



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Balanco de energia diurno em pomar de mangueiras no nordeste paraense, Brasil



*Juliana Chagas Rodrigues²; Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza³; Renata Trindade de Lima⁴;
Adriano Marlisom Leão de Sousa⁵*

¹Trabalho modelo apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 23 a 28 ago. 2015

² Eng. Agrônoma, Doutoranda em Ciências Florestais, bolsista CAPES, UFRA, Belém – PA Fone: (91) 3210-5140,
juliana.rodrigues@ufra.edu.br

³ Meteorologista, Prof. Adjunto, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, bolsista CNPq nível 2, UFRA, Belém – PA,
paulo.jorge@ufra.edu.br

⁴ Eng. Agrônoma, MSc. Agronomia, Fiscal Agropecuário, Agência de Defesa Agropecuária do Pará, Novo Repartimento – PA,
renata.lima@ufra.edu.br

⁵ Meteorologista, Prof. Adjunto, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, UFRA, Belém – PA, adriano.souza@ufra.edu.br

RESUMO: O balanço de energia mostra a partição da energia disponível em fluxo de calor latente, sensível e para o solo, sendo que em ambientes úmidos o saldo de radiação é direcionado para os processos de mudança de estado físico da água. Este estudo teve como objetivo estimar o balanço de energia durante o período diurno na fase reprodutiva em um pomar de mangueiras no nordeste paraense, Brasil. Para isso, uma torre micrometeorológica foi instalada e instrumentada no centro da área experimental para o monitoramento de variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, radiação líquida e fluxo de calor no solo, e o acompanhamento da fenologia das mangueiras, durante a safra 2011/2012 (setembro de 2011 a janeiro de 2012). A equação do balanço de energia contabilizou apenas a radiação líquida, fluxo de calor no solo, fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente, este último foi obtido através da técnica da razão de Bowen. O balanço de energia sofreu influência das condições meteorológicas ocorridas no período, pois foi caracterizado pela pouca ocorrência de chuvas. O balanço de energia mostrou que 68,35% da energia disponível foi utilizada na evapotranspiração, e 31,65%, no aquecimento da atmosfera. O fluxo de calor para o solo foi desprezado, pois representou menos de 1% do saldo de radiação, demonstrando que um pomar de mangueiras apresenta boa cobertura do solo impedindo grandes variações no fluxo de calor para o solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Mangifera indica* L., fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível

Diurnal energy balance in the mango orchard in northeastern Pará, Brazil

ABSTRACT: The energy balance shows the partition of available energy in latent heat flux, sensible and soil, and in a wet environment the net radiation is directed to the processes of change of physical state of the water. This study was to estimate the diurnal energy balance in the reproductive phase in the mango orchard in northeastern Pará, Brazil. For this, a micrometeorological tower was installed and instrumented in the center of the experimental area for monitoring meteorological variables such as temperature and relative humidity, atmospheric pressure, net radiation and heat flux in the soil, and phenological monitoring of the mango tree during the 2011/2012 season (September 2011 to January 2012). The equation of energy balance accounted only the net radiation, soil heat flux, sensible heat flux and latent heat flux, the latter was obtained by the Bowen ratio technique. The energy balance was influenced by the meteorological conditions during the period because it was characterized by low rainfall. The energy balance showed that 68.35% of the available energy was used in evapotranspiration, and 31.65% in atmospheric warming. The heat flux in the soil was despised because it was less than 1% of the net radiation, demonstrating that a mango orchard presents good soil cover preventing large variations in heat flux in the soil.

KEY WORDS: *Mangifera indica* L., latent heat flux, sensible heat flux

INTRODUÇÃO

O balanço de energia baseia-se na quantificação de ganhos e perdas de energia térmica radiativa, condutiva e convectiva sobre uma superfície evaporante, sendo que próximo a superfície e de forma simplificada, o balanço de energia representado pela radiação líquida ou saldo de radiação (R_n) é particionado em fluxo de calor para o solo (G), destinado ao aquecimento do solo, fluxo de calor sensível (H), destinado ao aquecimento do ar e das plantas, eo fluxo de calor latente (LE), promove mudanças no estado físico da água, favorecendo o processo de evapotranspiração (Borges et al., 2008). O saldo de radiação (R_n) e o fluxo de calor no solo (G) são medidos através de equipamentos, enquanto que os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) são mensurados indiretamente através de três métodos: método aerodinâmico, método da correlação dos turbilhões, e o método do balanço de energia – razão de Bowen (Lima et al., 2011a).

