

# ESTIMATIVA DOS FLUXOS TURBULENTOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Maria Helena M. MARTINS<sup>1,2</sup> e Amauri P. de OLIVEIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IAG/USP – São Paulo, SP; <sup>2</sup> mia.mmartins@hotmail.com

**RESUMO:** Os transportes turbulentos de energia, massa e momento na superfície urbana são importantes para determinar a evolução vertical da camada limite urbana e caracterizar a intensidade da ilha de calor urbana e o seu impacto nos padrões de circulações locais e dispersão de poluentes atmosféricos. Este trabalho tem como objetivo descrever o comportamento dos fluxos turbulentos de calor sensível, latente, momento e dióxido de carbono utilizando observações das componentes da velocidade do vento, temperatura, umidade e concentração de dióxido de carbono, com sensores de resposta rápida a uma frequência de amostragem igual a 10 Hz, na Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP, localizada na Cidade de São Paulo. Aqui serão apresentados os resultados preliminares da evolução diurna desses fluxos turbulentos estimados por meio do método da covariância para o dia 14 de julho de 2012.

**ABSTRACT.** Turbulent Exchange of energy, mass and momentum at the surface in urban areas are important to evaluate the vertical evolution of urban boundary layer and to characterize the intensity of urban heat island and its impact on the local circulation and atmospheric dispersion patterns. The main goal of this work is to describe the behavior of turbulent fluxes of sensible, latent heat, momentum and carbon dioxide using observations of wind velocity components, temperature, moisture and carbon dioxide concentration carried out with fast response sensors at a sample frequency of 10 Hz in the Micrometeorological Platform of IAG USP located in the city of São Paulo. Here the diurnal evolution of turbulent fluxes of sensible and latent heat, momentum and carbon dioxide estimated by covariance method for July 14, 2012 are shown and discussed.

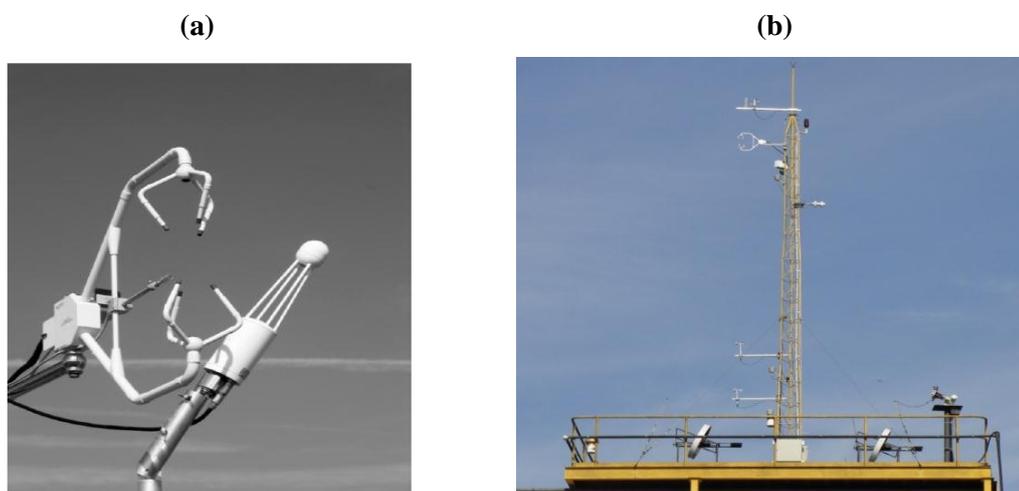
## 1 – INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) compreende uma área de 1510 km<sup>2</sup> onde está concentrada as áreas urbanas de 38 municípios, com aproximadamente 20 milhões de habitantes e 7 milhões de veículos e mais de 20 mil indústrias. O clima da RMSP tem sofrido modificações associadas ao crescimento da área urbanizada, que por sua vez tem alterado as propriedades térmicas, radiométricas e aerodinâmicas da superfície. As principais consequências dessas alterações são verificadas através das modificações nos padrões de circulação atmosférica, aumento da intensidade da ilha de calor urbana, aumento na poluição atmosférica, modificação do regime local de precipitação e diminuição da evaporação da superfície. Para entender como os processos físicos associados às modificações antrópicas tem contribuído para definição do

clima urbano da cidade de São Paulo, torna-se necessário descrever observacionalmente estes processos.

