

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA MANGUEIRA IRRIGADA NA REGIAO SUB-MEDIA DO RIO SAO FRANCISCO UTILIZANDO A RAZÃO DE BOWEN

CICERA J. R. BORGES<sup>1</sup>, PEDRO V. DE AZEVEDO<sup>2</sup>, VICENTE DE P. R. DA SILVA<sup>2</sup>,  
JOÃO HUGO B. DA C. CAMPOS<sup>3</sup>

1 Mestre em Meteorologia pela UFCG, Campina Grande - PB, Fone: (0 xx 83) 3310 1202, cicerasc@yahoo.com.br, 2 Prof. Doutor, UACA/CTRN/UFCG, Campina Grande - PB, 3 Doutorando em Recursos Naturais, CTRN/UFCG, Bolsista CNPq.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** O experimento de campo foi conduzido na área de produção da Empresa Agropecuária Boa Esperança S.A., Petrolina - PE (latitude: 09°20'S; longitude: 40°27'W; altitude: 365,5 m), num pomar de mangueiras irrigado por microaspersão. O objetivo da pesquisa foi investigar se o calor armazenado acima das placas de fluxo de calor no solo e no dossel da planta representa contribuição significativa no cálculo do balanço de energia do pomar. Os componentes do balanço de energia foram obtidos por meio do método do balanço de energia com base na razão de Bowen. Os resultados revelaram que o calor armazenado no dossel da mangueira apresenta contribuição irrelevante no cálculo do balanço de energia. O calor armazenado acima dos fluxímetros não interfere significativamente, em nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student, no cálculo da evapotranspiração da mangueira irrigada, bem como nos componentes do balanço de energia, mediante as condições de realização do experimento de campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** calor latente, razão de Bowen; fluxo de calor no solo.

### EVAPOTRANSPIRATION OF A MANGO ORCHARD GROWN IN THE MIDDLE REACHES OF SAN FRANCISCO RIVER VALLEY BY BOWEN RATIO

**ABSTRACT:** A field experiment was carried out at the production area of the farm “Boa Esperança S.A” Petrolina – PE (latitude: 09°20'S; longitude: 40°27'W; altitude: 365.5 m above sea level) in a mango orchard irrigated by micro-sprinklers. The objective this study was to investigate if the heat storage above soil heat flux plate and within canopy plant to present some significant influence on the energy balance estimates. Bowen ratio-energy balance was used for obtaining the daily evapotranspiration of the mango orchard. The results showed that the storage sensible heat at the mango canopy represents a non significant contribution to the above canopy energy balance. The sensible heat storage above soil flux plates didn't significantly interfere, at the 5% probability level by t-Student teste, in the irrigated mango orchard evapotranspiration estimates at the conditions in which the field experiment was conducted.

**KEYWORDS:** latent heat flux; Bowen ration; soil heat flux

### INTRODUÇÃO:

O método do balanço de energia é comumente utilizado para se estimar a evapotranspiração de superfícies vegetadas e se baseia nas análises do balanço energético dos ganhos e perdas de energia térmica radiativa, condutiva e convectiva por uma superfície evaporante. Estando próximo à superfície, os fluxos de energia distribuem-se em saldo de radiação ( $R_n$ ), fluxo de calor no solo ( $G$ ), fluxo de calor sensível ( $H$ ), fluxo de calor armazenado no dossel ( $S$ ) e em fluxo de calor latente ( $LE$ ). Bowen (1926) desenvolveu o

método do balanço de energia baseado no quociente entre os fluxos de calor sensível e latente, os quais combinam as variáveis atmosféricas e a energia disponível. O conhecimento dos componentes do balanço de energia sobre superfícies cultivadas é de grande importância para a estimativa das perdas de água por evapotranspiração e caracterização do microclima local. A razão de Bowen tem sido intensamente utilizada por diversos pesquisadores, com a finalidade de resolver a equação do balanço de energia sobre culturas e, assim, determinar a evapotranspiração (Rosenberg et al., 1983; Azevedo et al., 2003). A maioria dos trabalhos sobre balanço de energia, com base na razão Bowen, não contabiliza o fluxo de calor armazenado no dossel da planta (Daamen et al., 1999; Silva, 2000; Teixeira, 2001). Por outro lado, também em trabalhos com balanço de energia geralmente não se considera o calor armazenado acima dos fluxímetros. Esses sensores de medição de fluxo de calor no solo são comumente instalados a 2 cm de profundidade. Entretanto, pouco se sabe se esse procedimento não conduz a erros apreciáveis no balanço de energia de culturas irrigadas. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou investigar os efeitos do calor armazenado no dossel das plantas e acima dos fluxímetros.

## MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento de campo foi instalado na fazenda: Boa Esperança S.A., (latitude: 9°20' S, longitude: 40°27' O, altitude: 375 m) em Petrolina, PE, na região do Sub-médio do rio São Francisco, num pomar de mangueiras (*Mangifera indica*, L), variedade Tommy Atkins, com 12 anos de idade, plantado no espaçamento 5m x 10m e irrigado por micro-aspersão. A coleta de dados ocorreu no período de março a agosto de 2005, envolvendo os diversos estágios fenológicos do ciclo produtivo da mangueira.