A razão de Bowen (β), relação entre o fluxo de calor sensível e o latente, tem sido muito usada na obtenção dos componentes do balanço de energia, devido sua simplicidade e precisão na estimativa do fluxo vertical de vapor d'água, desde que seja respeitado o “fetch” mínimo recomendado, para atenuação dos efeitos advectivos (Gavilan e Berengena, 2007). Esta metodologia é adequada para culturas de porte baixo até plantios arbóreos, além de apresentar resultados satisfatórios quando não se podem obter diretamente os fluxos de calor sensível e latente, demonstrando razoável precisão quando comparado a lisímetros (Rana e Katerji, 2000; Silva et al., 2005; Teixeira e Bastiaanssen, 2012). No entanto, à noite ou em condições advectivas, os valores negativos da razão de Bowen promovem o aumento dos erros na obtenção dos fluxos de energia, proporcionando alto percentual de resultados inconsistentes (Teixeira e Bastiaanssen, 2012), por isso, recomenda-se maior cautela na utilização dos valores obtidos neste período.

O balanço de energia obtido durante o período diurno apresenta resultados mais precisos e com menor margem de erros em estudos relacionados à evapotranspiração. Considerando valores de radiação líquida durante o período de 24 horas, o erro associado à estimativa da evapotranspiração e, conseqüentemente, à aplicação correta da lâmina de água na irrigação pode chegar a $2,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo o mesmo procedimento aplicado aos demais componentes do balanço de energia (Oliveira e Leitão, 2000).

A cobertura vegetal é fator determinante no balanço de energia a superfície, desta forma, culturas anuais tendem a apresentar maior variação nas proporções dos fluxos de calor sensível, latente e para o solo, em relação da radiação líquida, durante seu ciclo. Lima et al. (2011b), estudando a cultura do feijão caupi, em Areia, Paraíba, estimou que o saldo de radiação foi utilizado, em média, 65% pelo fluxo de calor latente, 23% pelo fluxo de calor sensível e 12% pelo fluxo de calor para o solo. Resultados obtidos na Amazônia por Souza et al. (2012), para a cultura da soja, em Paragominas, Pará, encontraram valores de 71,13% para LE/R_n , 28,78% para H/R_n , enquanto que a proporção de G/R_n foi menor que 1%.

Culturas perenes, como a mangueira, quando atingem a maturidade, tendem a consumir a maior parte da energia disponível como fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente, enquanto que proporções muito pequenas são destinadas ao fluxo de calor para o solo, devido, principalmente, ao porte que proporciona maior interceptação da radiação solar e cobertura do solo. Resultados obtidos através do método da razão de Bowen para a cultura da mangueira mostraram que os componentes do balanço de energia foram, em média, 80,82% LE/R_n , 13,88% H/R_n e -0,21% G/R_n , em Petrolina, Pernambuco (Borges et al., 2008; Teixeira et al., 2008a, b), não havendo estudos para a cultura da mangueira na Amazônia.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo estimar o balanço de energia durante o período diurno na fase reprodutiva em um pomar de mangueiras no nordeste paraense, Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um pomar de mangueiras localizado no sítio experimental de Cuiarana, pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), município de Salinópolis, Pará (00°39'50,50"S, 47°17'4,10"O). Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático predominante na região é Aw, com reduzida amplitude térmica e precipitação pluvial média anual de 2.100 mm, com 90% das chuvas distribuída entre os meses de janeiro e junho.

