

Um estudo sobre a variabilidade de fluxos turbulentos na camada limite superficial utilizando o método dissipativo-inercial

Leonardo D. de Abreu Sá (1), A. Druilhet (2) e P. Durand (2)

(1) DCT/INPE, São José dos Campos, Brasil.

(2) Laboratoire d'Aérodynamique, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

Abstract

The spatial variability of turbulent fluxes in the Surface Boundary Layer (SBL) of the atmosphere is studied, estimated both through the Eddy Correlation Method (ECM) and the Dissipative-Inertial Method (DIM), from airborne measurements. A statistical analysis of the variability is made based on the assumption that the signal is horizontally homogeneous. To that aim calculus for diverse flux integration lengths are made. For each integration interval, these fluxes are successively estimated over different moving segments along the available sample length. The results obtained were: (a) the spatial variability is smaller when the flux is calculated through the DIM; (B) in the DIM the variability is bigger for the momentum's flux and smaller for the heat's flux. However, in the ECM the spatial variability of the fluxes is approximately the same. The error's spatial variability of the fluxes through the DIM is also studied. An effort to explain physically the results is made.

1. Introdução

Em outro artigo apresentado nesta edição (Sá e Durand), é discutida a validação do Método Dissipativo-Inercial (MDI) para medidas aerotransportadas. Nele também são efetuadas estimações de erros associados à determinação dos fluxos turbulentos. Ai, as discussões se ativeram a cálculos que utilizaram o número total de dados disponíveis para cada voo. Já neste artigo, são abordados problemas associados à variabilidade dos fluxos estimados ao longo dos voos. Pretende-se igualmente indicar o número mínimo de dados necessário para que as estimações dos fluxos pelo MDI seja confiável.

Estas questões são postas porque a hipótese de homogeneidade horizontal das grandezas turbulentas na Camada Limite Atmosférica (CLA) não parece ser sempre válida (Druilhet et al., 1994), principalmente quando nela estão presentes fenômenos tais como células convectivas, microfronts ou intermitências, dentre outros (Schols, 1984; Shaw e Businger, 1985; Mahrt, 1989 e 1991) os quais não parecem ser bem captados pelo Método das Covariâncias, "MC" (Khalsa e Businger, 1977). Entretanto, dada a natureza do MDI, deve-se esperar que este seja mais capaz de detectar as variações de pequena escala dos fluxos provenientes das intermitências do campo turbulento.

2. Metodologia

2.1 Variabilidade dos fluxos ao longo das amostras de dados

Esta metodologia se restringe apenas aos casos em que os fluxos foram estimados dentro de um certo padrão de confiabilidade, não sendo abordadas aqui as outras situações.

Para caracterizar o grau de variabilidade dos fluxos ao longo das amostras, definiu-se um parâmetro adimensional de variabilidade, "d":

$$\delta(F, L_p) = E(F, L_p) / M(F, L_p) \quad (1)$$

onde "M(F, L_p)" é o valor médio das estimações suficientemente confiáveis dos fluxos "F", ao longo da amostra "p" de comprimento "L_p". E(F, L_p) é um "desvio quadrático médio" definido por:

$$E(F, L_p) = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [F_i(F, L_p) - M(F, L_p)]^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

Este parâmetro adimensional "d" foi utilizado para estudar a variabilidade dos fluxos "F" (de momentum "t", de calor sensível "H" e de calor latente "IE") com base na determinação dos mesmos em sucessivos segmentos amostrais "móveis", para cada um dos seguintes comprimentos: L_p = 2, 4, 6 e 8 km. Contudo, os dados assim gerados não são, a priori, estatisticamente independentes, o que faz com que "E(F, L_p)" não deva ser considerado como um verdadeiro "desvio padrão", no sentido estatístico do termo. No entanto, ele fornece uma estimativa de variabilidade.

2.2. Evolução dos erros de estimação de fluxo em função do comprimento de amostragem

O procedimento para estimar erro dos fluxos calculados pelo MDI já foi discutido por Sá e Durand em outro artigo desta edição. Aqui será abordado apenas a variação do erro em função do comprimento amostral.

3. Análise dos Resultados

3.1. Variabilidade Espacial dos Fluxos

A partir dos valores de " $d(F L_p)$ ", foram achadas as variabilidades médias, $\langle d \rangle$, para cada modalidade de fluxo "F" e para cada comprimento " L_p ". Os resultados são apresentados na figura 1. Deles se pode depreender o seguinte:

a) Os valores de d são sempre menores para o MDI em comparação com aqueles para o MC, para um mesmo comprimento amostral e para uma mesma modalidade de fluxo; b) Os valores de $\langle d \rangle$ diminuem quando aqueles de L_p aumentam, o que é lógico, pois o aumento do comprimento de integração pode ser concebido como um processo de "suavização" da variabilidade; c) Para o MDI, os valores de $\langle d \rangle$ para momentum "t", são sempre maiores do que aqueles para o fluxo de calor sensível "H" e para o fluxo de calor latente "IE", para um mesmo comprimento amostral e para uma mesma grandeza turbulenta. Por outro lado, estas diferenças são menos nitidas para o MC; d) As variabilidades de H e de IE são aproximadamente idênticas para cada método em particular, o que é expresso pela pouca variabilidade da razão de Bowen "Bo" ($Bo = H/IE$) em comparação com aquela dos fluxos turbulentos (Sá 1992).

