

## BALANÇO DE ENERGIA EM AMENDOIM IRRIGADO

NILCEU PIFFER CARDOZO<sup>1</sup>, CLÓVIS ALBERTO VOLPE<sup>2</sup>, ANTÔNIO RIBEIRO DA CUNHA<sup>3</sup>, FÁBIO RICARDO MARIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pós-Graduando PPG Física do Ambiente Agrícola - ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11- CP 9 - Piracicaba/SP-CEP 13418-900, Fone: 3429-4283 R: 236, E-mail: nilceu.cardozo@usp.br

<sup>2</sup> Prof. Adjunto Depto. de Ciências Exatas, FCAVUNESP, Jaboticabal, SP. (in memorian)

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo/FCA UNESP Botucatu-SP

<sup>4</sup> Embrapa Informática Agropecuária – Campinas/SP

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

**RESUMO:** O presente estudo utilizou o método do balanço de energia através da razão de Bowen para estimar os fluxos de calor latente (LE) e sensível (H) a partir de medidas do saldo de radiação (Rn), fluxo do calor do solo (G) e gradientes psicrométricos (com termopares) em dois cultivares amendoim (*Arachis hypogaea* L.) irrigado. Os resultados indicam que a partição de Rn em fluxos de LE, H e G varia durante o ciclo, principalmente em função do desenvolvimento vegetativo da cultura. O método da razão de Bowen propiciou medidas de consumo hídrico coerentes com a cultura do amendoim (valores médios de 6 mm.dia<sup>-1</sup> para ambos os cultivares).

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluxo de calor sensível, Fluxo de calor latente, *Arachis hypogaea* L.

## ENERGY BALANCE IN IRRIGATED PEANUT

**ABSTRACT:** This study used the method of energy balance through the Bowen ratio to determine the sensitive (H) and latent (LE) heat fluxes, by means of measures of the net radiation (Rn), heat flux into the soil (G) and of psychrometers gradients with thermocouples in two peanut cultivars (*Arachis hypogaea* L.) irrigated. The results indicate that the partition of Rn into flows of LE, H and G varies during the season, mainly because of the culture growth. The method of Bowen ratio provides consistent measures of peanut water consumption (6 mm.day<sup>-1</sup> for both cultivars).

**KEY-WORDS:** sensitive heat flux, latent heat flux, *Arachis hypogaea* L.

**INTRODUÇÃO:** O método do balanço de energia é considerado um processo racional de estimativa de evapotranspiração de uma superfície, o qual mede a energia disponível em um sistema natural e separa as frações usadas nos diferentes processos (VILLA NOVA, 1973), principalmente quando utilizado na determinação da evapotranspiração máxima de culturas, ou seja, culturas crescendo sem restrição de água (TEIXEIRA et al., 2002). O balanço de energia em uma superfície é determinando através da razão entre os fluxos de calor latente e sensível, em função dos gradientes da pressão de vapor e da temperatura observada sobre a superfície, denominada razão de Bowen (BOWEN,

1926). Diante disso, o objetivo desse trabalho foi determinar os componentes do balanço de energia de dois cultivares de amendoim.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** A área experimental localiza-se na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP campus de Jaboticabal, estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: 21° 14' 05''S; 48° 17' 09'' W e 615 metros de altitude. O experimento foi realizado de outubro de 2007 a março de 2008. Utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão fixa e o manejo da mesma feito pelo método do balanço hídrico climatológico diário (VILLA NOVA & SCARDUA, 1984), com a evapotranspiração da cultura estimada por meio da multiplicação do coeficiente de cultura pela evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998). As medidas de saldo de radiação ( $R_n$ ) (sensor modelo NRLite / Kipp & Zonen), fluxo de calor no solo ( $G$ ) (sensor modelo HFT3 / REBS), e de gradientes psicrométricos (termopares de CuCo em dois níveis conforme MARIN et al., 2001), foram efetuadas durante o ciclo dos cultivares de amendoim IAC 886 e IAC TATU ST. Os instrumentos meteorológicos estavam ligados a um sistema de aquisição de dados automático, programado para armazenamentos dos valores médios a cada 15 minutos. O balanço de energia foi determinado através da razão de BOWEN (1926), segundo a equação geral do balanço de energia:

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

em que  $R_n$  é o saldo de radiação sobre a superfície da cultura em  $W.m^{-2}$ ;  $G$  o fluxo de calor no solo em  $W.m^{-2}$ ;  $H$  o fluxo de calor sensível em  $W.m^{-2}$ ;  $LE$  o fluxo de calor latente em  $W.m^{-2}$ .