O pomar foi implantado em 1993 e é constituído da cv. Tommy Atkins, com altura média de 6,5 m, e espaçamento de 10,0 x 10,0 m (100 plantas ha⁻¹), cultivado em sistema de sequeiro, em uma área total de 25 hectares. Uma parcela de um hectare foi demarcada para o estudo, onde foram coletados os dados meteorológicos e fenológicos durante a fase reprodutiva do pomar de mangueiras na safra 2011/2012 (setembro de 2011 a janeiro de 2012).

No centro da área experimental foi instalada e instrumentada uma torre micrometeorológica de 10 m de altura, com um "fetch" superior a razão 1:100 na direção predominante do vento, para evitar que os efeitos advectivos interferissem nas medidas realizadas no pomar (Gavilan e Berengena, 2007). Os sensores foram conectados a um datalogger (CR10X, *Campbell Scientific*) e a um multiplexador (AM16/32A, *Campbell Scientific*), os quais realizavam leituras a cada 10 segundos e gravação das médias e totais a cada 10 minutos.

A radiação líquida foi obtida através de um saldo radiômetro (NR-Lite, *Kipp & Zonen*) instalado na torremicrometeorológica a 8,5 m do solo. O fluxo de calor no solo foi monitorado por dois fluxímetros (HFP01SC-L, *Hukseflux*) instalados a 0,10 m de profundidade nos sentidos norte-sul e leste-oeste do plantio. A temperatura e umidade do ar foram acompanhadas por dois termohigrômetros (HMP45A, *Vaisala*), instalados a 0,5 m e 2,0 m acima do dossel do pomar de mangueiras.

Os estádios fenológicos foram monitorados conforme Rodrigues et al. (2013) e representados por uma escala térmica normalizada, em função dos graus-dias acumulados, obtendo-se o tempo térmico normalizado (TTN) (Costa et al., 2009), onde cada índice de TTN representou uma fase fenológica a partir da floração (TTN = 0), início da queda de frutos (TTN = 1), formação (TTN = 2), maturação (TTN = 3) e colheita (TTN = 4).

O fluxo de calor latente foi obtido por meio do balanço de energia (BE), estimado conforme Souza et al. (2012). O balanço de energia foi obtido conforme a Equação 1, no intervalo de 06:00h e 18:00h, correspondente ao período diurno (Rn-G>0). Esta equação despreza alguns componentes, como a energia armazenada na copa das árvores e a energia utilizada no processo fotossintético, devido a pouca representatividade em relação à radiação líquida, além da dificuldade de obtenção.

$$R_n = LE + H + G \quad (1)$$

Em que Rn é a radiação líquida (MJ m⁻²), LE é o fluxo de calor latente (MJ m⁻²), H é o fluxo de calor sensível (MJ m⁻²) e G é o fluxo de calor no solo (MJ m⁻²).

A razão de Bowen (β) foi obtida através das relações do transporte vertical de calor e vapor d'água, considerando que exista a igualdade nos coeficientes de transporte turbulento do fluxo de calor sensível e vapor d'água, K_H e K_W, respectivamente (Arya, 2001).

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{C_p \Delta T}{\lambda \Delta q} = \frac{C_p P}{\lambda \cdot 0,622} \frac{\Delta T}{\Delta e} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2)$$

Em que C_p é o calor específico do ar a pressão constante (J kg⁻¹ °C⁻¹), λ é o calor latente de evaporação (J kg⁻¹), Δq é a variação de umidade específica (g kg⁻¹), P é a pressão atmosférica local (mbar), γ é o coeficiente psicrométrico (mbar °C), ΔT e Δe são as variações de temperatura média do ar (°C) e de pressão (mbar) de vapor d'água entre dois níveis consecutivos, respectivamente.

O nível dos sensores de temperatura do ar e umidade relativa foi alterado frequentemente com o crescimento da cultura, mantendo-se sempre o mesmo intervalo do perfil vertical (0,5 – 2 m), de modo a garantir que os mesmos permanecessem dentro da camada limite de equilíbrio (Souza et al., 2011).

