

## METODO DE BALANÇO DE CALOR CAULINAR PARA ESTIMATIVA DE TRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS JOVENS DE LARANJA

L. de M. Velame<sup>1</sup> M. A. Coelho Filho<sup>2</sup>; W. de A. Ferraz; E. F. Coelho<sup>3</sup>

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo avaliar o método de balanço de calor (MBC) em plantas jovens de laranja em ambiente protegido. O trabalho foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura localizada em Cruz das Almas –BA. Foram realizadas medidas de fluxo de seiva pelo MBC em 3 plantas de laranja em vasos de 15 e 50 litros. Dois destes instalados sobre plataformas de pesagem de 45 e 140 kg, funcionando assim como lisímetros de pesagem. Foi mantido um lençol freático constante a fim de garantir transpiração potencial da planta em outro vaso de 15 litros. Os valores de fluxo de seiva foram comparados com a transpiração medida pelos lisímetros em escalas de 10 minutos, 1 h, 2 h, 4 h e 24 h. Os resultados demonstraram que o MBC estimou a transpiração diária de forma precisa subestimando em média 5,2% a transpiração quando esta ocorre em condições de boa disponibilidade de água no solo. Em condições de déficit hídrico a precisão diminui e acentua-se a tendência de subestimar a transpiração (21%).

**Palavras chave:** fluxo de seiva, lisímetros, citrus, método do balanço de calor.

## STEM HEAT BALANCE METHOD FOR ESTIMATING YOUNG ORANGE PLANT TRANSPIRATION

**SUMMARY:** The work had as objective to evaluate the heat balance method (MBC) for orange young trees in a greenhouse condition. The work was carried at Embrapa Cassava and Fruits, in Cruz das Almas, BA. Sap flow measurements were obtained by MBC method in three orange plants on 15 and 50-liter pot. Two of these pots were settled over a weight frame of 45 and 140 kg, working as weight lysimeters. A steady water table was maintained in order to guarantee potential transpiration in another pot of 15 liters. The sap flow values were compared to the transpiration ones which were measured by the lysimeters in a 10-minute, 1 h, 2 h, 4 h and 24 h scale. The results showed that MBC estimated daily transpiration precisely underestimated the transpiration 5.2% in average when under conditions of good soil water availability. The accuracy reduced under drought conditions and the tendency for underestimation of transpiration increased (21%).

**Key words:** sap flow, lysimeters, citrus, heat balance method.

## INTRODUÇÃO

O aumento dos conflitos de setores que utilizam os recursos hídricos disponíveis, a iminente cobrança pelo uso de água e as exigências do mercado por produtos certificados, decorrentes de uma atividade agrícola sustentável, incorporada no sistema de produção integrada de frutas – PIF, tem aumentado a importância da irrigação localizada. Com esse sistema de irrigação, o volume de água aplicado é reduzido e restrito a uma pequena parcela de solo, reduzindo-se as perdas de água por evaporação e drenagem, tornando a transpiração o principal elemento a ser determinado para o manejo de água em pomares (Coelho Filho, 2003).

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando UFBA, bolsista Capes.

<sup>2</sup> Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Bolsista RD CNPq, Rua Embrapa s/n Caixa Postal 07. e-mail: macoelho@cnpmf.embrapa.br.

<sup>3</sup> Embrapa Mandioca e Fruticultura, Bolsista CNPq. E-mail:ecoelho@cnpmf.embrapa.br.

Atualmente, a grande parte dos estudos sobre medidas de transpiração de plantas, principalmente em frutíferas lenhosas, são com base em metodologias de fornecimento de calor no tronco. Sensores são fixados ou inseridos nos troncos ou ramos de plantas para medição do fluxo de seiva, que no período de 24 horas tem demonstrado grande aproximação com a transpiração (Coelho Filho, 2005). Na determinação do fluxo de seiva (transpiração), têm sido utilizados métodos com base no fornecimento de pulsos de calor ao tronco (Swanson, 1994), no fornecimento “contínuo” de calor ao tronco, como no método da sonda de dissipação térmica (Granier, 1985) e no método de balanço de calor (Sakuratani, 1981). O método de balanço de calor apresenta a vantagem de não necessitar de calibração, por ser um método “absoluto”, enquanto que os outros dois, por medirem, em princípio, a velocidade da seiva, exigem a determinação, da área efetiva do xilema para o transporte hídrico, de modo a se transformar a densidade de fluxo de seiva em fluxo de seiva. Esses métodos se destacam por serem não destrutivos e permitirem o estudo simultâneo da transpiração em muitas plantas em nível de campo.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o método de balanço de calor em plantas jovens de laranja em ambiente protegido

### MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na EMBRAPA Mandioca e Fruticultura localizada em Cruz das Almas (12°40'S, 39°30'W), Bahia nos meses de abril e maio de 2005. Foram utilizadas nesse estudo plantas cítricas de laranja plantadas em vaso de 15 e 50 litros em telado coberto. Os vasos foram instalados sobre duas plataformas de pesagem de capacidade de 45 kg e 140 kg funcionando assim como lisímetros de pesagem. Em outro vaso de 15 litros foi mantido um lençol freático constante a fim de se garantir condições para que uma das plantas transpirasse potencialmente. A superfície do solo de todos os vasos foi coberta com lona plástica a fim de evitar perda de água por evaporação.

Sensores comerciais de balanço de calor (modelos SGB9, SGA16 e SGA13; Dynamax Inc.) foram instalados nas 3 plantas. Os sensores e os lisímetros foram conectados a um sistema de aquisição de dados formado por um “datalogger” CR10X acoplado a um multiplexador AM 416 (Campbell Sci.), programado para realizar leituras a cada 10 segundos e armazenar a média dos dados a cada 10 minutos. Na figura 1 temos os detalhes da instalação de um sensor na planta contida no vaso de 15 litros e o detalhe da plataforma de pesagem.

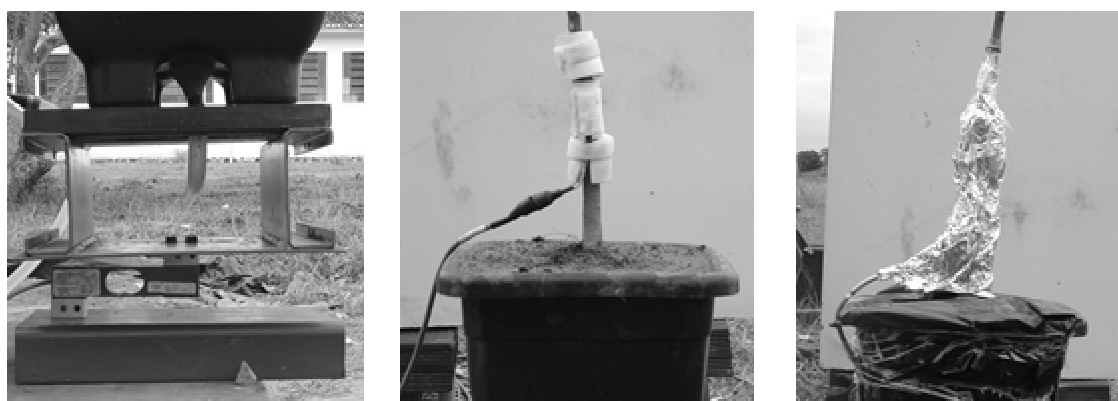


Figura 1. Detalhe da plataforma de pesagem de 45kg e instalação de um sensor de balanço de calor caulinar

As estimativas da área foliares (AF) foram feitas semanalmente por medição do maior comprimento (C) e largura (L) de 10% do total das folhas que foram contadas. A área foliar foi calculada de acordo com a expressão  $AF = 0,72 \cdot C \cdot L$  (Coelho Filho et al, 2003).

Monitorou-se o potencial matricial do solo por meio de tensiômetros. Inicialmente as plantas foram irrigadas buscando-se deixar o solo em capacidade de campo. Depois de um período foi cessada a irrigação para observar o comportamento do sensor em condições de déficit hídrico. Quando o potencial matricial das plantas foi inferior a  $-80$  kPa a irrigação foi retomada.

