

**Fluxos Turbulentos de Calor Sensível e Latente sobre plantação de
Cana-de-Açúcar (*Saccharum* sp.) em Sertãozinho-SP.**

Oswaldo M. R. Cabral^(a), Humberto R. da Rocha^(b),

Marcos Antônio V. Ligo^(a), Helber de Freitas^(b)

^(a)Embrapa-Meio Ambiente Caixa Postal 69 CEP 13820-000 Jaguariúna SP ocabral@cnpma.embrapa.br

^(b)Universidade de São Paulo IAG-DCA

Resumo

Fluxos de calor sensível e latente foram observados (covariância de vórtices) sobre plantação de cana-de-açúcar em Sertãozinho-SP (21°07'S, 48°11'W). Os fluxos de calor sensível variaram entre 4 e 6 MJm⁻² ao longo do ciclo 1998-1999, em função do albedo da superfície. Os fluxos de calor latente no inverno foram de 1 MJm⁻²; no verão foram registrados valores de até 16 MJm⁻², após a ocorrência de precipitação, quando ocorreu a evaporação da chuva interceptada pelo dossel e solo. A condutância média ao transporte de vapor de água pelo dossel variou entre 0,1 e 0,3 molCO₂m⁻²s⁻¹, em resposta ao aumento do índice de área foliar de 1 para 2,4.

Abstract

Sensible and latent heat fluxes have been measured (eddy covariance) above a sugarcane plantation in Sertãozinho-SP (21°07'S, 48°11'W). The range of sensible heat fluxes was 4 to 6 MJm⁻², throughout the cycle in response to surface albedo. During the winter the lowest latent heat fluxes were recorded (1 MJm⁻²), and in the summer high fluxes as 16 MJm⁻², were observed after rainfall, when evaporation of intercepted water by plants and soil also occurred. The average surface conductance to water vapour varied between 0,1 and 0,3 molCO₂m⁻²s⁻¹, following the leaf area index increase from 1 to 2.4.

1 - Introdução

A caracterização do balanço de energia da superfície é necessária na determinação da sua temperatura; do fluxo de vapor de água para a atmosfera e o seu aquecimento. Nas escalas de tempo menores estes processos são responsáveis pela estabilidade atmosférica, altura da camada limite e precipitação convectiva (Baldocchi *et al.*, 2001), e dependem da disponibilidade hídrica dos solos e do controle fisiológico das plantas, que regulam as taxas de transferência de calor sensível e latente (Boaugeault, 1991, Betts *et al.*, 1996).

Devido à importância da cana-de-açúcar no Brasil, que é o maior produtor mundial seguido pela Índia e Austrália, e cuja área plantada é da ordem de 4,5 milhões de hectares, dos quais 52% no Estado de São Paulo, o que representa aproximadamente 14% da sua área agrícola, foi adotado um programa observacional contínuo, e de longo prazo, abrangendo diferentes anos, para monitorar as interações entre a vegetação e a atmosfera, visando a compreensão das escalas de tempo sazonal e anual (Meyers, 2001).

2 - Material e Métodos

Os dados foram obtidos no sítio experimental instalado na Usina Santa Elisa, localizada no município de Sertãozinho (21°07'S, 48°11'W), ao norte do Estado de São Paulo, em solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro. No centro de uma área contínua de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) de aproximadamente 2.000 ha, um talhão de 36,2 ha foi escolhido, contendo a rebrota (soca) de cana-de-açúcar variedade SP71-6180, plantada num espaçamento de 1,4m entre linhas.

Os fluxos turbulentos de momento, calor sensível e latente foram medidos acima do dossel (10m), através de um sistema covariância de vórtices (Moncrieff *et al.*, 1997a), composto de um analisador de gás infravermelho (LICOR 6262) e de um anemômetro ultra-sônico tridimensional (Solent 1012R2A). O fechamento do balanço de energia e as correções aplicadas aos fluxos de CO₂, à cada 30 minutos, foram obtidos através dos valores observados da razão de Bowen, conforme Twine *et al.* (2000).