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Os valores da β passaram por um controle de qualidade, atendendo aos critérios adotados pela metodologia de Perez et al. (1999), baseado em um método analítico de determinação da consistência dos sinais observados na relação fluxo-gradiente entre os componentes e de quais valores de β em torno de -1 podem ser descartados, em função da precisão das medidas de temperatura e umidade do ar, as quais foram consideradas, para o tipo de sensor usado, como sendo $\pm 0,2$ °C e $\pm 2\%$ para a temperatura ($\delta\Delta T$) e umidade relativa ($\delta\Delta e$) do ar, respectivamente (Souza et al., 2012).

O componente LE foi então obtido através da β e o H, pelo resíduo da Equação 1 citada anteriormente.

$$LE = \frac{Rn - G}{(1 + \beta)} \quad (3)$$

As componentes do balanço energia foram analisadas utilizando estatística descritiva das amostras, por meio das médias, máximos, mínimos, e desvios padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições meteorológicas durante a safra 2011/2012 são apresentadas na Figura 1. A temperatura média do ar (T) para todo o período reprodutivo foi de $27,6 \pm 0,47$ °C, com máxima e mínima médias de 28,1 °C e 25,2 °C, ambas ocorrendo na fase de queda de frutos (Figura 1a). A umidade relativa do ar (UR) média foi de $70,7 \pm 2,88\%$, sendo que os valores máximos e mínimos médios diários foram 84,6%, na maturação, e de 66,1%, durante a queda dos frutos, respectivamente (Figura 1a). A velocidade do vento média foi de $2,9 \pm 0,42$ m s⁻¹, atingindo o valor máximo médio durante a fase de maturação dos frutos (3,7 m s⁻¹), e a mínima média ocorreu durante a fase de maturação, 1,1 m s⁻¹ (Figura 1b). O déficit de pressão de vapor d'água (DPV) médio foi de $1,1 \pm 0,12$ kPa, com valores máximos registrados durante a fase de queda de frutos, 1,3 kPa, e o mínimo na subfase de maturação de frutos, 0,5 kPa (Figura 1b).