Entre os processos físicos que mais contribuem na definição do clima urbano destacam-se os processos de interação entre atmosfera e o dossel urbano, especificamente os fluxos turbulentos de energia (calor sensível e calor latente), a transferência líquida de radiação (radiação líquida), o armazenamento de energia no dossel urbano e as fontes antropogênicas de calor. Os transportes turbulentos de energia, massa e momento na superfície urbana são importantes para determinar a evolução vertical da camada limite urbana e a intensidade da Ilha de Calor Urbana e o seu impacto nos padrões das circulações locais e da dispersão de poluentes atmosféricos. Em conjunto com os demais termos do balanço de energia na superfície, o transporte turbulento é um dos componentes mais importantes da meteorologia urbana (Ferreira *et al.*, 2012).

Este trabalho tem como objetivo descrever o comportamento dos fluxos turbulentos de calor sensível, latente, momento e dióxido de carbono na RMSP, utilizando como referência as observações das três componentes do vento, temperatura, conteúdo de vapor de água e concentração de monóxido de carbono, realizadas com sensores de resposta rápida a uma frequência de amostragem de 10 Hz, na Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP, localizado no campus Butantã da Cidade Universitária, zona oeste da Cidade de São Paulo (Fig. 1).



**Figura 1:** (a) Anemômetro sônico CSAT3 da Campbell e analisador infravermelho de gases da LICOR e (b) Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP.