Sensores de radiação solar global incidente e refletida (LICor); saldo de radiação e fluxo de calor no solo (REBS); temperatura e umidade do ar (VAISALA); direção e velocidade do vento (RM Young), e precipitação (Texas) foram conectados à um sistema de aquisição de dados (Campbell), que os interrogava à cada 10 segundos, armazenando as médias à cada 10 minutos.

3 – Resultados e Discussão

3.1 – Variação sazonal da Razão de Bowen (β)

Os fluxos medidos pelo sistema de covariância de vórtices de calor sensível (H) e latente (LE) foram utilizados no cálculo dos valores médios diários da razão de Bowen ($\beta=H/LE$), que são apresentados na Figura 1. Durante aproximadamente 100 dias após o corte (q na figura), no ciclo 1998/1999, β foi superior à 1 em decorrência das pequenas taxas de transpiração e evaporação, devidas à baixa disponibilidade de água na camada superficial do solo.

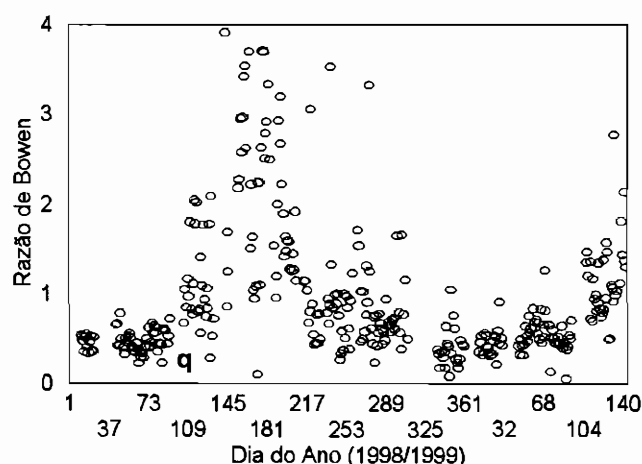


Figura 1 – Valores médios diários da Razão de Bowen (β) observados sobre a cultura de cana-de-açúcar, ao longo do ciclo 1998-1999.

Nos dias subsequentes à ocorrência de precipitação observou-se a queda em β , devido à evaporação da água da camada superficial de solo. Após este período, o desenvolvimento da vegetação promoveu o incremento na transpiração, e os valores de β tornam-se inferiores à 0,5. Interessante notar, que antes da colheita (q) em 1998 β era inferior a 0,5 e ao final do ciclo em 1999 os valores de β já eram maiores do que 1, devido ao ciclo mais longo e o amadurecimento da cana-de-açúcar.

3.2 – Fluxos de Calor Sensível (H)

Os totais diários de calor sensível (H) são apresentados na Figura 2. Os valores observados de H variaram entre 4 e 6 MJm⁻²; no início do ciclo, quando o solo encontrava-se descoberto, e sob condições de cultivo

plenamente desenvolvido, em consequência das alterações no albedo. Ao final do ciclo nota-se a tendência quanto ao aumento de H.

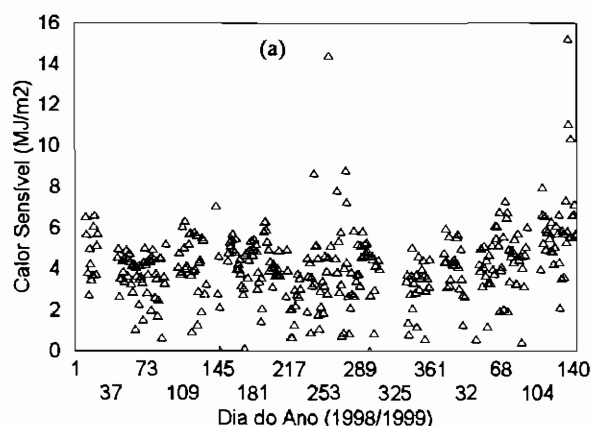


Figura 2 – Totais diários dos fluxos de calor sensível observados sobre a cultura de cana-de-açúcar ao longo do ciclo 1998-1999.