A razão de Bowen ( $\beta$ ) foi determinada pela expressão (2), conforme sugere PEREIRA et al. (1997):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \left[ \frac{\Delta T_u}{(1-W)\Delta T_s} - 1 \right]^{-1} \quad (2)$$

em que:

$\Delta T_u$  é a diferença de temperatura do bulbo úmido entre as dois níveis de medida (°C);

$\Delta T_s$  é a diferença de temperatura do bulbo seco entre as dois níveis de medida (°C);

$W$  é o fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo úmido, ou seja:

$$W = 0,407 + 0,0145T_u, \text{ para } 0 < T_u < 16 \text{ °C} \quad (3)$$

$$W = 0,483 + 0,0100T_u, \text{ para } 16,1 < T_u < 32 \text{ °C} \quad (4)$$

Os fluxos  $H$  e  $LE$  foram estimados utilizando-se as seguintes expressões:

$$LE = \frac{(R_n - G)}{(1 + \beta)} \quad (5)$$

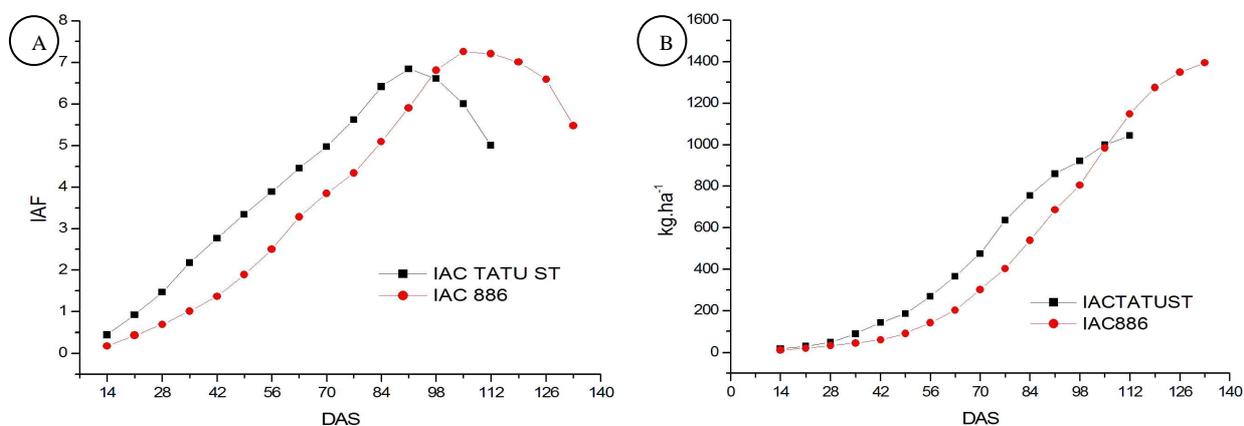
$$H = LE * \beta \quad (6)$$

em que  $LE$  é o fluxo de calor latente ( $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ ), e  $H$  o fluxo de calor sensível ( $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ ).

Além disso, foi realizada a biometria dos cultivares ao longo do ciclo. A cada 7 dias (com início aos 14 dias após a semeadura) foram coletadas 3 plantas de cada cultivar e realizou-se a medida de sua área foliar e massa seca. A massa verde coletada foi levada para secagem em estufa de aeração forçada à 80°C até peso constante. Depois de seco, o material era pesado, para a determinação da massa seca de cada uma das diferentes partes da planta em balança de precisão METTLER, modelo p1200, de sensibilidade de 0,01 gramas. A área foliar foi determinada utilizando-se o medidor “Area Meter” (Licor Inc., Lincon, Nebraska, US), modelo LICOR LI-3000 e, em seguida, determinou-se o índice de área foliar (IAF) com base em um espaçamento de 0,90 m.

