



Transpiração em mangueira pelo método Granier

Lucas M. Vellame¹, Maurício A. Coelho Filho² & Vital P. S. Paz³

RESUMO

Objetivou-se, com esse trabalho avaliar o método Granier (sonda de dissipação térmica) para a cultura da manga quanto à viabilidade de uso em condições de campo e ajustar a equação de determinação do fluxo de seiva com base em medidas lisimétricas, iniciando-se com três mudas da variedade Tommy Atkins, plantadas em vasos que, colocados sobre plataforma de pesagem, funcionaram como lisímetros. A área condutora do caule (AS) foi determinada por meio da aplicação de corantes. Medidas de transpiração por lisimetria nas plantas foram realizadas em vaso e estimativas do fluxo de seiva com sonda de dissipação térmica (SDT). Em um ramo de planta adulta foram instaladas uma sonda de dissipação térmica e um sensor de balanço de calor caulinar. Os resultados demonstraram que, usando os coeficientes originais da equação de Granier, o método subestima em 31% o fluxo de seiva (FS) diário em relação à transpiração medida pelos lisímetros; modificando os parâmetros empíricos da equação $FS = 0,00017k^{1,231}AS$ o desvio médio apresentado foi de -1,4%, com boa precisão ($R^2 = 0,89$). O método da SDT e balanço de calor caulinar apresentaram boa concordância entre os valores.

Palavras-chave: dissipação térmica, fluxo de seiva, gradientes térmicos, xilema, *Mangifera indica* L.

Transpiration in mango using Granier method

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate Granier's method (heat dissipation probe) for mango crop and to determine the viability of its use under field conditions and to adjust the equation of sap flow (SF) on the basis of lysimeter measurements. The work started with three seedlings of the variety Tommy Atkins cultivated in recipients that were placed on a weighing platforms which functioned as lysimeters. The sapwood area (SA) was determined through pigment application. Transpiration measurement by lysimeter were conducted in recipients and sap flow estimates with heat dissipation probe (HDP). This probe and a stem heat balance sensor were installed in one branch of the adult plant. The results showed that, using original coefficients of Granier's equation, the method underestimated sap flow by 31% daily in relation to the transpiration. Modifying empirical parameters of equation $SF = 0.00017k^{1.231}SA$, the mean error was of -1.4% with good precision ($R^2 = 0.89$). HDP and stem heat balance method showed good agreement.

Key words: heat dissipation, sap flow, thermal gradients, xylem, *Mangifera indica* L.

¹ Doutorando em Irrigação e Drenagem ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, CP 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone: (19) 3447-8551. E-mail: lucasvellame@gmail.com

² Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. Fone: (75) 3621-8021. E-mail: macoelho@cnpmf.embrapa.br

³ CCAAB/UFRB, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. Fone: (75) 3621-5540. E-mail: vpspaz@gmail.com

INTRODUÇÃO

A transpiração é o principal elemento da evapotranspiração ao se trabalhar com irrigação localizada, em que a água é aplicada apenas em parte do solo. Grande parte dos estudos sobre medidas de transpiração de plantas, principalmente em frutíferas lenhosas, se baseia em metodologias de fornecimento de calor no tronco. A estimativa da transpiração com base nessas metodologias pressupõe a equivalência entre o fluxo de seiva no tronco e o fluxo transpiratório nas superfícies foliares, pressuposto válido quando se considera o fluxo em escala diária (Coelho Filho et al., 2005; Delgado-Rojas et al., 2007; Lu et al., 2002; Weibel & Vos, 1994).

O método da sonda de dissipação térmica, desenvolvido por Granier (1985) permite a determinação da densidade de fluxo de seiva no caule possibilitando, assim, a estimativa do fluxo de seiva em plantas lenhosas. O autor relacionou a velocidade de dissipação de calor aplicado pontualmente no tronco, com a densidade de fluxo de seiva. A variação temporal da diferença de temperatura entre este ponto e um ponto abaixo do mesmo, é ocasionada pelo transporte convectivo de calor pela seiva.

Granier (1985) calibrou o método em laboratório, primeiro com três espécies de plantas lenhosas e, posteriormente, com outras seis, verificando que uma única equação de calibração pode ser utilizada em plantas lenhosas com diâmetro de caule superior a 4 cm.

