

BALANÇO DE ENERGIA E CONSUMO HÍDRICO EM POMAR DE LIMA ÁCIDA 'TAHITI'⁽¹⁾

FÁBIO RICARDO MARIN, LUIZ ROBERTO ANGELOCCI, ANTONIO ROBERTO PEREIRA,
PAULO CÉSAR SENTELHAS, NILSON AUGUSTO VILLA NOVA

Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP
CP 9, CEP13418-900-Piracicaba, SP
farmarin@esalq.usp.br

RESUMO

O método da razão de Bowen foi utilizado para avaliar a partição da energia disponível em fluxos de calor latente e sensível, e estimar a evapotranspiração de um pomar irrigado em duas estações do ano: verão (úmido) e inverno (seco). Sensores construídos de acordo com o método do balanço de calor do caule foram empregados na determinação do fluxo de seiva de duas árvores do pomar, e a evapotranspiração de referência foi estimada de acordo com o FAO Irrigation and Drainage Paper 56. A disponibilidade de água no solo da entrelinha foi a principal causa da variação na partição da energia disponível, bem como nas relações entre a transpiração das plantas e evapotranspiração do pomar. No verão, a transpiração representou 41% do consumo hídrico do pomar, enquanto, no inverno, representou 93% do total da evapotranspiração, o que indica a possibilidade de se determinar a transpiração das plantas a partir de estimativas de evapotranspiração do pomar com métodos micrometeorológicos e, assim, tornar mais racional o manejo da irrigação em pomares. A relação entre a evapotranspiração de referência e a evapotranspiração do pomar foi de 0,44 no verão e de 0,27 no inverno, permitindo aplicação desses dados em outros pomares de citros.

Palavras-chave: fluxo de seiva, citros, evapotranspiração, razão de Bowen

ABSTRACT: ENERGY BALANCE AND WATER CONSUMPTION IN 'TAHITI' ACID LIME ORCHARD

The Bowen ratio method was used to evaluate the partition of available energy in latent and sensible heat flux, and to estimate the evapotranspiration in a irrigated orchard in seasons: summer (wet) and winter (dry). Sensors based on the stem heat balance method measured sap flow of two trees. The reference evapotranspiration was estimated following FAO Irrigation and Drainage Paper 56. The water soil availability of interrows was the main cause of variation in the partition of available energy, as well as in the relationship between trees transpiration and orchard evapotranspiration. In the summer, the transpiration represents 41% of water use by the orchard, while in the winter represents 93% of total evapotranspiration, what leads to the possibility of estimates trees transpiration from data of orchard evapotranspiration and improve irrigation schedule. The ratio between reference evapotranspiration and orchard evapotranspiration was 0.44 in the summer and 0.27 in the winter, allowing the application of these data in other citrus orchards.

Key-words: sap flow, citrus, evapotranspiration, Bowen ratio.

INTRODUÇÃO

São numerosos os estudos que mostram a estreita relação da radiação disponível a uma cultura bem suprida hidricamente com o fluxo de calor latente (LE), ou taxa de evapotranspiração. Em superfícies com déficit hídrico, por outro lado, parcelas significativas de energia radiante podem ser convertidas em fluxo de calor sensível (H), favorecendo o aquecimento da superfície (TANNER, 1960; BEM-ASHER e SAMMIS, 1978; ANGUS e WATTS, 1984).

Há grande interesse em conhecer essa partição

em coberturas vegetais de interesse econômico, pois ela permite explicar interações microclima-vegetação, bem como determinar o montante de água evapotranspirado por culturas ao longo de seu ciclo. Além disso, nesses estudos, a espécie vegetal, as características do solo e os gradientes de velocidade do vento entre cobertura e a atmosfera são fatores fundamentais para a determinação do balanço de energia do ambiente e das taxas de evapotranspiração (HATFIELD, 1990).

A partir de estudos sobre a partição de energia, pode-se determinar também o conteúdo de vapor d'água e de calor sensível na atmosfera, e a influência de ambos

⁽¹⁾ Submetido em janeiro/2002; aceito em agosto/2002

em processos climatológicos de escalas regional e global (DIRMEYER, 1994), além de prover informações sobre a taxa de desenvolvimento das espécies vegetais, processos convectivos e transporte de calor e umidade de áreas adjacentes (WILSON e BALDOCCHI, 2000). Sobre a evapotranspiração propriamente dita, uma informação fundamental é a ponderação da contribuição relativa das fontes de água do sistema, que, no caso dos pomares, resumem-se na copa das árvores, na vegetação rasteira e no solo nu. Esses componentes são responsáveis pelas alterações no balanço de energia no pomar, implicando respostas fisiológicas diferenciadas por parte dos vegetais, além de serem fundamentais para o planejamento e a condução da irrigação, seja ela localizada, seja realizada em toda a área do pomar.

A despeito da forte dependência da maioria das culturas frutíferas no Brasil em relação à irrigação suplementar, estudos dessa natureza são ainda incipientes. Especialmente para a cultura da lima ácida "Tahiti", estudos envolvendo relações hídricas são escassos, mesmo sendo uma cultura com ciclo extremamente dependente do clima e da disponibilidade de água no ambiente. Marin et al. (2001) estudaram a relação entre a evapotranspiração do pomar e a transpiração das plantas de lima ácida 'Tahiti', abordando os problemas encontrados na conversão de unidades para comparar a transpiração das plantas com a evapotranspiração do pomar. Pereira et al. (2002), analisaram o desempenho de dois métodos micrometeorológicos para a estimativa do fluxo de calor latente no mesmo pomar onde foi realizado o presente estudo.

Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi estudar a partição do saldo de radiação em LE e H sob diferentes condições de água no solo, em pomar irrigado de lima ácida 'Tahiti', e avaliar as relações entre a transpiração das árvores com a evapotranspiração do pomar (ET) e com a evapotranspiração de referência

(ET_o) na forma proposta pela FAO (ALLEN et al., 1998).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Área Experimental de Irrigação da Fazenda Areão, do Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (USP), situada no município de Piracicaba-SP, nas seguintes coordenadas geográficas: 22°42'30" S; 47°30'00" O; e altitude de 546 m.

Os estudos foram realizados em um pomar de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia*), com área de 5975 m², enxertado em limoeiro- 'Cravo', com idade de 7 anos e espaçamento de 8m x 7m, irrigada por microaspersão, formando um bulbo molhado de 4,0 m de diâmetro sob as árvores, que tinham altura média de copa de 4,5m. As adubações, o controle de ervas daninhas e os tratamentos fitossanitários foram realizados regularmente. O solo é classificado como Terra Roxa Estruturada (Alfisol), com declividade média de 8,5%.

As medidas foram realizadas em duas épocas com diferentes condições regionais de disponibilidade hídrica no solo. A primeira série de medidas deu-se entre os dias 15 (15 de janeiro) e 49 (18 de fevereiro) de 2000, utilizando-se de vinte e três dias sem ocorrência de chuvas e sem problemas com os equipamentos de medidas. Este período foi caracterizado por chuvas abundantes e solo em condições de capacidade de campo durante praticamente todo o período, conforme Tabela 1. A segunda série foi realizada entre os dias 174 (22 de junho) e 195 (13 de julho) de 2000, período esse precedido por cerca de 40 dias de estiagem. Nessa fase, as copas das árvores foram a fonte principal de água da evapotranspiração, já que a vegetação rasteira ocupava cerca de 10% da área da entrelinha e apresentava-se praticamente sem atividade vegetativa.

Tabela 1. Valores de chuva e de irrigação durante os períodos de medidas, no pomar de lima ácida "Tahiti", em Piracicaba-SP, durante o ano de 2000.

Período Úmido (Jan-Fev)			Período Seco (Jun-Jul)		
Dia Juliano	Lâmina	Origem	Dia Juliano	Lâmina	Origem
7	72mm	Chuva	171	40mm	Irrigação
11	20mm	Chuva	172	10mm	Irrigação
14	10mm	Chuva	177	22mm	Irrigação
21	20mm	Irrigação	180	8mm	Irrigação
25	17mm	Chuva	185	38mm	Irrigação
26	19mm	Chuva	191	14mm	Irrigação
31	22mm	Chuva	193	2mm	Irrigação
41	26mm	Chuva	195	12mm	Irrigação
42	16mm	Chuva			
43	8mm	Chuva			
44	28mm	Chuva			

Em ambas as fases experimentais, foram instalados sensores de fluxo de seiva em duas árvores representativas do pomar e, devido à grande dimensão e à irregularidade dos troncos dessas árvores, utilizou-se de três sensores por árvore sobre seus ramos principais. O fluxo de seiva foi determinado pelo método do balanço de calor (SAKURATANI, 1981; BAKER e VAN BAVEL, 1987), com sensores construídos pelos autores. Cada sensor era constituído de uma jaqueta térmica dissipadora de calor, construída com fio de constantan AWG 24, envolvendo o ramo, e com altura equivalente a 1,5 vez o diâmetro do ramo, constituindo o volume amostrado, no qual foi sobreposto de modo solidário um fluxímetro com 4 linhas de termopares (cobre-constantan) fixados dos dois lados de uma placa de silicone. Sondas de temperatura, compostas de termopares de cobre-constantan, foram inseridas aos pares na parte superior e inferior dos limites de volume amostrado no ramo, para a estimativa dos fluxos axiais de condução de calor. Na altura média do volume amostrado, foi introduzida uma sonda para a medida de temperatura média do volume, para a determinação da variação do armazenamento de energia térmica. Duas placas de neopreno de 1,0cm de espessura e sobre elas de três a quatro lâminas de papel aluminizado foram usadas como isolante térmico e para proteger a área amostrada contra a incidência direta de radiação solar. Visando a evitar a entrada de água nos sensores, utilizou-se de uma camada de cola de silicone para vedar os espaços entre as folhas aluminizadas e os ramos, minimizando os efeitos prejudiciais da umidade nas medidas e também sobre os ramos das árvores. Os sensores foram alimentados eletricamente por fontes de corrente contínua que dissipavam potências entre 1 e 3 W, dependendo do diâmetro do tronco, com seus sinais sendo medidos nos mesmos sistemas de aquisição de dados das medidas micrometeorológicas. Os valores de fluxo de seiva foram calculados segundo os procedimentos propostos por Valacogne e Nasr (1993) e acumulados para 24 horas, somando-se os valores dos três sensores instalados para a obtenção do fluxo total da árvore (FS).