Os ciclos diurnos médios dos fluxos de calor sensível em outubro de 1998 e março de 1999 são apresentados nas Figura 3, que contêm as médias dos fluxos medidos à cada 30 minutos. São dois meses contrastantes: em outubro de 1998, ao final da estação seca, e índice de área foliar (IAF) igual a 1; março de 1999, quando a plantação encontrava-se desenvolvida e as folhas verdes apresentavam um IAF igual a 2,4. Os fluxos de calor sensível seguem a marcha diária da radiação solar incidente e os valores máximos em outubro (200Wm^{-2}) e março (250Wm^{-2}) foram da mesma ordem. Em outubro a menor energia disponível para o aquecimento da superfície foi compensada pelo menor albedo (solo nú) em relação à março.

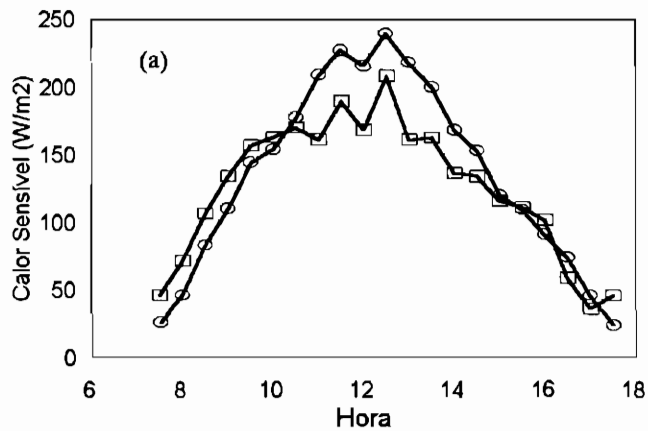


Figura 3 – Fluxos de calor sensível médios (30min) observados sobre a cultura de cana-de-açúcar em outubro 1998 e março de 1999.

3.3 – Fluxos de Calor Latente (LE)

Os totais diários de calor latente (LE) são apresentados na Figura 4. Os menores totais foram registrados durante a estação seca (1MJm^{-2}), e valores elevados da ordem de 16MJm^{-2} , o equivalente a $6,7\text{mm dia}^{-1}$, ocorreram durante o verão, correspondendo à transpiração e evaporação da chuva interceptada pelo dossel e solo. À partir do dia 100 de 1999 até o final do ciclo observou-se a queda em LE e paralelamente a tendência quanto ao aumento em H (Figura 2), devido ao amadurecimento, fato anteriormente observado em cultivo de milho por Moncrieff *et al.* (1997b).

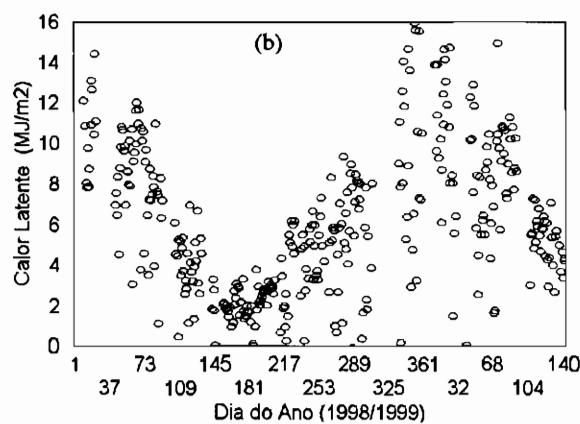


Figura 4 – Totais diários dos fluxos de calor sensível observados sobre a cultura de cana-de-açúcar ao longo do ciclo 1998-1999.