## RESULTADOS:

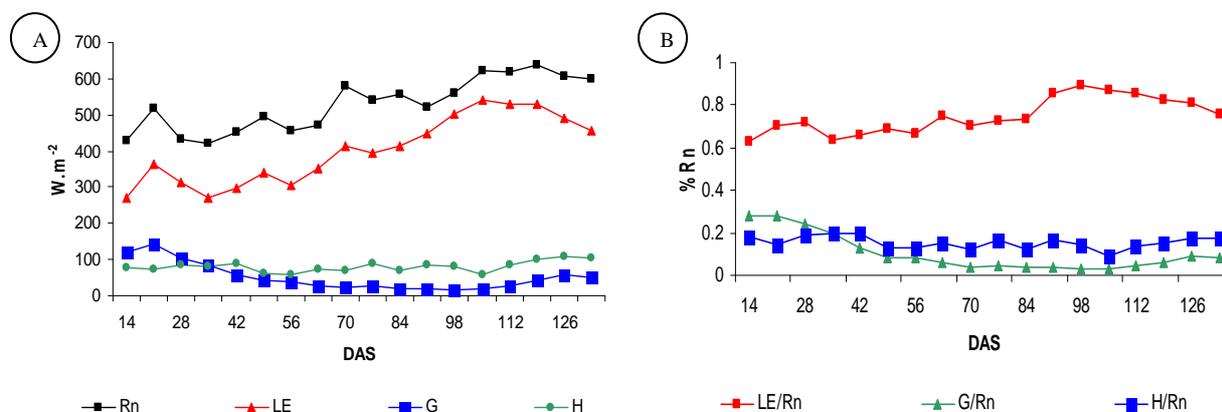
A variação do IAF dos cultivares estudados é apresentado na Figura 1. Como pode ser observado, o cultivar IAC TATU ST apresenta maior taxa de crescimento, principalmente no início do desenvolvimento da cultura. Assim, esse cultivar adquire área foliar mais rapidamente e, assim, cobre o solo mais antes do que o cultivar IAC 886. Todavia, embora o cultivar IAC 886 tenha ritmo de crescimento mais lento, ele recobre o solo mais eficientemente devido a seu porte (rasteiro) e maior IAF máximo (7,2). Houve diferenças também no momento de maior IAF, sendo que para o cultivar IAC TATU ST ocorreu mais cedo (em torno dos 90 dias) do que o cultivar IAC 886 (aos 105 dias). Ambos os cultivares tiveram queda em seus valores de IAF ao final de seus ciclos, fato comum dada a proximidade da maturação e o acúmulo de doenças foliares (mantidas as condições sanitárias esse índice deveria se manter por mais tempo, dada a natureza indeterminada da planta de amendoim).



**Figura 1.** (A) Variação do índice de área foliar dos cultivares IAC TATU ST e IAC 886 ao longo de seu ciclo de cultivo. (B) Matéria seca acumulada durante o ciclo dos cultivares IAC TATU ST e IAC 886.

Comportamento semelhante pode ser observado no que diz respeito ao acúmulo de matéria seca (ver Figura 2). O cultivar IAC TATU ST apresentou maior acúmulo de matéria seca maior que o cultivar IAC 886 até os 105 dias. A partir desse ponto o cultivar IAC 886 teve maior produção de matéria seca e terminou seu ciclo com maior produtividade que o cultivar IAC TATU ST. A taxa de crescimento do cultivar IAC TATU ST (entendido como a inclinação da curva de crescimento) foi maior até os 80 dias. Após esse período seu desenvolvimento se tornou menos intenso do que o outro cultivar estudado.

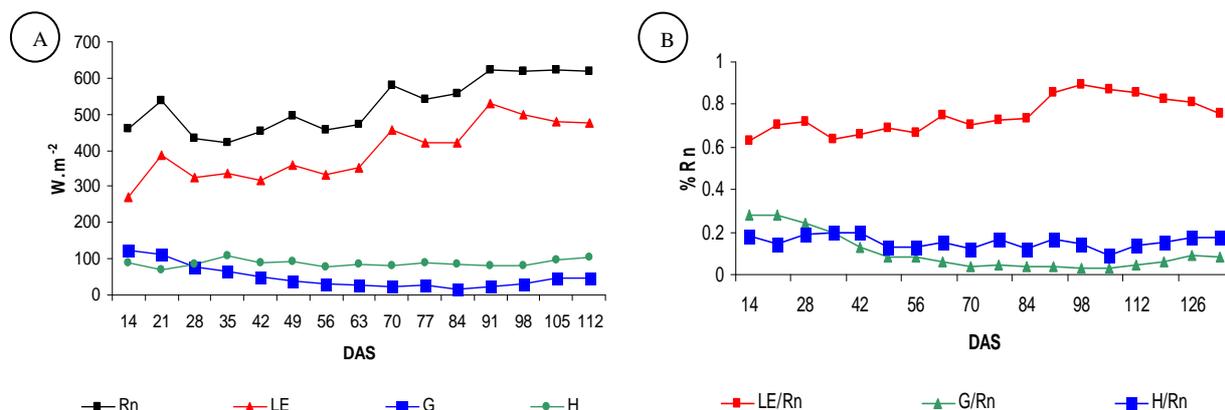
A variação sazonal dos fluxos de energia observados no cultivar de amendoim IAC 886 é apresentada nas Figuras 1A e 1B. Nesse caso, pode-se perceber que a maior parte de Rn foi consumido por LE, seguido por H e G.



**Figura 1.** Variações sazonais dos (A) fluxos de energia e (B) da partição de Rn (em LE, G e H) observados para o cultivar de amendoim IAC 886.