Os sensores de medidas micrometeorológicas para cálculo da razão de Bowen foram instalados em uma torre no centro do pomar, sendo os dados coletados por um sistema automático de aquisição (CAMPBELL Sci., CR7), com medidas a cada 10 segundos e médias a cada 15 minutos. Para a medida do saldo de radiação (Rn), utilizou-se de um saldo-radiômetro (REBS, Q7), posicionado a uma altura de 7 m da superfície do solo. Para a medida do fluxo de calor no solo (G), utilizou-se

de três placas (REBS, HTF 3.1), sendo uma na projeção da copa e duas nas entrelinhas, enterradas a 2 cm de profundidade. Para as medidas dos gradientes de temperatura e pressão de vapor, foram utilizados psicrômetros ventilados (MARIN, et al. b, 2001), posicionados às alturas de 2,5 m e 6,5 m acima da superfície do solo. Essas alturas foram assim determinadas após terem sido analisados os gradientes obtidos entre as alturas de 4,5 m e 6,5 m e ainda de 3,5 m e 6,5 m. Devido à distribuição das árvores no pomar, dentre outras características, gradientes significativos e coerentes foram encontrados somente entre as alturas de 2,5 m e 6,5 m acima do solo (PEREIRA, et al. 2002), as quais representam, respectivamente, o centro geométrico das copas (2,5 m) e 2,0 m acima da altura média das árvores.

A razão de Bowen ($\beta = H/LE$) foi estimada a partir de uma relação que leva em conta apenas as temperaturas do bulbo úmido e bulbo seco e de um fator de ponderação W dependente da temperatura do ar e coeficiente psicrométrico, conforme descrito em Pereira et al. (1997) e mostrada na equação (1).

$$\beta = \left[\frac{\Delta T_u}{(1-W)\Delta T_s} - 1 \right]^{-1} \quad (1)$$

em que ΔT_u é a diferença de temperatura do bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$) entre as alturas de 6,5 m e 2,5 m acima da superfície do solo; ΔT_s é a diferença de temperatura do bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$) entre as alturas de 6,5 m e 2,5 m acima da superfície do solo.

No desenvolvimento físico-teórico da equação (1) são empregados conceitos de similaridade no transporte das propriedades atmosféricas, sendo que o fator W (adimensional) foi calculado a partir das equações propostas por Wilson e Rouse (1972) e Viswanadhan et al. (1991), citados por Pereira et al. (1997):

$$W = 0,407 + 0,0145T_u, \text{ para } 0 < T_u \leq 16^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

$$W = 0,483 + 0,017T_u, \text{ para } 16,1 < T_u \leq 32^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

em que T_u é a temperatura média do bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$) entre as alturas de 2,5 m e 6,5 m.

A evapotranspiração (ET) ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) foi calculada com a equação (4):

$$ET = \frac{Rn - G}{\lambda(1 + \beta)} \quad (4)$$

em que R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

Nos casos em que $\beta < -0,75$, ET foi calculado a partir da energia disponível ($R_n - G$), assumindo que toda energia era convertida em calor latente, desconsiderando os processos advectivos, porque, nessas condições, as estimativas de ET tornam-se inviáveis, pois os valores de β perdem seu significado físico (PEREZ, et al., 1999). Além disso, valores de β próximos de -1 ocorreram durante o nascer e o pôr-do-sol, quando as direções dos gradientes de temperatura e pressão de vapor são opostas, e durante as precipitações.

A estimativa da evapotranspiração de referência seguiu as recomendações propostas por Allen et al. (1998), sendo obtida através da equação (5):

$$ET_o = \left(\frac{s}{s + \gamma^*} \right) \left(\frac{R_n - G}{\lambda} \right) + \frac{N \rho C_p \frac{\Delta e}{ra}}{\lambda (s + \gamma^*)} \quad (5)$$

em que: ET_o é a evapotranspiração de referência ($\text{mm}.\text{d}^{-1}$); s é a tangente à curva de saturação de vapor ($\text{kPa}.\text{°C}^{-1}$); γ^* é o coeficiente psicrométrico modificado, expresso por $\gamma(1 + 0,33 U_2)$ sendo γ o coeficiente psicrométrico e U_2 a velocidade do vento medida a 2 m de altura; N é o período de tempo (s); Δe é o déficit médio de saturação do ar no período (kPa); ra é a resistência aerodinâmica à difusão de vapor, expressa por $208/U_2$; ρ é a densidade do ar (kg.m^{-3}) e C_p é o calor específico do ar à pressão constante ($\text{MJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$).

As variáveis utilizadas no cálculo da ET_o foram medidas na estação agrometeorológica do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, com um sistema automático de aquisição de dados (Campbell Scientific, CR10X).

Para tornar os dados de FS, ET_o e ET comparáveis entre si, todos os valores foram

transformados de forma a expressar o volume de água perdido por todo o pomar no período de um dia. No período seco (inverno), assumiu-se que a ET representava a transpiração das árvores do pomar, em virtude de o solo encontrar-se extremamente seco e a vegetação da entrelinha praticamente não existir. Dessa forma, para uniformização de unidades, tomaram-se os dados de ET, expressos em $\text{mm}.\text{d}^{-1}$ e multiplicaram-se pela área projetada média das copas das árvores (AP) (Tabela 2) e pelo número de árvores do pomar (igual a 110 no verão e 100 no inverno), obtendo-se os valores de ET' expressos em $\text{L.pomar}^{-1}.\text{d}^{-1}$. No período úmido, pela condição de umidade do solo da entrelinha, ET passou a representar o volume de água perdido por toda a área do pomar e, portanto, para sua conversão em ET' , multiplicaram-se os dados expressos em $\text{mm}.\text{d}^{-1}$ pela área total do pomar, igual a 5975 m^2 . Para conversão dos dados de ET_o multiplicaram-se os valores em $\text{mm}.\text{d}^{-1}$ pela área total do pomar nas duas épocas de medida.