Podemos concluir que, em média, as estimações dos fluxos pelo MDI são mais "estáveis" do que aquelas pelo MC, no que se refere à variabilidade ao longo das amostras. Esta tendência aumenta quando se diminui o comprimento de cálculo. As causas estariam associadas à dimensão média dos vórtices captados pelo MC, a qual é consideravelmente maior do que aquela associada aos vórtices detectados pelo MDI.

3.2 Evolução dos Erros

A discussão sobre a variabilidade dos erros será restrita ao MDI, visto que o procedimento de estimação destes é menos afetado pela diminuição do comprimento de integração dos cálculos, em comparação com aquele realizado para o MC. Serão consideradas quatro classes de comprimentos amostrais (2, 4, 6 e 8 km). Os resultados dos erros médios para o MDI são mostrados na figura 2. Desta pode-se concluir que: a) A relação entre o erro relativo " E_r " e o comprimento de cálculo " L_p " segue claramente a lei:

$$E_r \approx \frac{a_E}{\sqrt{L_p}}$$

onde a_E para o fluxo de momentum é aproximadamente duas vezes maior do que o mesmo coeficiente para os fluxos de calor; b) Os valores dos erros relativos médios de H e IE coincidem marcadamente, o que parece exprimir que as fontes de variabilidade para estas duas modalidades de fluxo têm uma origem física comum; c) Os erros relativos médios para t são sempre maiores do que aqueles para H e para IE.

A guisa de conclusão, deve-se mencionar que estes resultados exprimem o caráter particularmente diferente dos erros de t quando comparados àqueles de H e de IE. Sá (1992) mostra que os erros associados a t estão bem correlacionados com o índice de estabilidade z/L , o que não acontece com os erros associados a H e a IE. Isto pode ser atribuído à natureza fisicamente diferente dos mecanismos de transferência de momentum e de calor e parece refletir o papel desempenhado pelo termo de flutuação de pressão na equação de balanço da energia cinética turbulenta (Sá, 1992).

4. Bibliografia

- Druilhet, A., Attié, J.-L., de Abreu Sá, L., Durand, P., Bénech, B., 1994. "Experimental Study of Inhomogeneous Turbulence in the Lower Troposphere by Wavelet Analysis". In: *Wavelets, Algorithms, and Applications*, C.K. Chui, L. Montefusco, and L. Puccio Eds., Academic Press, no prelo.
- Khalsa, S.J.S., Businger, J.A., 1977. "The Drag Coefficient as determined by the dissipation method and its relation to intermittent convection in the surface layer". *Boundary-Layer Meteorol.*, 12: 273-297.
- Mahrt, L., 1989. "Intermittency of Atmospheric Turbulence". *J. Atmos. Sci.*, 46(1): 79-95.
- Mahrt, L., 1991. "Heat and Moisture Fluxes over the Pine Forest in HAPEX". In: *Land Surface and Parameterization*, T.J. Schmugge and J.C. André Eds., Springer-Verlag, N. York.
- Sá, L.D.A., 1992. "Les Flux Turbulents dans la Couche Limite de Surface Analysés à partir de Mesures Aéroportées: Validation d'une Méthode Dissipative-Inertielle et Étude de Variabilité". Tese de doutorado no 1168. Université Paul Sabatier, Toulouse, França.
- Schols, J.L.J., 1984. "The Detection and Measurement of Turbulent Structures in the Atmospheric Surface Layer". *Boundary-Layer Meteorol.*, 29: 39-58.
- Shaw, W.; Businger, J.A., 1985. "Intermittency and the Organization of turbulence in the Near-Neutral Marine Atmospheric Surface Layer". *J. Atmos. Sci.*, 42: 2563-2584.