No interior da parcela experimental foi montada uma torre micro-meteorológica para a instalação de: 2 anemômetros de conchas, nos níveis de 0,5 m e 1,9 m acima da copa das plantas para medição da velocidade vento (V); 2 radiômetros, a 1,95 m, para medições da radiação solar incidente (Ri) e refletida (Rr) acima do dossel vegetativo; 1 saldo radiômetro posicionado sobre a copa das plantas para medição do saldo de radiação (Sr); 2 psicrômetros não aspirados de cobre-constantan devidamente calibrados, para medição das temperaturas dos bulbos seco e úmido, situados a 0,5 e 1,9 m acima do dossel vegetativo; e um sensor para medição da temperatura e umidade relativa do ar.

No solo foram instalados 2 fluxímetros para medições do fluxo de calor no solo (G), posicionados a 0,08 m de profundidade, 2 termistores para medição da temperatura do solo (Ts), localizados a 0,02 e 0,06 m de profundidade, logo acima dos fluxímetros.

O perfil vertical da temperatura do ar no interior do dossel de uma planta selecionada foi medido com termopares de cobre-constantan instalados a 1,0; 2,0 e 3,0 m acima da superfície do solo. Os dados foram coletados com um sistema automático de aquisição (Datalogger CR 23X, Campbell Scientific, Inc.), programado por meio de linguagem específica com varredura dos sensores a cada cinco segundos e médias armazenadas a cada 20 min.

Os componentes do balanço de energia sobre a vegetação foram obtidos por meio da equação (Rosenberg et al., 1983):

$$R_n + LE + H + G + S + P \quad (1)$$

em que  $R_n$  é o saldo de radiação (energia disponível ao sistema analisado), LE e H são os fluxos verticais de calor latente e sensível, respectivamente; G é o fluxo de calor no solo, S é a energia armazenada no dossel vegetativo e P é a energia utilizada no processo fotossintético que não foi considerada, visto que representa menos de 2% do saldo de radiação (Heilman et al., 1994).

O fluxo de calor latente (LE) foi obtido com (Gcc) e sem (Gsc) correção do fluxo de calor armazenado acima dos fluxímetros, por:

$$LE_1 = \frac{R_n + G_{cc} + S}{1 + \beta} \quad (2)$$

$$LE_2 = \frac{R_n + G_{sc} + S}{1 + \beta} \quad (3)$$

onde  $\beta=H/LE$  é a razão de Bowen e 1 e 2 referem-se a G com e sem correção, respectivamente.

O fluxo de calor sensível (H), que representa o fluxo destinado ao aquecimento ou resfriamento da superfície e do ar atmosférico, foi obtido como resíduo da Equação 1, ou seja:

$$H_1 = -(R_n + LE_1 + G_{cc} + S) \quad (4)$$

$$H_2 = -(R_n + LE_2 + G_{sc} + S) \quad (5)$$

O fluxo de calor no solo (G) é a quantidade de energia armazenada no solo. Neste trabalho, os fluxímetros foram posicionados a 8,0 cm de profundidade e o calor armazenado acima deles foi obtido da seguinte forma (Kustas et al., 2000):

$$G = G_p + \frac{\Delta T_s C_s D}{t} \quad (6)$$

em que  $G_p$  é a medição de fluxo de calor no solo pelo fluxímetro,  $\Delta T_s$  é a variação média da temperatura do solo ( $^{\circ}C$ ) durante o período de medição,  $D$  é a profundidade da placa, “ $t$ ” é o período da medição em minutos e  $C_s$  é a capacidade calorífica volumétrica do solo.

O calor armazenado pelo dossel da mangueira foi calculado como (McCaughy, 1985):

$$S = \frac{\left( \sum \rho_a C_p \Delta h \left( \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \right) \right)_{j+1} - \left( \sum \rho_a C_p \Delta h \left( \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \right) \right)_j}{1200} \quad (7)$$

em que  $\Delta h$  é distância vertical entre os níveis de medição (1 m),  $T_i$  é a temperatura do ar numa altura “ $i$ ” e “ $j$ ” o instante em que se calculou a temperatura média da camada de ar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os valores médios diários da evapotranspiração do pomar de mangueiras com base no fluxo de calor no solo com correção ( $ET_c G_{cc}$ ) e no fluxo de calor no solo sem correção ( $ET_c G_{sc}$ ) em 14 dias durante o período experimental são exibidos na Tabela 01. As médias e os desvios-padrão de  $ET_c G_{cc}$  e  $ET_c G_{sc}$  foram  $3,3 \pm 1,03$  e  $3,4 \pm 1,22$  mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Em todos os dias analisados a  $ET_c G_{cc}$  foi inferior a  $ET_c G_{sc}$ , bem como na média do período, exceto no dia 14/05/2005.