Na extrapolação dos dados de FS, primeiramente, obteve-se a transpiração em L.m^{-2} de folha. d^{-1} , dividindo-se o total diário pela área foliar das duas árvores avaliadas (Tabela 2). As medidas de área foliar foram feitas com o LAI-2000 (Li-Cor) em dez árvores representativas do pomar nas duas épocas, além das duas árvores nas quais foi medido o fluxo de seiva, totalizando, assim, doze árvores amostradas em cada período de medida. Em seguida, com os dados médios de área foliar (AF_m) e área projetada das copas (AP_m) (Tabela 3), obteve-se o FS na unidade desejada (FS'), utilizando-se da equação (6):

$$FS' = FS_{AF} AF_m N_a \quad (6)$$

em que: N_a é o número de árvores do pomar (110 no verão e 100 no inverno); e AF_m é a área foliar média do pomar (m^2). FS_{AF} é o fluxo de seiva medido, expresso em l.m^{-2} de folha. d^{-1} .

Tabela 2. Valores medidos de área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) das duas árvores do pomar de lima ácida 'Tahiti' nas quais se mediu o fluxo de seiva. O IAF foi determinado com base na área projetada da copa sobre o solo.

Dia Juliano da medida	AF1 (m^2)	IAF 1	AF2 (m^2)	IAF 2
14	48	4,5	99	5,5
192	64	5,6	87	5,5

Tabela 3. Valores médios de área foliar (AF_m) e área projetada (AP_m) do pomar de lima ácida 'Tahiti', em m^2 , com seus valores de desvio-padrão em torno da média, em Piracicaba-SP.

Dia Juliano da medida	Nº de árvores	AF_m (m^2)	AP_m (m^2)
14	12	$89,2 \pm 30,3$	$19,2 \pm 6,1$
174	12	$90,8 \pm 29,9$	$20,1 \pm 5,4$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores médios horários dos componentes do balanço de energia obtidos nos períodos de verão e inverno, elaborou-se a Figura 1. A Figura 1-A mostra a variação diurna média do balanço de energia no período de verão, a partir da qual se pode verificar que parcela significativa da energia disponível foi convertida em fluxo de calor latente (LE), com β variando entre $-2,6$ às 6h a $0,4$ às 10h. Valores negativos de β devem-se em parte à limitação dos equipamentos de medida nos períodos iniciais e finais do dia, quando os gradientes de temperatura e umidade são muito pequenos, e em parte a uma tênue inversão térmica normalmente verificada no início e final do período diurno, o que, por sua vez, inverte o sentido do transporte de calor sensível, invertendo também o sinal de β .

Com relação ao período de inverno (Figura 1B), pode-se notar a modificação nas curvas diurnas dos

componentes do balanço de energia, com sensível redução da energia disponível ao sistema, enquanto as curvas de H e LE se aproximaram uma da outra. Isso denota uma certa limitação no suprimento hídrico do solo ao processo de evapo(transpi)ração, elevando a fração de energia convertida em H. Assim, os valores de β tendem a elevar-se, apresentando uma média diurna de $1,14$ no período de inverno, muito superior aos valores médios do verão.

Os valores de β ao meio-dia dos dias de verão ficaram em torno de $0,237 \pm 0,183$, enquanto, no inverno, essa média foi de $1,080 \pm 0,99$, aproximado-se das médias diárias, já que, no período de verão, a maior parte de R_n-G foi convertida em LE. Com relação às médias de β , no verão, os valores diurnos foram iguais a $-0,251$, enquanto, no inverno, foram de $-0,099$. Esses valores são comparáveis aos encontrados por Kalma e Stanhill (1969), em pomar irrigado de laranja-pêra em Israel, com médias de 9 meses variando entre $-0,24$ a $0,20$.

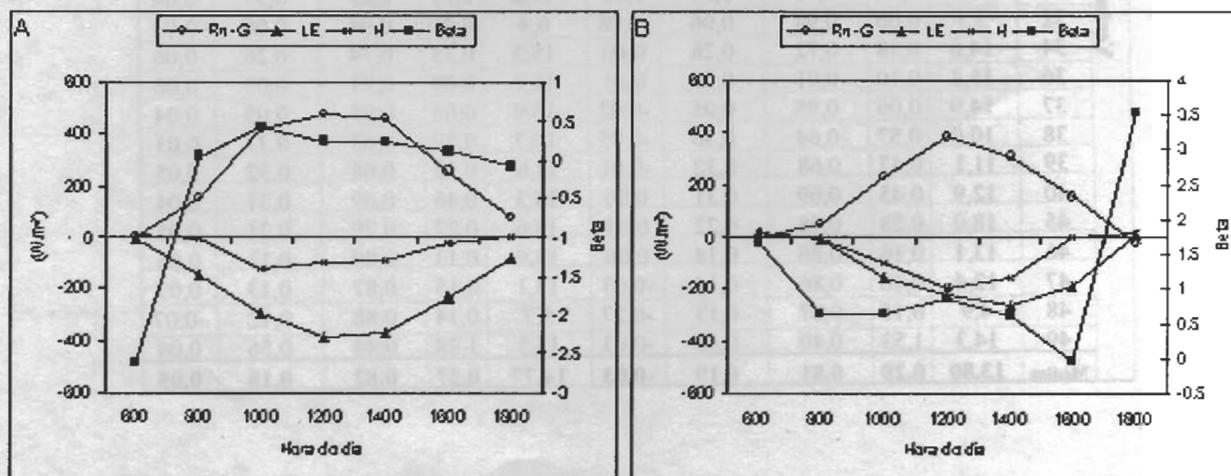


Figura 1. Variação média diurna da energia radiante disponível (R_n-G), fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente (LE) e β para os períodos de verão (A) e inverno (B), em pomar de lima ácida Tahiti, em Piracicaba-SP.