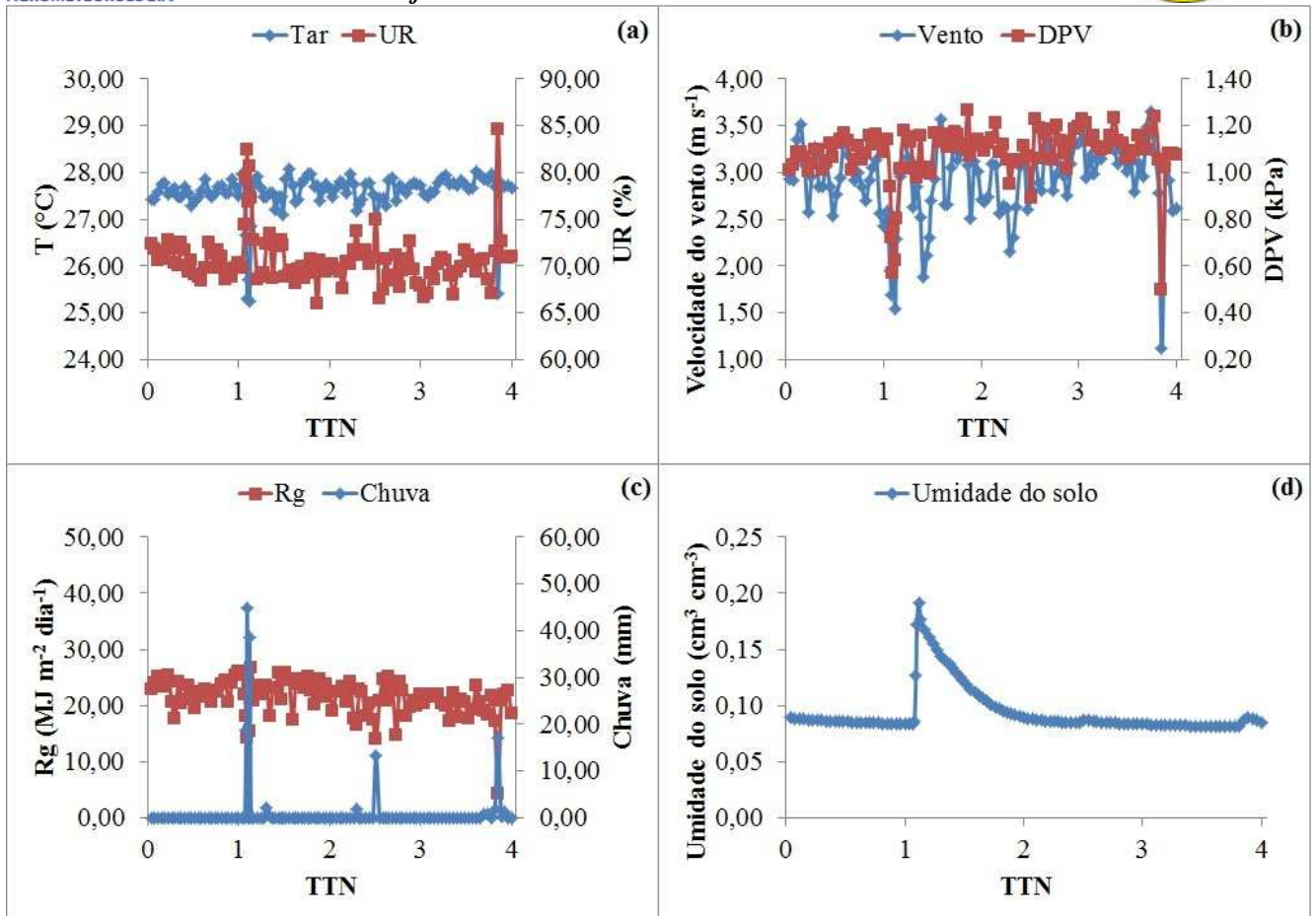


Figura 1. Valores médios das variáveis meteorológicas durante a safra 2011/2012. (a) Temperatura média do ar (T) e umidade relativa do ar (UR); (b) velocidade do vento e déficit de pressão de vapor d'água (DPV); (c) radiação solar global incidente (Rg) e chuva; (d) umidade do solo, em um pomar de mangueiras cv. Tommy Atkins, Salinópolis, Pará.

A radiação solar global incidente (Rg) média diária foi $21,5 \pm 3,17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, ocorrendo grande variabilidade da Rg durante o estudo, cujos valores oscilaram entre $4,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (período chuvoso) e $26,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (período menos chuvoso), nas fases de maturação e queda de frutos, respectivamente (Figura 1c). A precipitação pluvial total foi 141,99 mm, com pouca variabilidade ao longo de seu ciclo produtivo (Figura 1c). Esta safra também apresentou pouca variabilidade na umidade do solo, com a média de $0,10 \pm 0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e o mínimo de $0,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ocorrido na fase de floração (Figura 1d). O ápice aconteceu durante a fase de queda de frutos ($0,19 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), em função da ocorrência de eventos de chuva neste período, representando o valor máximo atingido na safra.

A Figura 2 apresenta os valores diurnos médios horários dos componentes do balanço de energia referentes a safra 2011/2012, no intervalo correspondente a energia disponível positiva ($R_n - G > 0$). Esta safra apresentou pouca variabilidade na escala horária para os componentes do balanço de energia (Figura 2), ao comparar as diferentes fases fenológicas, isto ocorreu devido a pouca variação nas condições meteorológicas ocorrida neste período. A alta disponibilidade energética e a escassez de chuvas, promoveu deste modo o maior consumo de Rn pelo LE, sendo que o H também representou uma parte significativa do consumo da energia disponível, e o G apresentou pouca variação em todas as fases fenológicas.