A Tabela 02 exibe a evapotranspiração com base no fluxo de calor no solo com correção ( $ET_c G_{cc}$ ) e no fluxo de calor no solo sem correção ( $ET_c G_{sc}$ ) em dias representativos de cada estágio fenológico do ciclo produtivo do pomar de mangueiras. Nesse caso, os valores das médias e os desvios-padrão de  $ET_c G_{cc}$  e  $ET_c G_{sc}$  foram muito próximos daqueles obtidos para o período de 14 dias durante o período experimental. Em ambas as análises, os valores médios de  $ET_c G_{cc}$  e  $ET_c G_{sc}$  não foram estatisticamente diferentes de acordo com o teste t-Student em nível de 5% de probabilidade. Os valores médios de evapotranspiração foram bastante próximos daqueles obtidos Silva (2000), em experimento de campo num pomar de mangueiras na região do Submédio São Francisco. Nessa pesquisa foi obtida a

evapotranspiração média diária que variou de 3,0 mm dia<sup>-1</sup>, no estágio fenológico de floração, para 5,5 mm dia<sup>-1</sup> no estágio de formação de frutos.

Tabela 01. Evapotranspiração (mm) do pomar de mangueiras considerando-se o fluxo de calor no solo com correção (ET<sub>c</sub> G<sub>cc</sub>) e no fluxo de calor no solo sem correção (ET<sub>c</sub> G<sub>sc</sub>) em 14 dias durante o período experimental.

DIA	ET <sub>c</sub> G <sub>cc</sub>	ET <sub>c</sub> G <sub>sc</sub>
01/5/2005	1,6	1,7
04/5/2005	2,2	2,5
05/5/2005	2,1	2,1
06/5/2005	2,0	2,0
14/5/2005	2,6	1,9
15/6/2005	2,4	2,6
30/6/2005	4,0	4,2
01/7/2005	3,9	4,2
04/7/2005	2,8	3,0
05/7/2005	3,8	4,1
18/7/2005	4,1	4,3
06/8/2005	4,3	4,8
08/8/2005	4,3	4,8
09/8/2005	4,5	5,0
<b>Média</b>	<b>3,2</b>	<b>3,4</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>1,03</b>	<b>1,22</b>

Tabela 02. Evapotranspiração (mm) da mangueira considerando-se o fluxo de calor no solo com correção (ET<sub>c</sub> G<sub>cc</sub>) e no fluxo de calor no solo sem correção (ET<sub>c</sub> G<sub>sc</sub>) em dias representativos de cada estágio fenológico do ciclo produtivo do pomar de mangueiras.

Estádio	Data	ET <sub>c</sub> G <sub>cc</sub>	ET <sub>c</sub> G <sub>sc</sub>
Floração de frutos	17/04 - 07/05	1,98	2,08
Queda de frutos	08/05 - 17/06	2,50	2,25
Formação de frutos	18/06 - 07/08	3,72	3,96
Maturação de frutos	08/08 - 18/08	4,40	4,90
<b>Média</b>	-	<b>3,15</b>	<b>3,30</b>
<b>Desvio-padrão</b>	-	<b>1,12</b>	<b>1,37</b>

## CONCLUSÕES:

Os resultados obtidos com base no experimento de campo realizado no Submédio São Francisco com a mangueira irrigada permitem concluir o seguinte:

1. O calor armazenado acima das placas de calor no solo não interfere significativamente no cálculo dos fluxos de calor sensível e latente, bem como na evapotranspiração da mangueira, nas condições de realização deste experimento;
2. O fluxo de calor no solo calculado com base no calor armazenado acima dos fluxímetros difere estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, daquele obtido sem a utilização do calor armazenado acima desse equipamento.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- Azevedo, P.V.; Silva, B.B.; Silva, V.P.R. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.58, n.1, p.241-254. 2003.
- Bowen, I.S. 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, New York, v. 27, p. 779-787. 1926.
- Daamen, C.C.; Dugas, W.A.; Prendergast, P.T.; Judd, M.J.; McNaughton. Energy flux measurements in a sheltered lemon orchard. *Agricultural and Forest Meteorology*. Amsterdam, v.93, p.171-183, 1999.
- Heilman, J.L.; McInnes, K.J.; Savage, M.J. Soil and canopy energy in a west Texas vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.71, n.1, p.99-114. 1994.
- Kustas, W.P.; Prueger, J.H.; Hatfield, J.L.; Ramalingam, H; Hipps, L.E. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.103, n.1, p.249-264. 2000.
- McCaughey, J.H. Energy balance storage terms in a nature mixed forest at Petawawa, Ontario-a case study. *Boundary Layer Meteorological*. v.31, n.1, p.89-101. 1985.
- Rosenberg, N.J.; Blad, B.L.; Verma, S.B. *Microclimate. The biological environment*. 2<sup>o</sup> Edition, Lincoln, Nebraska: John Wiley & Sons, 1983, 495p.
- Silva, V.P.R. Estimativa das necessidades hídricas da mangueira. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 2000. 129p. (Tese de Doutorado).
- Teixeira, A. H. Avaliação dos components do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.3,n.1, p.28-32,2001.