Ao analisar-se a relação $H/(Rn-G)$ na Tabela 4, nota-se que seu valor médio durante o verão esteve por volta de 0,19, para médias de 24 horas, e de 0,18, quando se tomaram apenas os dados do período diurno, mostrando que cerca de 20% da energia disponível era convertida em H. Por outro lado, durante o inverno, essa relação apresentou valor médio de 0,43, devido à menor disponibilidade de água para evaporação no pomar, além da menor atividade fisiológica das espécies de entrelinha.

Pelo fato de o pomar estar circundado por áreas também cultivadas e mantidas sob irrigação durante o período de medidas, presume-se que não houve a ocorrência de processos advectivos, ao contrário do que foi verificado por Devitt et al. (1998), que encontrou valores de LE superando $(Rn-G)$ em até 65% sobre espécie invasora (*Tamarix ramosissima*) do Sudoeste

dos Estados Unidos, e conforme relatado por Jensen et al. (1989) para culturas sob irrigação em clima árido.

Com relação ao fluxo de calor no solo, considerando-se o período diurno, nota-se que seus valores médios representaram cerca de 5% de Rn no verão (Tabela 4). Esse percentual pode ser atribuído ao estado de cobertura do solo da entrelinha, pois a vegetação rasteira ocupava densamente o solo. Nesse mesmo período, porém, tomando-se as médias diárias, a relação G/Rn é igual a $-0,03$, na média, devido à inversão de seu sentido de fluxo durante a noite. Já no inverno, para períodos diurnos, a média dessa relação foi igual a 0,08 e, para diários, G apresentou valores médios negativos, devido à diminuição da temperatura noturna durante esse período.

Tabela 4. Valores diários e diurnos de saldo de radiação (Rn) e sua relação com o fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) durante o verão e o inverno

	Período Diário						Período Diurno				
	Rn	β	$LE/(Rn-G)$	$H/(Rn-G)$	G/Rn	Rn	β	$LE/(Rn-G)$	$H/(Rn-G)$	G/Rn	
	D.J.	$MJm^{-2}d^{-1}$				$MJm^{-2}d^{-1}$					
	15	12,2	0,16	0,86	0,14	-0,01	12,8	0,14	0,88	0,12	0,06
	16	13,6	0,06	0,95	0,05	0,01	14,1	0,06	0,94	0,06	0,07
	19	13,6	0,17	0,85	0,15	-0,01	14,3	0,18	0,85	0,15	0,06
	20	15,3	0,18	0,85	0,15	-0,02	16,5	0,17	0,85	0,15	0,04
	21	17,5	0,11	0,90	0,10	0,02	18,9	0,08	0,93	0,07	0,07
	22	16,8	0,10	0,91	0,09	-0,02	18,6	0,07	0,93	0,07	0,06
	23	19,2	0,20	0,84	0,16	-0,01	20,9	0,16	0,86	0,14	0,06
	27	11,3	0,13	0,88	0,12	-0,08	12,4	0,14	0,88	0,12	0,02
	28	19,5	0,34	0,75	0,25	-0,03	21,2	0,32	0,76	0,24	0,04
	29	18,2	0,57	0,64	0,36	0,00	19,9	0,51	0,66	0,34	0,07
	30	18,7	0,63	0,61	0,39	0,03	19,8	0,59	0,63	0,37	0,08
Verão	32	5,7	0,06	0,94	0,06	-0,08	6,4	0,06	0,94	0,06	0,04
	34	14,6	0,38	0,72	0,28	0,00	15,5	0,35	0,74	0,26	0,06
	36	15,3	0,10	0,91	0,09	0,01	16,1	0,09	0,91	0,09	0,06
	37	14,9	0,06	0,95	0,05	-0,02	15,9	0,05	0,95	0,05	0,04
	38	10,0	0,57	0,64	0,36	-0,05	10,7	0,59	0,63	0,37	0,03
	39	11,1	0,47	0,68	0,32	-0,01	11,6	0,48	0,68	0,32	0,05
	40	12,9	0,45	0,69	0,31	0,00	13,3	0,46	0,69	0,31	0,04
	45	18,0	0,28	0,78	0,22	0,03	18,6	0,27	0,79	0,21	0,05
	46	13,1	0,16	0,86	0,14	0,00	13,9	0,13	0,89	0,11	0,05
	47	12,4	0,16	0,86	0,14	-0,03	13,1	0,15	0,87	0,13	0,03
	48	4,9	0,15	0,87	0,13	-0,27	5,7	0,14	0,88	0,12	-0,07
	49	14,3	1,53	0,40	0,60	-0,03	15,5	1,28	0,44	0,56	0,04
	Médias	13,80	0,29	0,81	0,19	-0,03	14,77	0,27	0,82	0,18	0,05