O fluxo de seiva foi estimado segundo o método de balanço de calor (Sakuratani, 1981; Baker & Van Bavel, 1987) pela equação 1.

$$F = \frac{P_{in} - Q_v - Q_r}{c_p - \Delta T} \quad (1)$$

Por esse método o calor fornecido ao tronco ( $P_{in}$ ) é repartido no segmento de caule amostrado em fluxos de calor (W) conduzidos pelo caule acima e abaixo do volume de controle ( $Q_v$ ) e o fluxo de calor que sai radialmente através do sensor ( $Q_r$ ). Os fluxos axiais ( $Q_v$ ) foram estimados considerando-se a condutividade térmica do caule ( $0,42 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) e os gradientes térmicos nas extremidades de segmento de caule amostrados, estes foram medidos com termopares posicionados acima e abaixo da secção aquecida e em contato com o caule. Os fluxos radiais ( $Q_r$ ) foram estimados a partir do conhecimento da condutividade térmica do substrato de cortiça ( $K_{sh}$ ) do qual é constituído o fluxímetro radial e da diferença de temperatura adjacente ao elemento aquecedor e da superfície externa da cortiça, calculada com uma termopilha com junções alternadas (fluxímetro), anexada ao aquecedor. O fluxo de seiva foi obtido dividindo-se o calor residual pelo calor específico da seiva ( $c_p = 4,186 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) e pela diferença de temperatura da seiva entre o limite superior e inferior do segmento aquecido ( $\Delta T$ ). Os valores de  $K_{sh}$  foram calculados diariamente tomando-se a média do período de 4 a 5 horas. Os valores de fluxo de seiva obtidos foram comparados com a transpiração medida pelos lisímetros em escalas de 10 minutos, 1 h, 2 h, 4 h e 24 h.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os resultados de área foliar das plantas em estudo. As plantas possuíam áreas foliares bem diferentes, além disso, esta variável sofreu modificações ao longo do tempo de forma diferenciada em cada planta.

Tabela 2. Área foliar das plantas 1, 2 e 3 correspondendo as plantadas em lisímetros de 15 e 50 litros e a mantida em vaso de 15 litros com lençol freático constante.

Dia Juliano	Área Foliar ( $\text{m}^2$ )		
	Planta 1	Planta 2	Planta 3
98	0,333	0,398	0,213
105	0,323	0,390	0,257
119	0,343	0,985	0,179
126	0,319	0,979	0,154
133	0,258	0,919	0,110
140	0,260	0,718	0,116

A Figura 2 mostra a correlação entre a transpiração por unidade de área foliar medida nos lisímetros de pesagem e o fluxo de seiva obtido pelo método do balanço de calor caulinar (MBC) das plantas. Observa-se que quanto maior o intervalo de tempo utilizado para as comparações maior é a concordância entre os dois métodos. Tendência esta

também verificada por Coelho Filho et al (2005) com plantas de lima ácida ‘Tahiti’ em nível de campo. Esse autor atribuiu esta tendência à elevada variabilidade pontual das medidas de transpiração nos lisímetros em seu estudo, devido ação do vento e rugosidade da planta. No caso do presente estudo não se observou este comportamento em medidas na escala de 1 hora, como pode ser observado na Figura 3. Uma possível explicação do aumento da correlação com o intervalo de tempo utilizado é a anulação da variabilidade das medidas de ambos equipamentos em torno de um ponto médio quando se faz a integração dos dados com maior número de pontos.

Existiu a ligeira tendência do MBC subestimar os valores de transpiração. As diferenças das transpirações ( $L\ m^{-2}$  folha) ocorridas entre plantas sob os lisímetros foram pequenas levando-se em consideração as diferenças entre os sistemas e os erros envolvidos na estimativa da área foliar.

