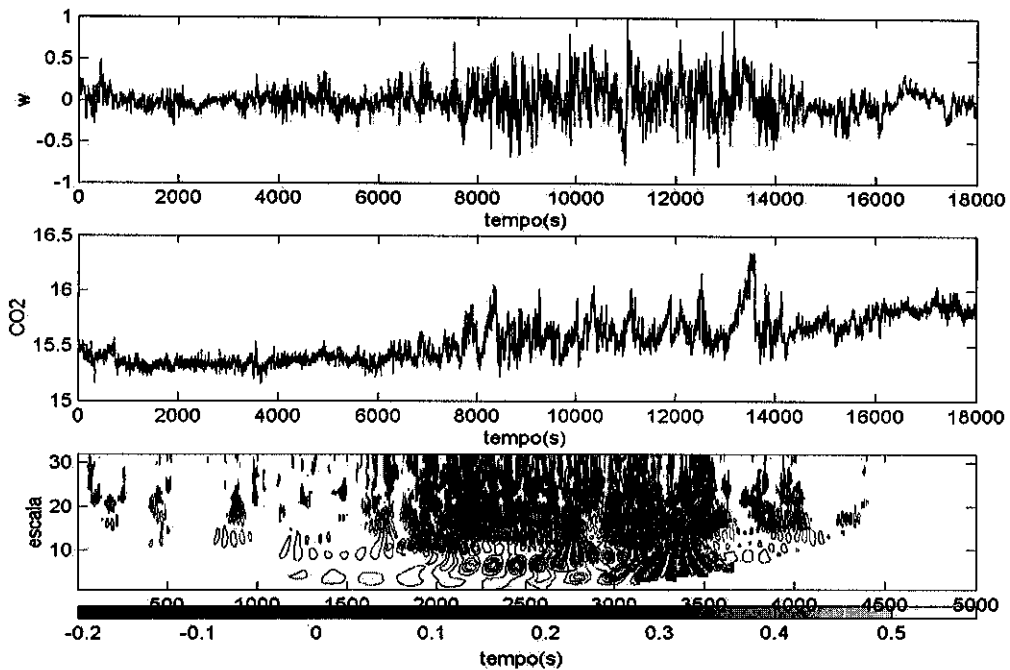
A (tabela 1) apresenta os dados resultantes da estimativa do erro amostral do fluxo de  $\text{CO}_2$  para vários intervalos horários. A (tabela 2) apresenta todos os intervalos horários em que não foi possível calcular o erro devido à dificuldade de obtenção de um valor para  $\lambda$ , pois sob condições pouco estacionárias a função auto-correlação para o sinal de  $w'c'$  não chega a cortar o eixo horizontal, ou apresenta anomalias em seu decaimento. Para obter uma informação qualitativa sobre a diversidade de valores de erro amostral, é apresentada a (figura 1), que apresenta gráficos de  $w'$ , de  $c'$  e do escalograma de  $w'c'$  (usando a ondeleta de Morlet) para duas situações extremas: (a) caso de pequeno erro amostral; (b) caso em que não foi possível calcular o erro, dadas as condições não estacionárias imperantes.

Horas	Erro Médio (%)
06:00/07:00	126,7702684
08:00/09:00	83,9392157
10:00/11:00	57,1054494
12:00/13:00	44,8723405
14:00/15:00	28,224901
16:00/17:00	43,6681635
18:00/19:00	507,2938497
20:00/21:00	684,1970558
22:00/23:00	124,8215582

Tabela 1 Valores médios do erro amostral associado ao fluxo de  $\text{CO}_2$  para os diversos intervalos horários.



a) Exemplo de fluxo com pequeno erro amostral: dados de  $w'$ ,  $c'$  e de  $w'c'$  (Dia Juliano 84 as 12:00 horas)



b) Exemplo de fluxo com elevado erro amostral: dados de  $w'$ ,  $c'$  e de  $w'c'$  (Dia Juliano 84 as 15:30 horas).

Figura 1. sinais de  $w'c'$  e escalograma para dados: a) em que o fluxo apresentou baixo erro amostral e b) em que o fluxo apresentou elevado erro amostral.

Horas	Números de ocorrências
06:00/07:00	5
08:00/09:00	6
10:00/11:00	7
12:00/13:00	6
14:00/15:00	5
16:00/17:00	8
18:00/19:00	1
20:00/21:00	4
22:00/23:00	1
Total	43

Tabela 2 Valores do número de dados por intervalos horários em que não foi possível estimar o erro amostral do fluxo de CO<sub>2</sub>.

## 6. Conclusões

Os resultados mostram que há grande variabilidade na precisão dos fluxos de CO<sub>2</sub> (desde 20% a 500%) e que isto se deve, ao menos em parte, à existência de condições razoavelmente estacionárias ou plenamente não estacionárias, conforme sugerido pela observação dos escalogramas dos sinais. Os horários nos períodos de transição tarde-noite foram os que apresentaram fluxos menos precisos.

## 7. Agradecimentos

*Esta pesquisa foi parcialmente financiada pelo MCT e CNPq/PADCT, através do Instituto do Milênio, com os Projetos n° 62.0056/01-0, e n° 620065/01-0 e pela FADESP/SECTAM/PRONEX, contrato n° 1082. Alessandro Lechinoski agradece ao Museu Paraense Emilio Goeldi e ao CNPq pelas bolsa de iniciação científica; Cintya Martins agradece à CAPES pela bolsa de doutorado, Leonardo Sá agradece ao CNPq (pela bolsa de produtividade em pesquisa, processo 306769/2004-2 e pelo auxílio proporcionado pelo Edital Universal, processo 481340/2004-1). Os autores agradecem ao Museu Paraense Emilio Goeldi que proporcionou todas as facilidades para o bom andamento da coleta de dados, ao LIM-CPTEC-INPE e ao Depto. de Meteorologia da UFPA pelo apoio às atividades experimentais em Caxiuanã.*

## 8. Referências bibliográficas

Vickers, D.; Mahrt, L.: "The cospectral gap and turbulent flux calculations", *Jornal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26, 5: 660-672, May, 2003.

Wyngaard, J.C.: Lectures on planetary boundary-layer. In: **Mesoscale Meteorology – Theory, Observations and Models**, D. Lilly and T. Gal-Chen Eds., Reidel, Hingham, MA: 603-650, 1983.