continuação - Tabela 4

	Período Diário					Período Diário					
	Rn	β	IE/(Rn-G)	H/(Rn-G)	G/Rn	Rn	β	IE/(Rn-G)	H/(Rn-G)	G/Rn	
	D.J.	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$				$\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$					
Inverno	174	7,8	0,56	0,63	0,35	-0,16	9,8	0,74	0,54	0,40	0,03
	175	8,8	0,50	0,63	0,31	-0,13	10,2	0,90	0,51	0,46	0,05
	177	8,5	0,59	0,85	0,50	0,09	9,7	0,76	0,69	0,52	0,12
	178	6,9	0,37	1,03	0,38	0,08	8,1	0,52	0,80	0,41	0,15
	179	3,2	0,03	1,37	0,05	0,11	5,6	0,48	0,76	0,36	0,14
	180	8,4	0,74	0,61	0,45	0,01	10,1	0,93	0,63	0,59	0,09
	181	6,4	0,22	0,32	0,07	0,01	8,6	1,00	0,95	0,95	0,09
	182	2,6	0,28	1,42	-0,40	-0,15	5,4	0,13	0,78	0,10	0,05
	183	9,7	0,16	0,89	0,14	-0,04	11,2	0,33	0,79	0,26	0,05
	184	9,5	0,05	1,03	0,05	-0,01	10,9	0,19	0,95	0,18	0,07
	185	6,4	0,39	1,09	0,43	0,02	8,4	0,40	0,57	0,23	0,08
	186	6,5	0,49	0,93	0,46	-0,01	9,0	0,73	0,45	0,33	0,07
	187	8,7	0,84	0,58	0,49	0,00	10,6	1,19	0,47	0,56	0,06
	188	7,3	0,44	0,74	0,33	-0,03	10,6	0,82	0,50	0,41	0,06
	189	8,4	0,39	0,76	0,30	-0,01	10,0	0,73	0,65	0,48	0,07
	190	6,6	0,22	0,89	0,20	0,01	8,4	0,58	0,73	0,42	0,09
	191	8,7	0,54	0,76	0,41	0,06	10,6	0,83	0,63	0,52	0,09
	190	6,6	0,22	0,89	0,20	0,01	8,4	0,58	0,73	0,42	0,09
	191	8,7	0,54	0,76	0,41	0,06	10,6	0,83	0,63	0,52	0,09
	192	8,8	0,28	0,88	0,25	0,02	10,6	0,53	0,74	0,39	0,08
193	6,7	0,25	1,07	0,27	0,11	7,9	0,43	0,93	0,40	0,13	
194	3,2	0,65	0,71	0,46	-0,14	5,0	0,94	0,49	0,46	0,05	
195	7,5	1,37	0,42	0,58	-0,12	10,3	2,06	0,34	0,70	0,04	
Médias		7,17	0,42	0,84	0,29	-0,01	9,09	0,72	0,66	0,43	0,08

Na Figura 2, pode-se notar que, em termos médios, no verão, cerca de 79% de Rn-G foi convertida em calor latente. Já no inverno, esse valor fica por volta de 65%, evidenciando a importância do suprimento hídrico da cultura na determinação do balanço de energia, já que, durante os dois períodos, o estado de umidade da entrelinha do pomar era completamente diferente.

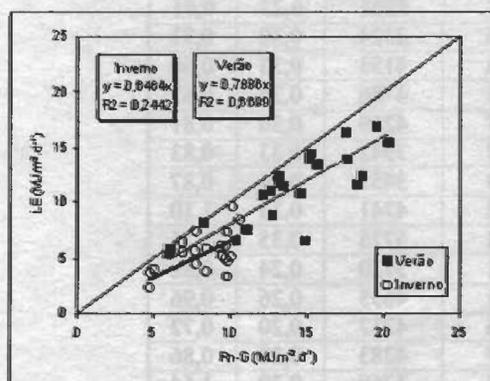


Figura 2. Relação entre o fluxo de calor latente (LE) e a energia radiante disponível (Rn-G) para os dias de verão (dias 15 a 49 de 2000) e para os dias de inverno (dias 174 a 195 de 2000), em pomar de lima ácida 'Tahiti', em Piracicaba, SP.

A transpiração das árvores, representada pelo fluxo de seiva teve como valores extremos 0,26 L.m^{-2} de folha.d^{-1} no dia 182 e 1,94 L.m^{-2} de folha.d^{-1} , no dia 45. Já a evapotranspiração do pomar, obtida pelo método da razão de Bowen, teve valores variando entre 0,9 L.m^{-2} de solo.d^{-1} no dia 205 e 6,53 L.m^{-2} de solo.d^{-1} no dia 23 (Tabela 5).

Ao analisar-se a relação entre ambos, tomando-se os dados normalizados, percebe-se uma relação média de 0,41, indicando que, durante o período úmido, cerca de 43% do total de água evapotranspirada foi proveniente da copa das árvores. Meiresonne et al. (1999), estudando um híbrido de interesse florestal na Bélgica, encontrou valor de 0,65 para a mesma relação. No caso do híbrido belga, as árvores tinham altura média de 31,6 m e com área projetada média de copa de 51 m^2 e espaçamento de 7 m X 7,5 m, o que representa um percentual de cobertura do terreno de, aproximadamente, 97%. Já no pomar em questão, como mostra a Tabela 3, a área projetada média das copas é de 21,65 m^2 para um espaçamento de 7 m X 8 m, representando cobertura média de cerca de 35% do solo. Essa informação é importante na medida em que a vegetação rasteira de entrelinha cobria praticamente toda a área do pomar, com exceção da área irrigada pelos microaspersores sob as copas, indicando que tanto as

gramíneas como as árvores de lima ácida tiveram taxas similares de transpiração.