Os maiores valores de LE foram verificados a partir dos 80 dias com o valor máximo de LE sendo alcançado em torno dos 100 dias (cerca de 89% de Rn). Em contrapartida os menores valores (em torno de 61% de Rn) foram observados no início do ciclo, quando o índice de área foliar (IAF) era pequeno. Essa maior demanda de Rn para LE coincide com os maiores valores de área foliar, ou seja, com a maior superfície evaporativa Rn passou a ser utilizado em maior escala para evaporar água. Convertido em  $\text{mm.dia}^{-1}$ , o valor de LE médio pra o ciclo foi de 5,9 para o cultivar IAC 886, valor próximo aos 6  $\text{mm.dia}^{-1}$  obtidos por MCALISTER (2003). Os valores de G foram maiores no início e no fim do ciclo, quando o IAF era menor e, ao cobrir menos o solo, a planta de amendoim permitiu que uma fração maior de Rn fosse utilizado para o aquecimento do solo (em torno de 28% de Rn). Os valores máximos de H também foram observados no início do ciclo, pois o solo aquecido transferiu calor com maior intensidade para o ar e, assim, os valores de H foram maiores (em torno de 21% de Rn). Dessa forma, percebe-se que o fracionamento do Rn não foi constante durante o cultivo, ou seja, os valores das relações LE/Rn, G/Rn e H/Rn oscilaram durante o cultivo (ver Figura 1B). Em média, os valores das relações LE/Rn, G/Rn e H/Rn foram respectivamente: 76%, 9% e 15%. Comportamento semelhante foi observado para o cultivar IAC TATU ST. Todavia, devido ao ciclo diferenciado das cultivares o momento em que os valores de LE, G e H alcançaram valores extremos foi diferente. No caso de LE os maiores valores foram observados próximo aos 90 dias e alcançaram valores menores (em torno de 85% de Rn) quando comparados ao cultivar IAC 886. Esses valores podem ser explicados pelo menor IAF obtido por esse cultivar o qual ocorreu em torno dos 90 dias, mas foi menor do que o do cultivar IAC 886. Convertido em  $\text{mm.dia}^{-1}$ , o valor de LE médio pra o ciclo foi de 5,8 para o cultivar IAC TATU ST. Os valores de G e H seguiram o mesmo padrão observado para o cultivar IAC 886. Embora também tenham sido maiores no início os valores de G e H diminuíram antes do que os medidos no cultivar IAC 886. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que o ritmo de crescimento mais acelerado do cultivar IAC TATU ST no início do ciclo permitiu cobertura do solo mais cedo do que outro cultivar estudado. Dessa forma, os valores de G e H decresceram antes do que os observados para o IAC 886. Entretanto, não houve diferenças nos valores médios (do ciclo) do fracionamento do Rn em LE, G e H (ver Figura r). Em

média, os valores das relações LE/Rn, G/Rn e H/Rn foram idênticos aos do cultivar IAC 886: 76%, 9% e 15%, respectivamente.



**Figura 2.** Variações sazonais dos (A) fluxos de energia e (B) da partição de Rn (em LE, G e H) observados para o cultivar de amendoim IAC TATU ST.

**CONCLUSÕES:** O presente trabalho permite concluir:

1. Os valores de LE, G e H variam durante o ciclo da cultura, acompanhando o desenvolvimento vegetativo dos cultivares;
2. A maior parte do Rn é utilizado no fluxo de LE, alcançando valores maiores no momento de máximo IAF;
3. O método da razão de Bowen propicia medidas de evapotranspiração da cultura do amendoim condizentes com a literatura.

#### AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)  
Em memória do Prof. Dr. Clóvis Alberto Volpe

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma, FAO-56, p. 300, 1998.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, New York, v.27, p.779-787, 1926.
- MCALISTER, F., R.D. BAKER; R. G. TAYLOR. 2003. Peanut Production Guide. New Mexico State University. Online posting. Disponível em: [http://www.cahe.nmsu.edu/pubs/\\_h/h-648.html](http://www.cahe.nmsu.edu/pubs/_h/h-648.html) Guide H-468. Acesso em 11 Maio de 2007.
- VILLA NOVA N. A. & SCARDUA R. O uso do método climatológico na determinação das necessidades de irrigação. Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1984. 20p. (Boletim Técnico, v.2, n.2).
- TEIXEIRA, A.H.C.; BASSOI, L.H.; COSTA, W.P.L.B.; MOURA E SILVA, J.A.; SILVA, E.E.G. Consumo hídrico da bananeira no Vale São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v.10, n.1, p.45-50, 2002.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO FILHO, M.A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.839-44, 2001.

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