δ

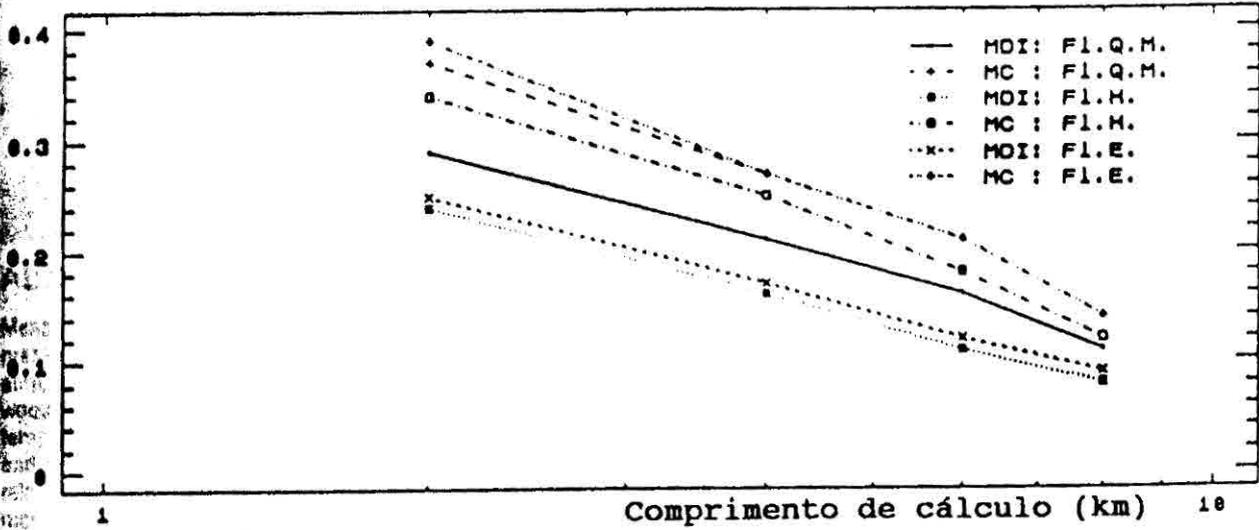


Figura 1. Variação do parâmetro adimensional de variabilidade média δ , para diferentes comprimentos de cálculo.

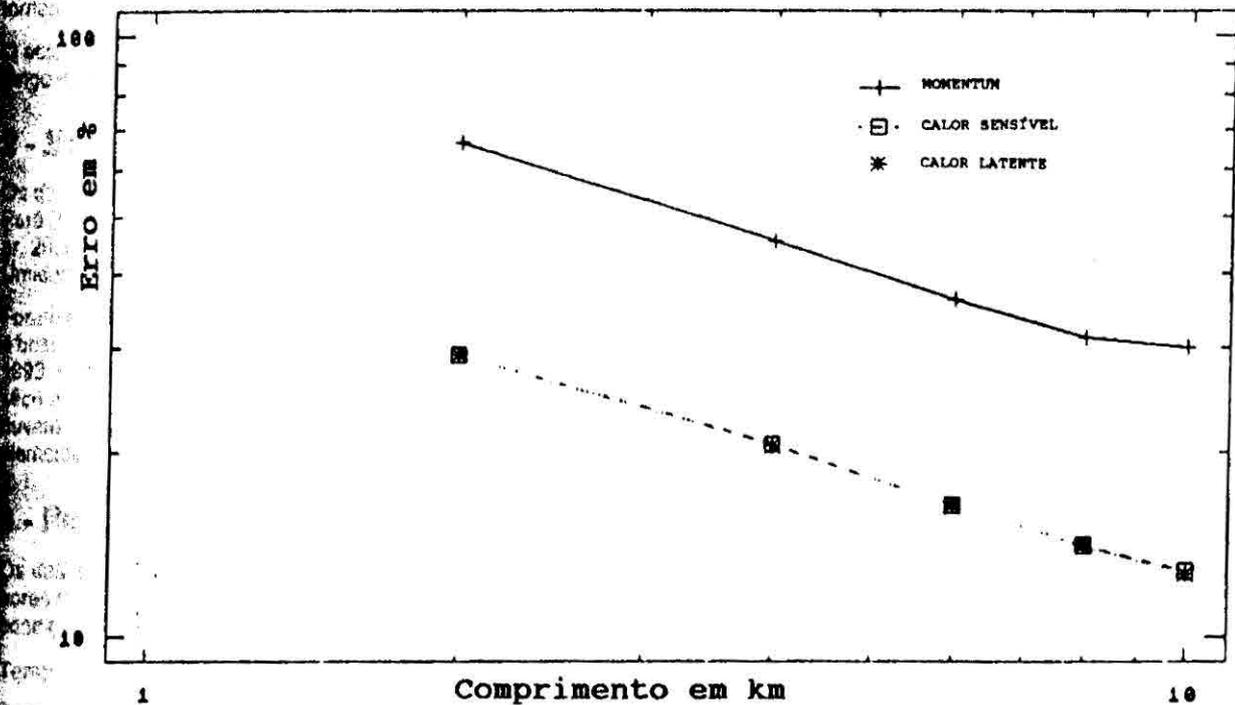


Figura 2. Variação do erro médio de estimação dos fluxos turbulentos pelo Método Dissipativo-inercial em função da escala de integração. A declividade da reta está próxima do valor de $-1/2$.