Já no período de inverno, a relação FS'/ET' aumentou para 0,93, confirmando o que seria hipoteticamente esperado, já que, nesse período, as árvores eram a principal fonte de vapor d'água para a atmosfera.

Com isso, esperar-se-ia que a relação FS'/ET' tendesse para a unidade, com a transpiração das árvores, representando praticamente toda a evapotranspiração, com a diferença de sete pontos percentuais podendo ser atribuída a uma conjunção de fatores, como erros nas medidas micrometeorológicas e de fluxo de seiva.

Tabela 5. Evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração calculada a partir do fluxo de calor latente, estimado pela razão de Bowen, fluxo de seiva durante a época chuvosa e relação entre os valores normalizados.

	DJ	ET _o	ET _o '	ET	ET'	FS	FS'	FS'/ET _o '	FS'/ET'
		mm.d ⁻¹	l.pomar ⁻¹ .d ⁻¹	mm.d ⁻¹	l.pomar ⁻¹ .d ⁻¹	l.m ² folha.d ⁻¹	l.pomar ⁻¹ .d ⁻¹		
Verão	15	3,28	19595	4,20	25066	0,92	9019	0,46	0,36
	16	4,14	24751	4,92	29407	1,13	11057	0,45	0,38
	19	4,63	27690	4,51	26976	1,19	11681	0,42	0,43
	20	4,71	28139	5,26	31440	1,22	12019	0,43	0,38
	21	5,01	29931	5,81	34742	1,32	12966	0,43	0,37
	22	5,83	34811	6,14	36657	1,02	9964	0,29	0,27
	23	6,53	39045	6,59	39353	1,06	10438	0,27	0,27
	27	3,65	21787	4,32	25838	0,92	9021	0,41	0,35
	28	5,92	35366	6,16	36787	1,09	10647	0,30	0,29
	29	5,10	30488	5,07	30318	1,14	11139	0,37	0,37
	30	5,79	34589	5,27	31514	1,14	11206	0,32	0,36
	32	1,34	8004	2,36	14074	0,29	2859	0,36	0,20
	34	4,10	24525	4,50	26903	1,11	10923	0,45	0,41
	36	4,69	28016	5,66	33810	1,27	12418	0,44	0,37
	37	4,88	29146	5,94	35486	1,20	11803	0,40	0,33
	38	3,62	21632	2,66	15887	1,08	10576	0,49	0,67
	39	3,59	21440	3,05	18220	1,05	10281	0,48	0,56
	40	3,62	21634	3,21	19153	0,64	6312	0,29	0,33
	45	5,17	30918	5,72	34190	1,94	19050	0,62	0,56
	46	4,02	24018	4,47	26690	1,38	13510	0,56	0,51
47	3,52	21020	4,30	25705	1,26	12397	0,59	0,48	
48	1,37	8181	1,72	10249	0,74	7302	0,89	0,71	
49	4,26	25467	3,79	22651	1,23	12055	0,47	0,53	
	Média	4,29	25661	4,59	27440	1,10	10811	0,44	0,41
Inverno	174	2,15	12836	2,33	4436	0,39	3557	0,28	0,80
	178	2,73	16304	2,66	5061	0,39	3535	0,22	0,70
	179	1,30	7742	1,58	3009	0,41	3730	0,48	1,24
	180	3,14	18773	2,38	4515	0,37	3322	0,18	0,74
	181	3,72	22225	3,01	5728	0,57	5201	0,23	0,91
	182	1,31	7842	1,73	3294	0,26	2324	0,30	0,71
	183	2,14	12763	3,65	6934	0,46	4153	0,33	0,60
	184	3,26	19489	4,05	7700	0,53	4786	0,25	0,62
	185	2,35	14059	2,78	5288	0,47	4259	0,30	0,81
	186	1,98	11820	2,51	4761	0,43	3942	0,33	0,83
	187	2,38	14208	2,09	3966	0,38	3455	0,24	0,87
	188	2,38	14218	2,28	4329	0,52	4741	0,33	1,10
	189	2,76	16503	2,62	4972	0,63	5725	0,35	1,15
	190	2,61	15603	2,39	4541	0,41	3720	0,24	0,82
	191	3,01	17973	2,55	4854	0,51	4655	0,26	0,96
	192	3,55	21227	3,07	5837	0,46	4217	0,20	0,72
	193	3,54	21137	2,62	4972	0,47	4283	0,20	0,86
194	1,39	8293	1,04	1983	0,36	3260	0,39	1,64	
195	2,37	14138	1,43	2722	0,48	4357	0,31	1,60	
	Média	2,33	13909	2,39	4648	0,40	3648	0,27	0,93

ET_o' é o volume de água evapotranspirada potencialmente por um gramado com a mesma área do pomar; ET' o volume de água evapotranspirado pelo pomar; e FS' o volume de água transpirado pelas árvores do pomar.

