

## BALANÇO DE ENERGIA EM POMAR DE MANGUEIRAS IRRIGADO NA REGIÃO SUB-MÉDIA DO RIO SÃO FRANCISCO

*Pedro V. de Azevedo<sup>1</sup>, Cícera J. R. Borges<sup>1</sup>, Vicente de P. R. da Silva<sup>1</sup>, João H. B. da C. Campos<sup>1</sup>,  
Magna S. B. de Moura<sup>2,2</sup>, José M. Soares<sup>2</sup>, Bernardo B. da Silva<sup>1</sup>*

**RESUMO:** O experimento de campo foi conduzido na fazenda “Agropecuária Boa Esperança S.A” (latitude: 9°20’ S, longitude: 40°27’ O, altitude: 375 m), em Petrolina, PE, num pomar de mangueiras (*Mangifera indica*, L), var. “Tommy Atkins”, irrigado por microaspersão. Objetivou avaliar a contribuição do calor armazenado acima das placas de fluxo de calor no solo e no dossel vegetativo sobre os componentes do balanço de energia. Os componentes do balanço de energia foram obtidos pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. Os resultados indicaram que: 1) o efeito do calor armazenado no dossel vegetativo é irrelevante quando comparado aos demais componentes do balanço de energia; 2) o calor armazenado acima das placas de calor no solo não interfere significativamente no cálculo dos fluxos de calor sensível e latente; 3) o fluxo de calor no solo, corrigido com o calor armazenado acima dos fluxímetros, difere estatisticamente daquele obtido sem a correção.

**Palavras-chave:** evapotranspiração, razão de Bowen, fluxo de calor no solo.

## ENERGY BALANCE OVER IRRIGATED MANGO ORCHARD IN THE MIDDLE REACHES OF SAN FRANCISCO RIVER VALLEY

**ABSTRACT:** The field experiment was carried out in “Boa Esperança S.A” farm at Petrolina, PE (latitude: 09°20’S; longitude: 40°27’W; altitude: 365.5 m) in a mango orchard (*Mangifera indica*, L), variedade “Tommy Atkins”, irrigated by micro-sprinklers. The objective was to investigate the contribution of the heat storage above soil heat flux plate and within canopy upon the energy balance components. Bowen ratio-energy balance method was used for obtaining the energy balance components. The results suggested that: 1) within canopy heat storage is irrelevant as compared to that of the other energy balance terms; 2) heat storage by the above soil heat plates does not influence on sensible and latent heat; 3) soil heat flux, when corrected for the heat storage above soil heat plates differs statistically from that obtained without correction.

<sup>1</sup> UACA/CTRN/UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP: 58109970, Fone: (83) 3310-1202. E-mail: [pvieira@dca.ufcg.edu.br](mailto:pvieira@dca.ufcg.edu.br), [vicente@dca.ufcg.edu.br](mailto:vicente@dca.ufcg.edu.br), [jhbcampos@dca.ufcg.edu.br](mailto:jhbcampos@dca.ufcg.edu.br), [bernardo@dca.ufcg.edu.br](mailto:bernardo@dca.ufcg.edu.br), [cicerasc@yahoo.com.br](mailto:cicerasc@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Embrapa Semi-Árido. E-mail: [magna@cpatsa.embrapa.br](mailto:magna@cpatsa.embrapa.br), [monteiro@cpatsa.embrapa.br](mailto:monteiro@cpatsa.embrapa.br)

## INTRODUÇÃO

Apesar de representar não mais de 5% do saldo de radiação ( $S_r$ ), o fluxo de calor no solo ( $G$ ) deve ser bem representado, pois varia mais do que  $S_r$  à superfície. Assim, para se obter uma boa representatividade da área analisada, na sua contabilização, faz-se necessária a instalação de vários fluxímetros para a medição do fluxo de calor no solo. Geralmente, esses instrumentos são instalados em profundidades que variam de 2 a 10 cm, dependendo dos objetivos do estudo. A partição do saldo de radiação em  $G$  está relacionada à cobertura vegetal, umidade do solo e a posição dos fluxímetros no solo. Ou seja, o fluxo de calor no solo não pode ser medido diretamente à superfície do solo, pois o fluxímetro não pode ficar exposto diretamente à radiação solar (Silans et al., 1997). Por esse motivo, Stannard et al. (1994) sugeriram a utilização de pelo menos três sensores, localizados em área coberta pela vegetação, área exposta e área intermediária entre o solo exposto e a cobertura vegetal. Se o solo estiver totalmente coberto, a porcentagem de  $G$  gira em torno de 5 a 10% do saldo de radiação ( $S_r$ ); caso o solo esteja coberto parcialmente esse valor aumenta bastante, podendo variar de 20 a 40% do saldo de radiação (Kustas et al., 2000).