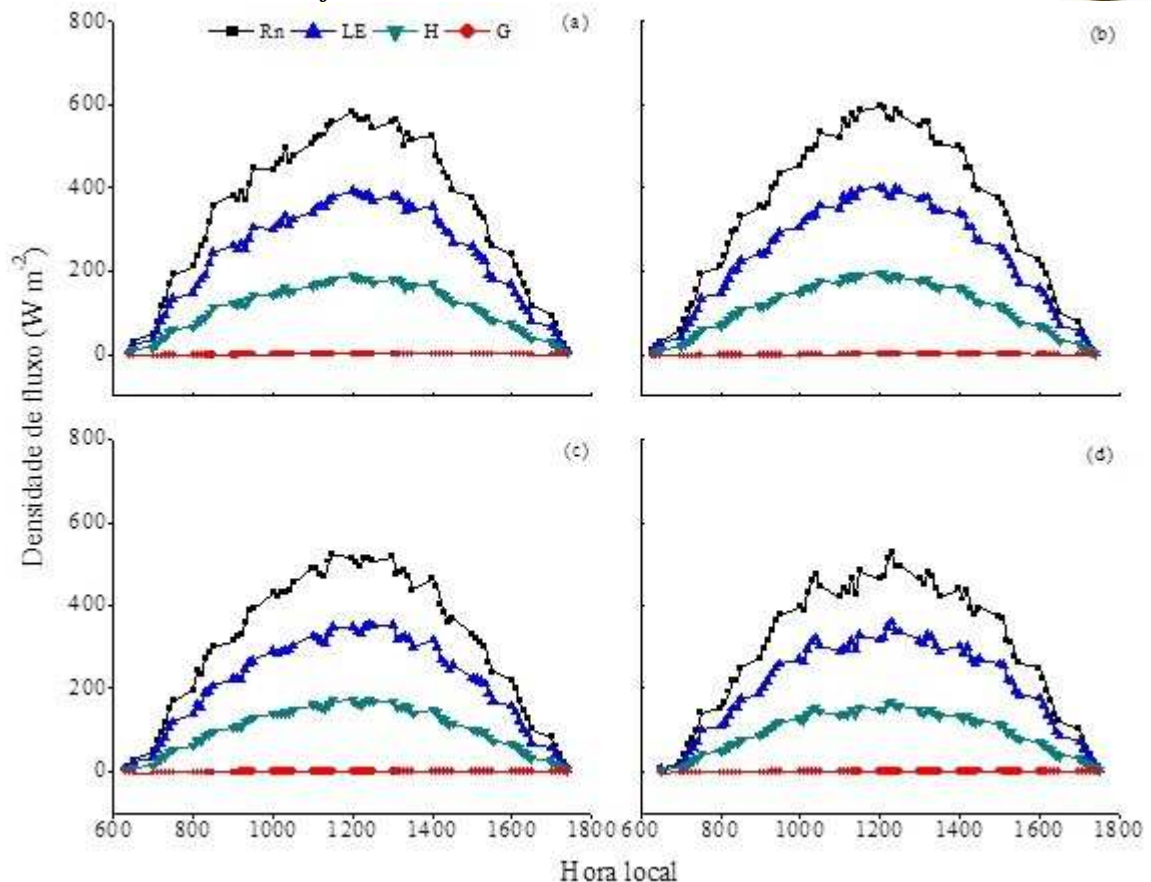


Figura 2. Variabilidade média horária dos componentes do balanço de energia no período diurno durante a safra 2011/2012, para as fases fenológicas de (a) floração, (b) queda, (c) formação e (d) maturação de frutos, em um pomar de mangueiras cv. Tommy Atkins, Salinópolis, Pará.

A variabilidade dos componentes do balanço de energia no período diurno ao longo do ciclo produtivo da mangueira na safra 2011/2012 encontra-se na Figura 3. Por se tratar de medidas diurnas, houve grande variabilidade nos valores de Rn, LE e H, com exceção de G que apresentou-se quase constante durante o período analisado. Durante esta safra, os componentes do balanço de energia apresentaram variabilidade constante ao longo de todo o ciclo (Figura 3), onde o LE consumiu mais energia (Rn), seguida do H e do G.