As diferenças foram mais marcantes com relação ao ciclo diurno de LE (Figura 5), cujos máximos foram da ordem de 250Wm^{-2} em outubro e 350Wm^{-2} em março. Os fluxos médios integrados foram $6,5\text{MJm}^{-2}$ ($2,7\text{mm dia}^{-1}$) e $9,2\text{MJm}^{-2}$ ($3,8\text{mm dia}^{-1}$), respectivamente; um aumento de 41% na evapotranspiração, em concordância com os dados de Denmead *et al.* (1997), obtidos na Austrália, que observaram para IAF entre 0,7 e 2,5 totais de evapotranspiração entre $2,5\text{mm dia}^{-1}$ e $3,5\text{mm dia}^{-1}$, sobre rebrota de cultivo colhido crú.

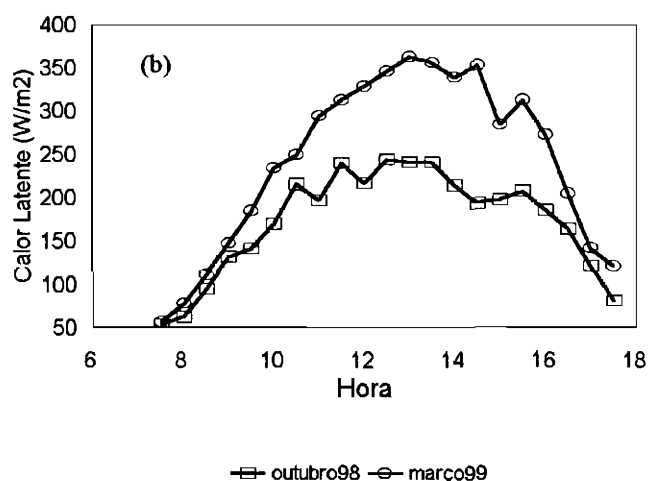


Figura 5 – Fluxos médios horários de calor latente observados sobre a cultura de cana-de-açúcar em outubro 1998 e março de 1999.

A condutância (g_c) ao transporte de vapor de água pelo dossel, que é o inverso da resistência, foi obtida através dos fluxos de H e LE invertendo-se a equação de Penman-Monteith (Miranda *et al.*, 1997; Grace *et al.*, 1998), e é apresentada na Figura 6. Em outubro de 1998 com o início da estação chuvosa, e devido à cobertura parcial do solo, a condutância calculada integra tanto a parte fisiológica (estômatos) quanto da superfície (evaporação), ao contrário do observado em março de 1999, quando a maior contribuição sem dúvida foi da vegetação. De forma geral, os valores de g_c variaram em torno de $0,1$ e $0,3\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em outubro e março, respectivamente, e foram similares aos apresentados por Denmead *et al.* (1993), obtidos na Austrália, através de porometria.