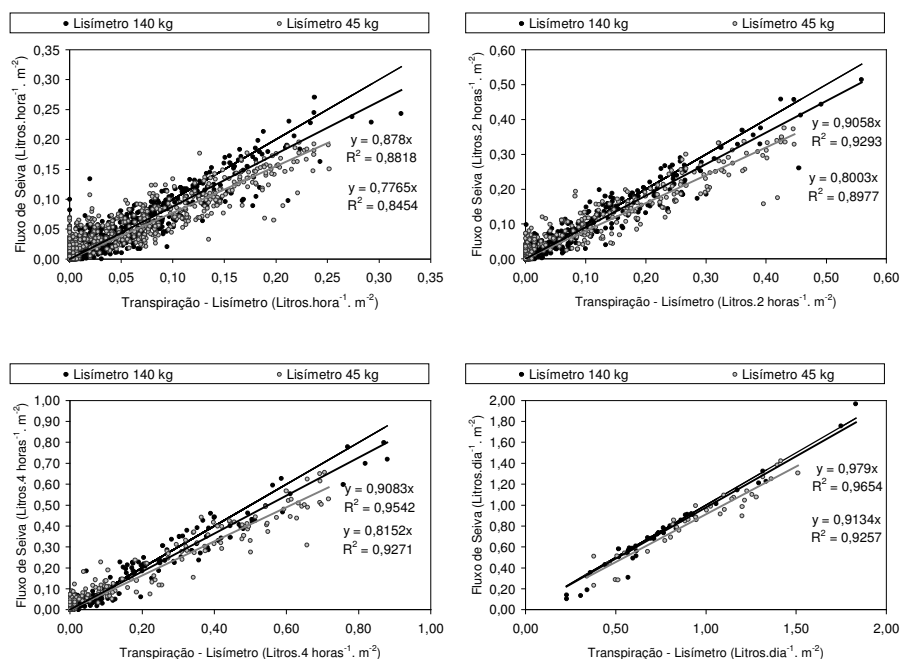


Figura 2. Relação entre o fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor (litros.m<sup>2</sup> de folha) em plantas de laranja e a transpiração medida em dois lisímetros de pesagem (litros.m<sup>2</sup> de folha) em períodos de 1,2,4 e 24 horas

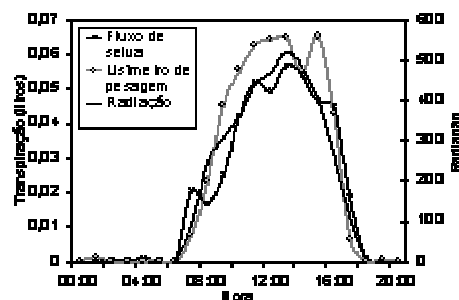


Figura 3. Curso da transpiração medida em lisímetro de pesagem e do fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor no caule.

A Figura 4 mostra a correlação entre as determinações de fluxo de seiva e as medidas de transpiração pelos lisímetros de 45 e 140 kg. O método apresentou boa precisão, entretanto observa-se que em ambos lisímetros o método de balanço de calor tende a subestimar a transpiração (5,2%). Em condições de déficit hídrico a precisão

diminui e acentua-se a tendência de subestimar a transpiração (21%). Os erros absolutos neste caso são pequenos visto que nessas condições a transpiração não é potencial.

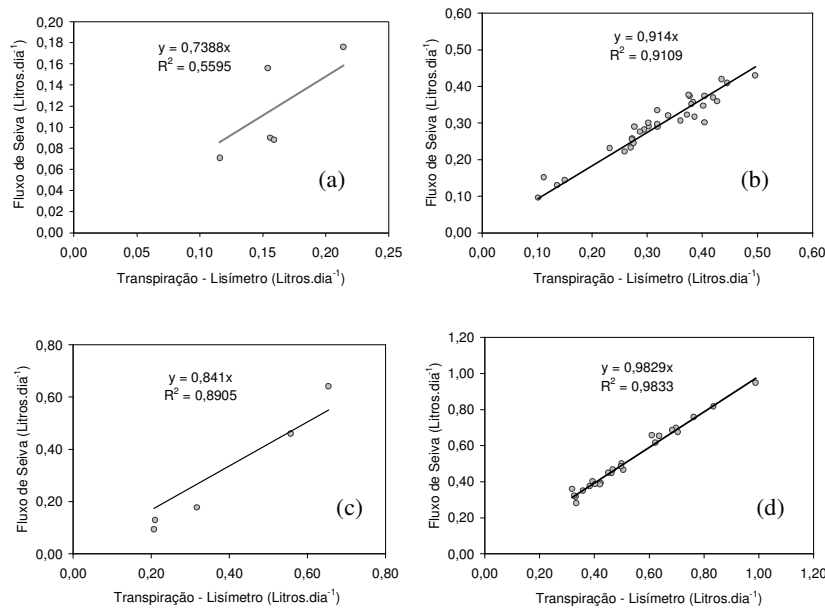


Figura 4. Relação entre o fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor em plantas de laranja e transpiração medida com lisímetro de pesagem de 45 kg em condição de déficit (a) e suprimento hídrico adequado (b). e transpiração medida com lisímetro de pesagem de 140 kg também em condição de déficit (c) e suprimento hídrico adequado (d)