A maioria dos trabalhos sobre balanço de energia baseado na razão Bowen, não contabiliza o fluxo de calor armazenado no dossel da planta (Daamen et al., 1999; Castro Teixeira, 2001; Azevedo et al., 2003). Os 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, este trabalho objetivou investigar os efeitos do calor sensível armazenado no dossel das plantas e na camada de solo acima dos fluxímetros sobre o balanço de energia no sistema solo-vegetação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi instalado na fazenda: Boa Esperança S.A., (latitude:  $9^{\circ}20'$  S, longitude:  $40^{\circ}27'$  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 ( $R_i$ ) e refletida ( $R_r$ ) acima do dossel vegetativo; 1 saldo radiômetro posicionado sobre a copa das plantas para medição do saldo de radiação ( $S_r$ ); 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):

$$S_r + LE + H + G + S_d + F \quad (1)$$

em que  $S_d$  é a energia armazenada no sistema solo-dossel vegetativo e F a energia utilizada no processo fotossintético, desprezada por representar menos de 2% de  $S_r$  (Heilman et al., 1994).

O fluxo de calor latente (LE) foi obtido com ( $G_{cc}$ ) e sem ( $G_{sc}$ ) correção do fluxo de calor armazenado acima dos fluxímetros, por:

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

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

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) foi obtido como resíduo da Eq. 1, ou seja:

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

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

O fluxo de calor no solo (G) ao nível de 0,08 m de profundidade e o calor armazenado na camada de solo acima deste nível foi obtido por (Kustas et al., 2000):

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

onde  $\Delta T_s$  é a variação média da temperatura do solo ( $^{\circ}C$ ) durante o período de medição, D é a profundidade do fluxímetro, “t” é o período da medição em minutos e  $C_s$  é a capacidade calorífica volumétrica do solo, obtida pela expressão:

$$C_s = \rho_s (C_{sd} + C_{sw} \theta_v) \quad (7)$$

em que  $\rho_s$  é a densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $C_{sd}$  é o calor específico do solo seco ( $\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ );  $C_{sw}$  é o calor específico da água no solo ( $\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) e  $\theta_v$  é a umidade do perfil do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

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

$$S_d = \frac{\left( \sum \rho_a C_p \Delta h \left( \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \right) \right)_{j+1} - \left( \sum \rho_a C_p \Delta h \left( \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \right) \right)_j}{1200} \quad (8)$$

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

A partição do saldo de radiação ( $S_r$ ) nos demais componentes do balanço de energia, para 14 dias não-consecutivos do período experimental, com ( $G_{cc}$ ) e sem correção do fluxo de calor no solo ( $G_{sc}$ ), é apresentada na Tabela 1. Considerando a correção  $G_{cc}$ , a partição média de  $S_r$  nas demais densidades de fluxos foi:  $LE/S_r = 78,51\%$ ;  $G_{cc}/S_r = 7,46\%$ ;  $H/S_r = 14,20\%$  e  $S_d/S_r = 0,16\%$ , enquanto que sem  $G_{sc}$ , a partição foi de:  $LE/S_r = 84,02\%$ ;  $G_{sc}/S_r = 1,42\%$ ;  $H/S_r = 14,69\%$  e  $S_d/S_r = 0,16\%$ , respectivamente. Portanto, pode-se observar que o consumo de energia na forma de calor armazenado no dossel da mangueira represnetou apenas 0,16% do saldo de radiação. Constatou-se, ainda que as taxas de  $H/S_r$  foram basicamente iguais: 14,2% com  $G_{cc}$  e 14,69 com  $G_{sc}$ . Entretanto, o consumo de  $S_r$  como calor sensível no solo, com correção,  $G_{cc} = 14,20\%$ , mostrou-se 7,46% superior àquele sem correção,  $G_{sc} = 1,42\%$ .