Apesar desses resultados não terem sido verificados para outras situações e outros pomares, as relações entre FS' e ET' encontradas apontam para a possibilidade de estimar a transpiração média de cada árvore a partir de dados de evapotranspiração obtidos com modelos climatológicos e de variáveis biométricas do pomar, como AP, IAF e área total do pomar. Extrapolando tal relação para pomares com cobertura total da entrelinha do terreno pela vegetação rasteira, a transpiração média das árvores poderia ser estimada a partir da seguinte relação:

$$T = \frac{ET \cdot AT}{N_a \cdot AF_m} \quad (7)$$

em que: T é a transpiração média das árvores do pomar ($L \cdot m^{-2}$ de folha $\cdot d^{-1}$); ET é a evapotranspiração estimada por método climatológico ($mm \cdot d^{-1}$), AT é a área total do pomar (m^2); AF_m é a área foliar média do pomar (m^2 folha \cdot árvore $^{-1}$) e N_a é o número de árvores do pomar.

Para as situações em que o pomar não se encontrar com vegetação cobrindo a entrelinha, a transpiração média poderia ser estimada da seguinte forma:

$$T = \frac{ET}{IAF_m} \quad (8)$$

em que: IAF_m é o índice de área foliar médio do pomar.

A partir dessas relações, poder-se-ia determinar a transpiração de cada uma das árvores do pomar, desde que se conhecesse sua área foliar, podendo-se, com isso, manejar a aplicação de água de modo a atender às necessidades de cada planta. Apesar das técnicas atualmente disponíveis ainda não possibilitarem um controle da aplicação de água específica a tal ponto, a literatura científica indica a viabilidade de tal técnica, tanto no que diz respeito à economia de água como no que concerne ao aproveitamento máximo do potencial genético das espécies frutícolas.

CONCLUSÕES

A disponibilidade hídrica do solo da entrelinha foi a principal causa das variações dos componentes do balanço de energia nas duas estações do ano, principalmente quanto à partição da energia disponível em calor latente e calor sensível.

No período de inverno, o método da razão de Bowen concordou com as medidas de fluxo de seiva, o que permite concluir que ambos os métodos se mostraram adequados para aplicações semelhantes às utilizadas nesse trabalho. Essa comparação mostra também que a transpiração das árvores representou 41% na evapotranspiração do pomar no verão e cerca de 93% durante o inverno. Dessa forma, a partir das medidas de evapotranspiração do pomar, pode-se manejar a irrigação de forma a atender às necessidades de cada planta.

O valor da razão entre a evapotranspiração do pomar e a evapotranspiração de referência, de 0,44 no verão e de 0,27 no inverno, são especialmente importantes para o manejo da irrigação em pomares de lima ácida 'Tahiti' e mesmo de outras espécies de citros com índices biométricos semelhantes aos verificados no pomar estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998, 300 p. (Irrigation and Drains Paper, n. 56)
- ANGUS, D.E.; WATTS, P.J. Evapotranspiration - how good is the Bowen ratio method? **Agric. Water Manage.**, v.8, n. 2, p.133-150, 1984.
- BAKER, J.M.; VAN BAVEL, C.H.M. Measurements of mass flow of water in stems of herbaceous plants. **Plant, Cell Environ.**, v.10, n. 6, p.777-782, 1987.
- BEM-ASHER, J.; SAMMIS, T.W. Radiation and energy balance of trickle-irrigated lemon grove. **Agron. J.**, v.70, p. 568-572, 1978.
- DEVITT, D.A. et al. Bowen ratio estimates of evapotranspiration for *Tamarix ramosissima* stands on the Virgin River in Southern Nevada. **Water Res. Res.**, v.34, n.9, p.2407-2414, 1998.
- DIRMEYER, P.A. Vegetation stress as a feedback mechanism in midlatitude drought. **J. Clim.**, v.7, n. 10, p.1463-1483, 1994.
- HATFIELD, J.L. Methods of estimating evapotranspiration. **Irrig. Agric. Crops, Agron. Monogr.** n.30, p. 435-474, 1990.
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G.

Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1989. 332p.

KALMA, J.D.; STANHILL, G. Transpiration, evaporation and deep drainage losses from an orange plantation. *Isr. J. Agric. Res.*, v.19, n.1, p.11-24, 1969.

MARIN, F.R. et al. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. *Sci. Agric.*, v.58, n.4, p.839-844, 2001.

MARIN, F. R. et al. Sap flow and e evapotranspiration in an irrigated citrus orchard. *Rev. Bras. de Meteorol.*, Santa Maria, v.9, n.2, p.219-226, 2001.

MEIRESONNE, L. et al. Measured sap flow and simulated transpiration from a poplar stand in Flanders (Belgium). *Agric. For. Meteorol.*, v. 96, n.4, p. 165-179, 1999.

PEREIRA, A. R. et al. Difficulties with micrometeorological methods to estimate evapotranspiration in small citrus orchard. (Aceito na *Rev. Bras. Meteorol.*, 2002) no prelo.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREZ, P.J. et al. Assesment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agric. For. Meteorol.*, v.97, n. 3, p.141-150, 1999.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water sap flow in the stem of intact plant. *J. Agric. Meteorol.*, v.39, n. 1, p.9-17, 1981.

TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v.24, n.1, p.1-9, 1960.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. (Ed.). **Water transport in plants under climatic stress**, Cambridge University Press, 1993. p. 166-173.

WILSON, K.B.; BALDOCCHI, D.D. Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaf temperate deciduous forest in North America. *Agric. For. Meteorol.*, v.100, n. 1, p.1-18, 2000.