A tendência do fluxo de seiva subestimar a transpiração, nos casos de elevados déficits hídricos no solo, pode ser explicada em função de estar existindo perda de água da planta para a atmosfera sem a devida reposição pelo solo (balanço negativo de água na planta). Isso promove a redução da massa medida pelo lisímetro, porém sem detecção pelo MBC. Esse comportamento pode ser verificado pela Figura 5, quando as transpirações acumuladas (Litros.m<sup>2</sup>) são mais elevadas quando determinadas pela lisimetria. Na mesma figura, observa-se que após um evento de irrigação, quando o potencial matricial do solo estava no patamar de -80 kPa, a transpiração foi inferior no começo do dia comparada aos valores de fluxo de seiva, provavelmente devido a reposição da água para os tecidos vegetais. Ao final do dia as transpirações acumuladas foram parecidas, o que não ocorria anteriormente.

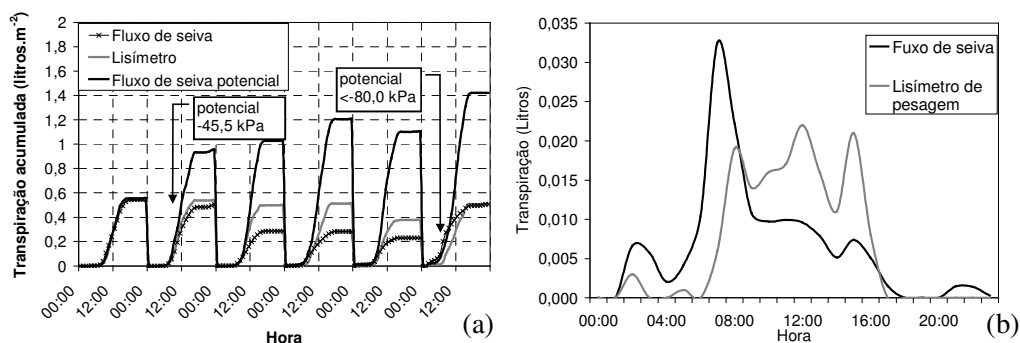


Figura 5. Transpiração por unidade de área foliar acumulada potencial em planta de laranja e com solo em processo de secamento medidas por fluxo de seiva e lisímetro de

pesagem(a) e curso da transpiração medida em lisímetro de pesagem e do fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor no caule após irrigação (b).

A Figura 6 mostra a relação entre a radiação global e as estimativas da transpiração por unidade foliar ( $\text{Litros.m}^{-2}$ ) das três plantas em estudo. Observa-se uma boa correlação demonstrando a precisão do método quando em condições de boa disponibilidade de água.

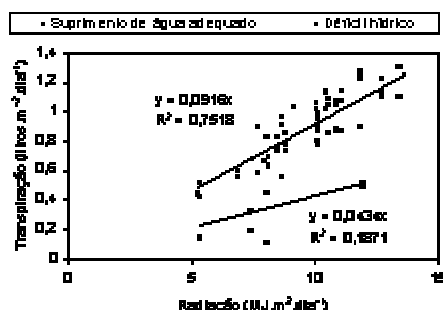


Figura 6. Relação entre o fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor em plantas de laranja e radiação global em condição de déficit e suprimento hídrico adequado.

## CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que o MBC estimou a transpiração diária de forma precisa subestimando em média 5,2% a transpiração quando esta ocorre em condições de boa disponibilidade de água no solo. A transpiração diária por área foliar apresentou boa correlação com a radiação global

Em condições de déficit hídrico a precisão diminui e acentua-se a tendência de subestimar a transpiração (21%).

## LITERATURA CITADA

- BAKER, J.M.; VAN BAVEL, C.H.M. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. **Plant, Cell and Environment**, v.10, p.77-782, 1987.
- COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M.V.; BERNARDES, M.S. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. **Scientia Agrícola**, v.62, n.3, p.240-247, 2005.
- COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; COELHO, E.F. Avaliação de métodos diretos e indiretos na estimativa de área foliar em árvores de lima ácida 'Tahiti'. (compact disc) In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13, Juazeiro, 2003, **Anais**. Juazeiro: ABID, 2003b. (CD-Rom).
- GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, v. 42, p. 193-200, 1985.
- SAKURATANI, T.A. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, v.37, n.1, p.9-17, 1981.