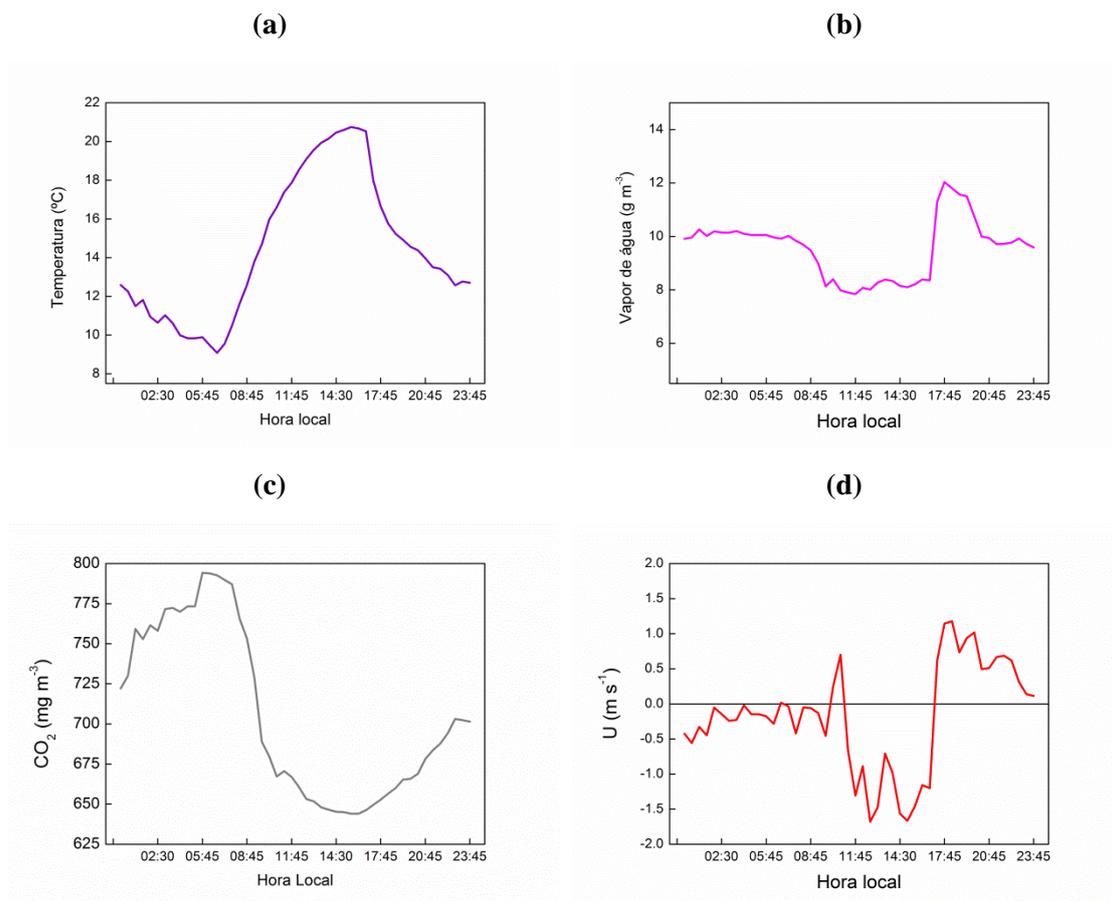
## 2 - MÉTODOLOGIA

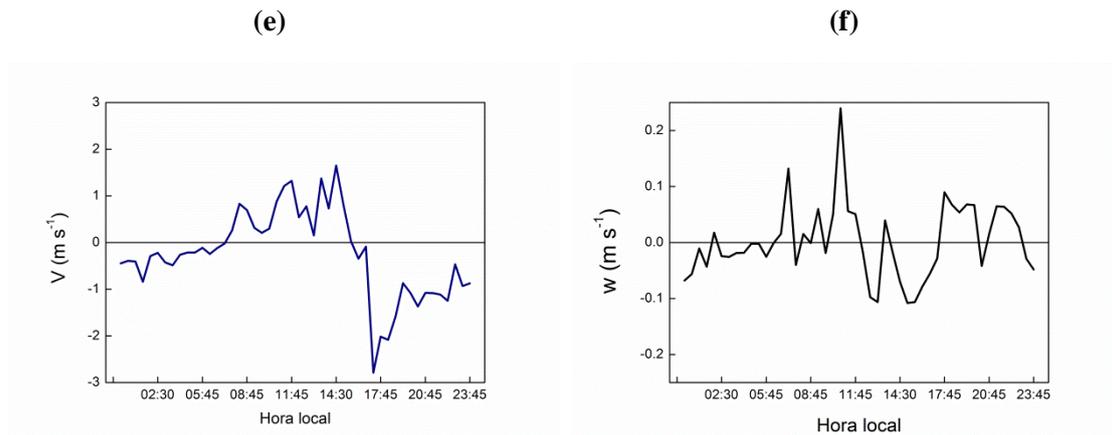
Os fluxos turbulentos são calculados através do método da covariância para intervalos de 30 minutos. Este método direto de estimativa de fluxos turbulentos requer a determinação das flutuações estatísticas das variáveis em questão. As flutuações estatísticas são obtidas subtraindo-se o valor médio de cada observação contida no intervalo de observação considerado

(30 minutos). Esta metodologia pode ser aplicada desde que a turbulência apresente um comportamento estacionário do ponto de vista estatístico. Caso isso não ocorra torna-se necessário remover a tendência da série em questão. Uma descrição mais completa da técnica de determinação de fluxos turbulentos de calor sensível e latente podem ser encontradas em Aubinet *et al.* (2012). Foi analisada a evolução temporal do fluxo em um período de 24 horas, no dia 14/07/2012, a partir da meia noite.