Devido à escassez de chuvas e a pouca variação na umidade do solo, a parcela de energia destinada ao processo de evapotranspiração foi reduzida, chegando à proporção média de 68,35%, enquanto que 31,65% foi utilizada para o aquecimento da atmosfera (H), entretanto, o fluxo de calor no solo foi desprezado, pois representou menos de 1% do saldo de radiação (Tabela 1). Estes valores foram constantes em todas as fases fenológicas com pequenas oscilações entre os componentes do balanço de energia ao longo do ciclo produtivo. Nesta safra não foram observados processos relacionados à advecção durante o período reprodutivo da mangueira.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

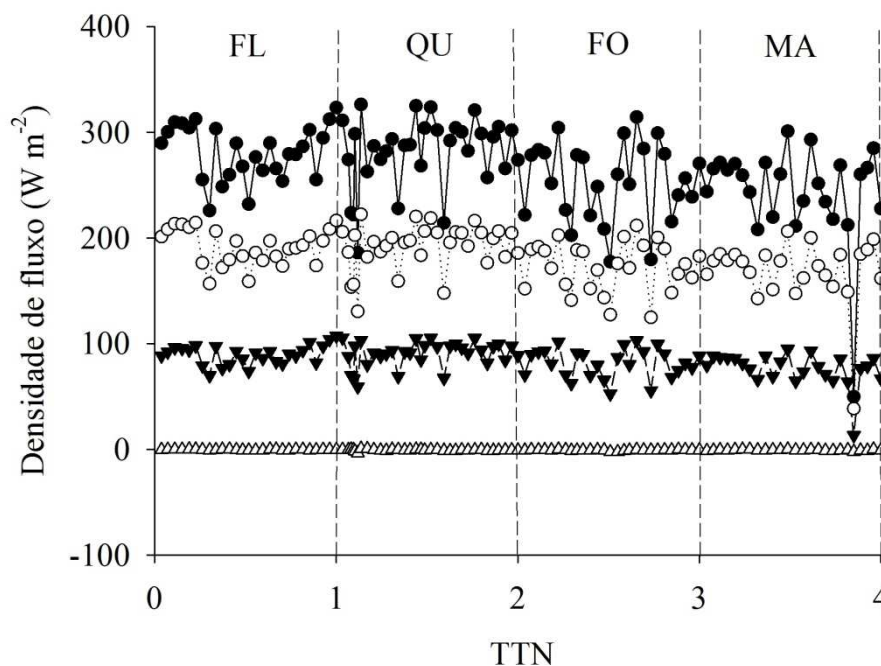


Figura 3. Densidade de fluxo dos componentes do balanço de energia, radiação líquida (●), fluxo de calor latente (○), fluxo de calor sensível (▼) e fluxo de calor para o solo (Δ), em $W m^{-2}$, para o período diurno durante a safra 2011/2012, em função do tempo térmico normalizado (TTN). As fases fenológicas são representadas pelas siglas: (FL) floração, (QU) queda, (FO) formação e (MA) maturação de frutos, em um pomar de mangueiras cv. Tommy Atkins, Salinópolis, Pará.

Tabela 1. Componentes do balanço de energia, radiação líquida (R_n), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) médio, em função do tempo térmico normalizado (TTN), em um pomar de mangueiras cv. Tommy Atkins, Salinópolis, Pará.

TTN	R_n	LE	H	LE/ R_n	H/ R_n
	----- $MJ m^{-2} dia^{-1}$ -----			----- % -----	
0	24,15±2,15	16,48±1,44	7,67±0,76	68,26	31,74
1	24,43±3,00	16,61±1,92	7,82±1,10	68,07	31,93
2	21,93±3,24	14,90±2,03	7,03±1,21	68,06	31,94
3	21,14±4,09	14,56±2,73	6,59±1,39	69,10	30,90
Média	23,00±3,44	15,69±2,24	7,31±1,22	68,35	31,95