A determinação da área condutora de seiva no caule (área efetiva do xilema) se faz necessária para a estimativa do fluxo de seiva por este método, já que a sonda de dissipação térmica determina a densidade de fluxo no local de inserção da sonda. A determinação da área efetiva do xilema é uma fonte de erro do método e, ao exigir a retirada de uma amostra do lenho ou a destruição total da planta, torna-se um procedimento desvantajoso do método Granier em relação ao método mais difundido (balanço de calor). Outra fonte de erro pode ser atribuída ao gradiente térmico natural da temperatura no caule, principalmente quando o sensor é colocado muito próximo ao solo. Este gradiente ocorre pelo efeito da radiação e da temperatura do ar e do solo atuando no caule, afetando o valor da medida térmica da sonda que, por sua vez, acaba afetando, significativamente, a estimativa do fluxo de seiva (Delgado-Rojas, 2003). Entretanto, em estudos com seringueira, Delgado-Rojas et al. (2006) concluem que não houve necessidade de compensar o erro ocasionado pelo gradiente térmico.

O método da sonda de dissipação térmica é simples e, comparado ao método do balanço de calor, apresenta as vantagens de possuir maior simplicidade na construção dos sensores, menor custo e necessidade de um número menor de canais diferenciais para medição, viabilizando a tomada de um número maior de dados em trabalhos no campo. Essas características o tornam muito promissor em trabalhos básicos e aplicados em fruteiras tropicais perenes, como a cultura da manga viabilizando, objetivamente, estudos interdisciplinares que integram o sistema solo-planta-atmosfera.

Tem-se utilizado a densidade de fluxo de seiva para estimativa da transpiração de grandes áreas vegetadas, com base

em várias técnicas de integração (Wullshleger & King, 2000; Zhao et al., 2006). O fluxo de seiva também tem sido utilizado na investigação de efeitos ambientais na variação da transpiração, como em estresse hídrico (Yin et al., 2004; Gomide et al., 2005; Costa et al., 2007) e fitossanidade (Machado et al., 2006). Apesar de empregado em larga escala, verifica-se que a avaliação da precisão e da exatidão do método não está suficientemente documentada.

Em um estudo comparativo com medidas lisimétricas em manga, Lu & Chacko (1998) encontraram boa concordância entre os valores de transpiração e o fluxo de seiva em escala diária pelo método da sonda de dissipação térmica. Delgado-Rojas (2003), também baseado em medidas lisimétricas em citrus, concluiu que o método pode ser aplicado com boa exatidão desde que os efeitos dos gradientes térmicos naturais no caule sejam corrigidos. Silva et al. (2004) ajustaram uma equação com os dados obtidos por gravimetria e pela sonda de dissipação térmica em plantas de kiwi, obtendo boa correlação. A transpiração calculada por métodos micrometeorológicos e a estimada por fluxo de seiva em espécies florestais com o método da sonda de dissipação térmica apresentaram boa correlação no trabalho de Saugier et al. (1997). Ferreira & Silvestre (2004) relacionaram o fluxo de seiva em vinha com a evapotranspiração pelo método da covariância de fluxos turbulentos (eddy covariance) encontrando resultados semelhantes.

Neste trabalho se propôs avaliar o método da sonda de dissipação térmica para a cultura da manga quanto à viabilidade de uso em condições de campo e ajustar a equação de determinação do fluxo de seiva, com base em medidas lisimétricas em plantas de pequeno porte.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, localizada no município de Cruz das Almas, BA (12° 48' S; 39° 06' W; 225 m). O clima da região é classificado como úmido a subúmido com pluviosidade média anual de 1.143 mm (D'Angiolella et al., 1998).

O estudo foi realizado em plantas de manga da variedade Tommy Atkins, em duas condições:

a) Em plantas em fase inicial de desenvolvimento, em vasos de 15 e 50 L que, colocados sobre plataformas de pesagem, funcionaram como lisímetros. O estudo foi realizado em telado coberto no período de 3 a 7 de dezembro de 2005 e em campo, entre os dias 26 e 31 de março de 2006.

b) Em planta adulta de um pomar de idade de 30 meses, com plantas espaçadas 6 x 7 m, em desenvolvimento uniforme. A coleta de dados ocorreu no período de no período de 13 a 23 de março de 2006 e de 27 de agosto a 6 de setembro de 2006.