**Tabela 1.** Partição do saldo de radiação ( $S_r$ ) em fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e fluxo de calor do solo com ( $G_{cc}$ ) e sem correção ( $G_{sc}$ ) e calor armazenado no dossel ( $S_d$ )

Data	$G_{cc}$				$G_{sc}$			
	LE/ $S_r$ %	$G_{cc}/S_r$ %	H/ $S_r$ %	$S_d/S_r$ %	LE/ $S_r$ %	$G_{sc}/S_r$ %	H/ $S_r$ %	$S_d/S_r$ %
01/5/2005	69,18	5,47	25,52	-0,17	73,66	0,89	25,63	-0,17
04/5/2005	69,09	9,41	21,61	-0,11	76,23	1,49	22,38	-0,10
05/5/2005	62,33	4,54	33,23	-0,11	62,33	4,54	33,23	-0,11
06/5/2005	65,75	3,36	31,01	-0,13	67,03	1,15	31,94	-0,13
14/5/2005	56,10	4,40	39,62	-0,13	58,54	0,69	40,89	-0,13
15/5/2005	87,26	8,99	3,92	-0,18	95,52	0,27	3,92	-0,18
30/6/2005	85,26	6,26	8,68	-0,20	89,57	0,95	9,67	-0,20
01/7/2005	85,35	6,70	8,12	-0,17	85,35	6,70	8,12	-0,17
04/7/2005	85,46	8,62	6,09	-0,17	92,76	0,84	6,56	-0,17
05/7/2005	84,32	7,34	8,49	-0,14	90,85	0,19	9,10	-0,14
18/7/2005	86,36	6,41	7,46	-0,23	91,14	0,51	8,58	-0,23
06/8/2005	87,64	10,59	1,96	-0,18	97,59	0,42	2,18	-0,18
08/8/2005	87,78	11,05	1,37	-0,20	97,91	0,73	1,56	-0,20
09/8/2005	87,24	11,25	1,71	-0,20	97,82	0,47	1,91	-0,20
<b>Média</b>	<b>78,51</b>	<b>7,46</b>	<b>14,20</b>	<b>-0,16</b>	<b>84,02</b>	<b>1,42</b>	<b>14,69</b>	<b>-0,16</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>11,30</b>	<b>2,58</b>	<b>13,19</b>	<b>0,04</b>	<b>13,32</b>	<b>1,79</b>	<b>12,87</b>	<b>0,04</b>

Portanto, a média da proporção  $S_d/S_r$ , ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, permaneceu constante, enquanto que a proporção  $H/S_r$  foi muito próxima nas duas condições de elaboração do balanço de energia. Independentemente da forma de cálculo do balanço de energia (com ou sem correção do G), o menor consumo do saldo de radiação, na forma de calor latente, ocorreu nas fases inicial e intermediária do ciclo produtivo da mangueira; enquanto, o maior consumo ocorreu na fase da maturação. Resultados semelhantes foram encontrados por Mokate et al. (1995) para a cultura de trigo e por Azevedo et al. (2003) em pomar de mangueiras na região sub-média do rio São Francisco.

O consumo de  $S_r$  na forma de LE, considerando-se a correção ( $G_{cc}$ ) foi, em média, 6,55% inferior àquele obtido sem a correção do fluxo de calor no solo ( $G_{sc}$ ). Esses resultados sugerem que o fluxo de calor latente é afetado consideravelmente pelo fluxo de calor no solo. Entretanto, o fluxo de calor sensível varia pouco e o calor armazenado do dossel vegetativo permanece inalterado, considerando ou não o calor armazenado acima dos fluxímetros.