Valores após a média representam o desvio padrão amostral

Os resultados obtidos neste estudo diferiram das demais pesquisas sobre o balanço de energia para a cultura da mangueira no Brasil. A fração consumida pelo fluxo de calor latente (LE/ R_n), na safra 2011/2012, foi inferior ao obtido por Borges et al. (2008), que obteve, em média, 81,27%, enquanto que Teixeira et al. (2008a), determinou 76,79%, e Teixeira et al. (2008b), estimou 84,44%, ambos os estudos foram realizados em Petrolina, Pernambuco. A fração consumida pelo fluxo de calor sensível (H/ R_n) neste estudo, foi superior ao obtido por Borges et al. (2008), que obteve, em média, 14,45%, Teixeira et al. (2008a), 14,31%, e Teixeira et al. (2008b), 12,88%. Outras pesquisas também determinaram o fluxo de calor para o solo, sendo que Borges et al. (2008), obteve, em média, 4,44%, Teixeira et al. (2008a), determinou 8,90%, e Teixeira et al. (2008b), 2,68%.

O fator ambiental foi decisivo na comparação das diferenças entre esta pesquisa e os demais estudos que abordaram o balanço de energia para a cultura da mangueira no Brasil. Mesmo este estudo sendo na Amazônia, a região nordeste paraense apresenta período seco definido, e nesta safra as



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

variáveis meteorológicas sofreram poucas alterações, devido, principalmente, a escassez de chuvas, pois ocorreram apenas 141,99 mm durante a safra 2011/2012, além disso, este pomar é cultivado em sequeiro, portanto, não possui outra fonte que possa subsidiar a falta de água. Entretanto, os estudos realizados por Borges et al. (2008) e Teixeira et al. (2008a, b), mesmo sendo realizados na região nordeste do Brasil, em clima semiárido, a área cultivada possui sistema de irrigação que proporciona suprir a escassez das chuvas proporcionando ambiente favorável a altas produtividades, além de suporte hídrico para melhor aproveitamento das componentes do balanço de energia.

CONCLUSÕES

A escassez de chuvas na safra 2011/2012 foi determinante para a partição da radiação líquida nas componentes do balanço de energia, proporcionando o consumo de 68,35% da energia disponível como fluxo de calor latente, e 31,65%, como fluxo de calor sensível. O fluxo de calor para o solo foi desprezado, pois representou menos de 1% do saldo de radiação, demonstrando que o pomar de mangueiras apresenta boa cobertura do solo impedindo grandes variações no fluxo de calor destinado para o solo.

AGRADECIMENTOS

A CAPES, CNPq e UFRA pela concessão de recursos para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. New York: Academic Press, 2001.

BORGES, C. J. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; SILVA, B. B. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 393-399, 2008.

COSTA, L. C.; JUSTINO, F.; OLIVEIRA, L. J. C.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, W. P. M.; LEMOS, C. F. Potential forcing of CO₂, technology and climate changes in maize (*Zeamays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 4, p. 1-10, 2009.

GAVILAN, P.; BERENGENA, J. Accuracy of the Bowen ratio-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. **Irrigation Science**, Berlin, v. 25, p. 127-140, 2007.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S. Fluxo de calor sensível em cultivo de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1037-1045, 2011a.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupisob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 65-74, 2011b.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M.V.B.R. Estimativas de evapotranspiração e as consequências devido ao erro na determinação de saldo de radiação e efeitos advectivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.343-347, 2000.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, n. 3, p. 141-150, 1999.

RANA, G.; KATERJI, N. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, p. 125-153, 2000.

RODRIGUES, J. C.; SOUZA, P. J. O. P.; LIMA, R. T. Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueira no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2013.

SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V., VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 705-712, 2005.

SOUZA, P. J. O. P.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P.; BOTELHO, M. N.; SOUSA, A. M. L.; SOUZA, E. B.; FARIAS, J. R. B. Impact of soybean expansion on the Amazon energy balance: A case study. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n. 3, p. 553-567, 2011.

SOUZA, P. J. O. P.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P.; FARIAS, J. R. B.; SOUZA, E. B. Sazonalidade no balanço de energia em áreas de cultivo de soja na Amazônia. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 548-557, 2012.

TEIXEIRA, A.H.C.; BASTIAANSEN, W.G.M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-splinker-irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, Berlin, v. 30, p. 13-28, 2012.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 362, n. 1, p. 110-127, 2008a.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, n.10, p. 1524-1537, 2008b.