### 3 – RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na figura 2 são apresentadas as evoluções diurnas da temperatura do ar, densidade de vapor de água, densidade de dióxido de carbono e das três componentes do vento para o dia 14 de julho de 2012. Estas curvas correspondem a valores médios obtidos a partir das observações como o anemômetro sônico CSAT3 da Campbell e analisador infravermelho de gases da LICOR a cada intervalo de 30 minutos. Estes valores médios foram removidos dos valores instantâneos para a estimativa das flutuações estatísticas e para o cálculo dos fluxos turbulentos.

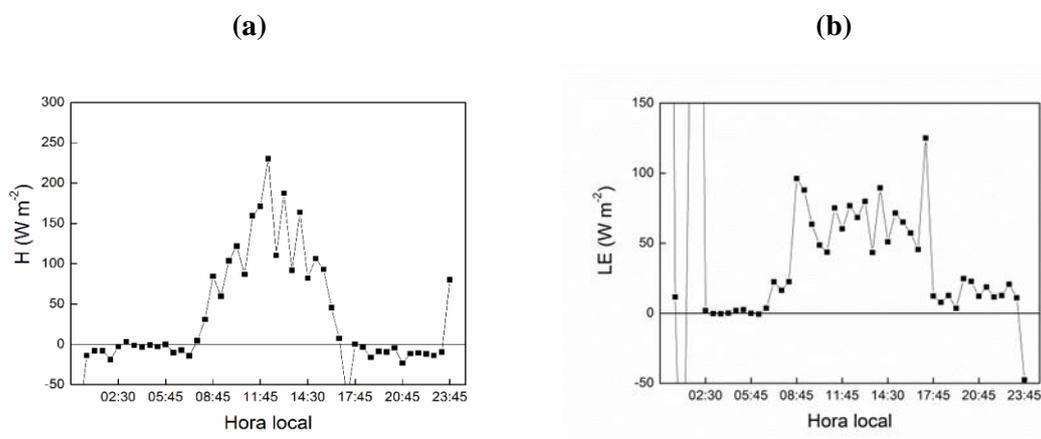


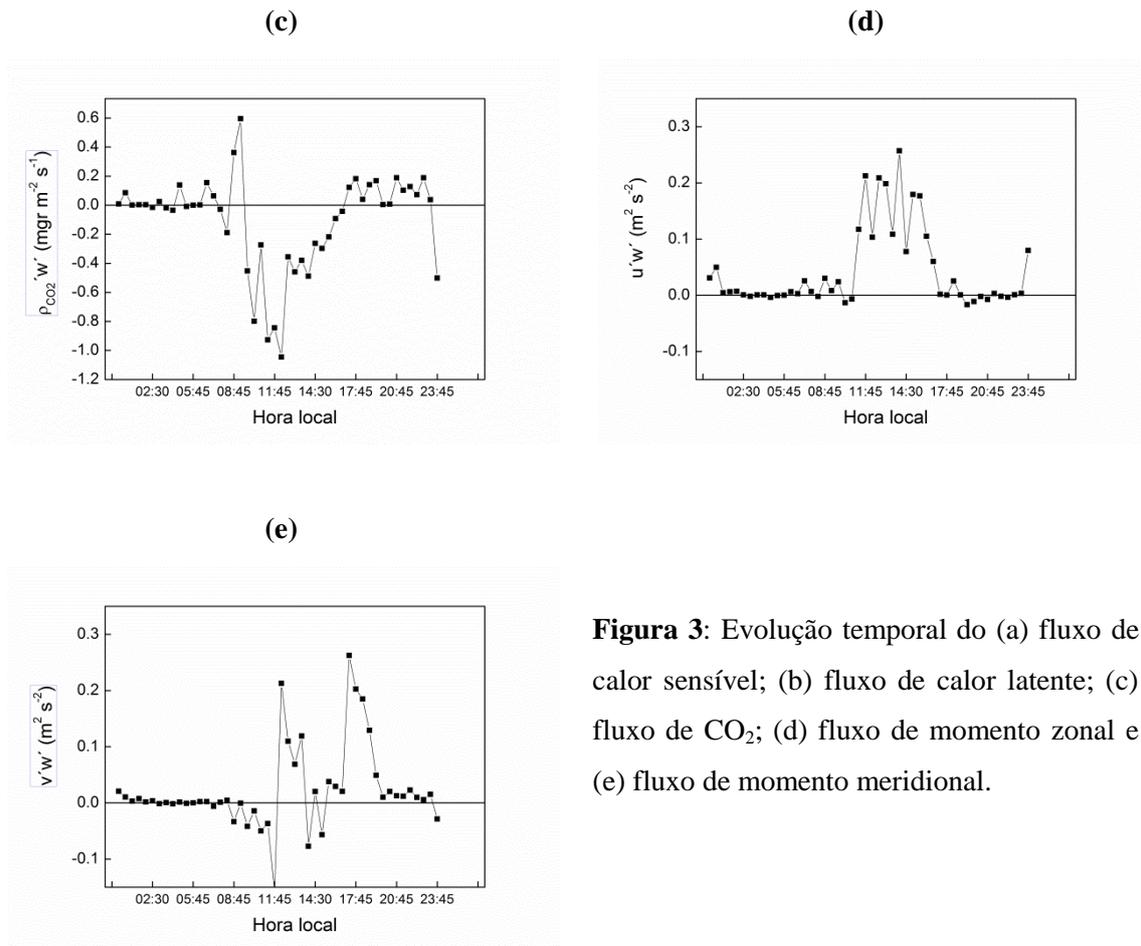


**Figura 2:** Evolução temporal da (a) temperatura; (b) densidade do vapor de água, (c) densidade de  $\text{CO}_2$ ; (d) componente zonal; (e) componente meridional e (f) componente vertical observada com anemômetro sônico CSAT3 da Campbell INC e analisador infravermelho de gases da LICOR.

Observa-se na figura 2 que os ciclos diurnos de temperatura e umidade do ar refletem a evolução diurna desses parâmetros na superfície da Cidade de São Paulo (Ferreira et al 2010). As componentes do vento indicam a presença de um ciclo diurno típico de São Paulo com ventos mais intensos e provenientes do quadrante Sul durante o período diurno, associados à penetração da Brisa Marítima em São Paulo.