Os valores médios dos componentes do balanço de energia para dias representativos de cada fase fenológica do pomar de mangueiras, com correção ( $G_{cc}$ ) e sem correção do fluxo de calor no solo ( $G_{sc}$ ) são apresentados na Tabela 2. Os valores médios do saldo de radiação e do fluxo de calor latente apresentaram comportamento crescente ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, ao passo que o fluxo de calor sensível mostrou-se decrescente, exceto na fase fenológica de queda de frutos. Evidentemente, nas duas formas de cálculo do balanço de energia, as médias de  $S_r$  e  $S_d$  permaneceram inalteradas. Entretanto, as médias das demais densidades de fluxo foram diferentes, especialmente aquelas referentes ao fluxo de calor no solo com correção (23,7%) e sem correção (2,0%).

**Tabela 2.** Valores médios do saldo de radiação ( $S_r$ ), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H), calor armazenado no dossel ( $S_d$ ) e fluxo de calor no solo (G), com correção ( $G_{cc}$ ) e sem correção ( $G_{sc}$ ), para dias representativos das fases fenológicas do pomar de mangueiras

Fase fenológica	$S_r$	LE	H	$G_{cc}$	$S_d$	$S_r$	LE	H	$G_{cc}$	$S_d$
Floração de frutos	209,7	-139,2	-58,6	-12,1	0,3	209,7	-147,0	-60,3	-2,6	0,3
Queda de frutos	267,8	-183,2	-68,4	-16,6	0,4	267,8	-196,9	-70,5	-1,4	0,4
Formação de frutos	329,3	-282,6	-22,2	-25,2	0,6	329,3	-303,8	-24,4	-1,8	0,6
Maturação	364,7	-319,1	-5,6	-40,7	0,7	364,7	-365,9	-6,4	-2,0	0,7
<b>Média</b>	<b>292,9</b>	<b>-231,0</b>	<b>-38,7</b>	<b>-23,7</b>	<b>0,5</b>	<b>292,9</b>	<b>-253,4</b>	<b>-40,4</b>	<b>-2,0</b>	<b>0,5</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>68,4</b>	<b>83,9</b>	<b>29,7</b>	<b>12,6</b>	<b>0,2</b>	<b>68,4</b>	<b>99,5</b>	<b>30,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>

Esse resultado indica que o fluxo de calor armazenado no dossel da planta exerce pouca influência no cálculo do balanço de energia do pomar de mangueiras mediante as condições de realização deste experimento. Os valores apresentados por esse fluxo indicam acentuada tendência

crescente ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, possivelmente em razão do aumento da demanda atmosférica na região no mesmo período.

## CONCLUSÕES

- 1) O efeito do calor armazenado no dossel da mangueira irrigada é irrelevante quando comparado aos outros componentes do balanço de energia em pomar de mangueiras;
- 2) O calor armazenado acima das placas de calor no solo não interfere significativamente no cálculo dos fluxos de calor sensível e latente.
- 3) O fluxo de calor no solo, corrigido com o calor armazenado acima dos fluxímetros, difere estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, daquele obtido sem a correção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, P.V.; Silva, B.B.; Silva, V.P.R. Water requirements of irrigated mango orchard in northeast Brazil. *Agricultural Water management*, Amsterdam, v.58, n.1, p.241-254, 2003.
- Castro Teixeira, A. H. Avaliação dos componentes 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.
- Daamen, C.C.; Dugas, W.A. Prendergast, P.T. Energy flux measurements in a sheltered lemon orchard. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.93, n.1, 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.
- Mokate, A.S.; Varshneya, M.C.; Naidu, T.R.V. Evapotranspiration and energy balance studies over wheat crop by Bowen ratio energy balance method. *Journal Maharashtra Agricultural Universities*, Pune, v.20, n.2, p.273-276, 1995.
- 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.
- Silans, A.P.; Monteny, B.A.; Lhomme, J.P. The correction of soil heat flux measurements to derive an accurate surface energy balance by the Bowen ratio method. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.4, n.1, p.453-465, 1997.
- Stannard, D.I.; Blanford, J.H.; Kustas, W.P. Interpretation of surface flux measurements in heterogeneous terrain during the monsoon '90 experiment. *Water Resources Research*, Washington, v.30, n.5, p.1227-1239, 1994.