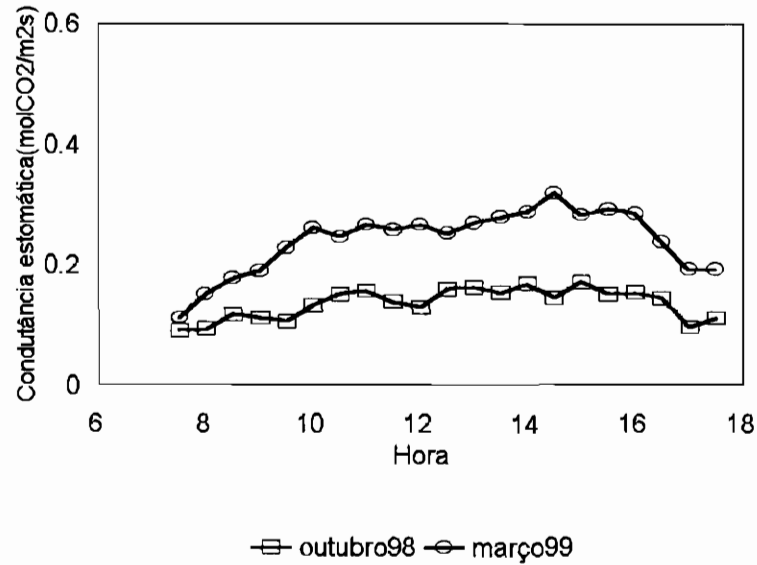


Figura 6 – Ciclos diurnos médios da condutância estomática do dossel, em cultivo de cana-de-açúcar (molCO₂m⁻²s⁻¹), relativos à outubro de 1998, e março de 1999.

4 - Conclusões

A relativa constância dos fluxos de calor sensível decorreu das variações observadas ao longo do ciclo no dossel do cultivo da cana-de-açúcar, que equalizaram as forçantes climáticas. Durante o inverno, como o dossel cobre parcialmente o solo, o albedo foi menor, e ocorreu a maior absorção da radiação solar; em relação ao verão quando o albedo foi máximo. Os fluxos de calor latente observados após a ocorrência de precipitação demonstraram que a contribuição da evaporação do solo e interceptação do dossel devem ser significativas.

5 – Referências Bibliográficas

Baldocchi, D., Eva, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., Paw U, K.T., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S. 2001. FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor and Energy Flux Densities. *Bulletin of the American Meteorological Society (revised)*.

- Betts, A.K., Ball, J.H., Beljaars, A.C.M., Miller, M.J., Viterbo, P.A. 1996. The land surface-atmosphere interaction: A review on observational and global modeling perspectives. *J. Geophys. Res.*, 101, 7209-7225.
- Bougeault, P., 1991. Parameterization schemes of land-surface processes for mesoscale atmospheric models. In: **Land surface evaporation**, T.J. Schmugge and J.C. André (eds.), Springer-Verlag, Paris, p.55-92.
- Denmead, O.T., Freney, J.R., Dunin, F.X., Jackson, A.V., Reyenga, W., Saffigna, P.G., Smith, J.W.B., Wood, A.W., 1993. Effect of canopy development on ammonia uptake and loss from sugarcane fields fertilized with urea. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 15: 285-292.
- Denmead, O.T., Mayocchi, C.L., Dunin, F.X., 1997. Does green cane harvesting conserve soil water? *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 19: 139-146.
- Grace, J., Lloyd, J., Miranda, A.C., Miranda, H., Gash, J.H.C., 1998. Fluxes of carbon dioxide and water vapour over a C₄ pasture in south-western Amazonia (Brazil). *Aust.J. Plant Physiol.*, 25, 519-530.
- Meyers, T.P., 2001. A comparison of summertime water and CO₂ fluxes over rangeland for well watered and drought conditions. *Agric. For. Meteorol.*, 106: 205-214
- Miranda, A.C., Miranda, H.S., Lloyd, J., Grace, J., Francey, R.J., McIntyre, J.A., Meir, P., Riggan, P., Lockwood, R., Brass, J., 1997. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell and Environment*, 20, 315-328.
- Moncrieff, J.B., Massheder, J.M., De Bruin, J., Elbers, J., Friborg, T., Huesunkveld, B., Kabat, P., Scott, S., Soegaard, H. and Verhoef, A. 1997a. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. *Journal of Hydrology*, 188-189, 589-611.
- Moncrieff, J.B., Monteny, B., Verhoef, A., Friborg, T., Elbers, J., Kabat, P., de Bruin, H., Soegaard, H., Jarvis, P.G., Taupin, J.D., 1997b. Spatial and temporal variations in net carbon flux during HAPEX-Sahel. *Journal of Hydrology*, 188-189, 563-588.
- Monteith, J.L. e Unsworth, M.H., 1991. **Principles of environmental physics**. Edward Arnold, London, 290 pp.