O ciclo diurno dos fluxos turbulentos é apresentado na Figura 3. A amplitude dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente é consistente com o esperado para uma região urbana (Ferreira, 2010). Os fluxos turbulentos de momentos respondem ao ciclo diurno do vento médio (Fig. 2d-2e). O fluxo de dióxido de carbono apresenta um comportamento anômalo, indicando que existe uma remoção de  $\text{CO}_2$  durante o período diurno. Provavelmente, esta estimativa deverá ser feita de modo a levar em conta as correções de Webb Aubinet *et al.* (2012).





**Figura 3:** Evolução temporal do (a) fluxo de calor sensível; (b) fluxo de calor latente; (c) fluxo de  $CO_2$ ; (d) fluxo de momento zonal e (e) fluxo de momento meridional.

#### 4 - AGRADECIMENTOS

Este trabalho está sendo financiado pelo CNPQ (Proc. 476812/2011-9) e FAPESP (Proc. 2011/50178-5) e Pela Pró-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo, programa Ensinar com Pesquisa.

#### 5 - REFERÊNCIAS

- Aubinet, M., Vesala, T., Papale, D. 2012: Eddy Covariance. A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer Atmospheric Sciences. Dordrecht. 438 pp.
- Ferreira M.J., 2010: Estudo do balanço de energia na superfície da cidade de São Paulo. *Tese de Doutorado*. Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, SP, Brasil, **149 pp**.
- Ferreira, M.J., Oliveira, A.P., Soares, J., Codato, G., Bárbaro, E.W., and Escobedo, J. F., 2012: Radiation balance at the surface in the City of São Paulo, Brazil. Diurnal and seasonal variations. *Theoretical and Applied Climatology*. **107 (1)**, 229-246.