Determinaram-se as áreas foliares (AF) das plantas medindo-se o maior comprimento (C) e largura (L) de 10% do total das folhas, a área foliar foi calculada de acordo com a Eq. 1 (Oliveira, 2005).

$$AF = 0,5646.C.L + 4,7508 \quad (1)$$

Lisímetros para estudo com plantas de pequeno porte

Plataformas de pesagem foram constituídas com células de carga com capacidades de 45, 50 e 140 kg, centralizadas entre duas chapas de aço com dimensões 30 x 30 cm; utilizou-se um sistema de aquisição de dados “datalogger CR10X” para leitura e armazenamento das informações de pesagem dos vasos que funcionaram como lisímetros; enfim, a Figura 1 representa a plataforma e o procedimento de calibração.

Para calibração dos lisímetros de pesagem confeccionaram-se massas de peso conhecido utilizando-se balança analítica; as massas foram aplicadas em ordem crescente e decrescente em quatro ciclos de leitura (Figura 1). Obtiveram-se os erros apresentados na Tabela 1 segundo metodologia aplicada por Santos et al. (2006). Esses erros estão em valores adequados ao estudo, dado à sua pequena magnitude e pela redução do erro de repetibilidade quando tomadas médias a cada 10 min. Para que os lisímetros medissem apenas a transpiração, a superfície do solo foi coberta com lona plástica evitando perdas de água por evaporação durante as medições.



Figura 1. Plataforma de pesagem e calibração do lisímetro

Tabela 1. Erros dos lisímetros de pesagem

	Erro (g)		
	Lisímetro 45 kg	Lisímetro 50 kg	Lisímetro 140 kg
Erro máximo absoluto	6,53	7,21	44,65
Repetibilidade	10,31	12,00	58,36
Linearidade	2,52	3,20	17,74
Histerese	8,84	9,80	21,46

Princípio de funcionamento da sonda de dissipação térmica (SDT)

Cada sensor é composto de uma sonda aquecida a potência constante de 0,1 W, por centímetro de comprimento do sensor e por uma sonda não aquecida (sonda de referência) as quais possuem, internamente, um termopar.

A Figura 2 mostra o processo de instalação das sondas no caule da planta para medida da diferença de temperatura entre os pontos.

Granier (1985) desenvolveu uma relação empírica (k) entre a densidade de fluxo de seiva (J_s) e a diferença de tem-

peratura (DT) entre as duas sondas, equação esta que foi validada para algumas espécies, na maioria florestais.

A equação é dada por:

$$k = \frac{(DT_m - DT)}{DT} = 0,0206 J_s^{0,8124} \quad (2)$$

em que DT_m é a diferença de temperatura entre as duas sondas, na situação de fluxo nulo ($^{\circ}C$).

O fluxo de seiva (F) é calculado considerando-se a área da secção efetiva do xilema que conduz a seiva bruta (AS), ou seja:

$$F = 0,00011899k^{1,231}AS \quad (3)$$

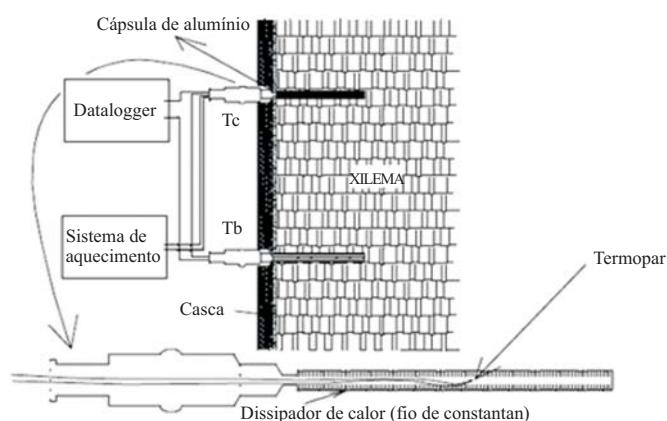


Figura 2. Esquema de medição do sensor de dissipação térmica (Delgado-Rojas, 2003)

Construção das sondas

No laboratório de Irrigação da Embrapa CNPMF, foram construídas sondas de 1, 2 e 3 cm de comprimento utilizando-se termopares de cobre-“constantan” de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas de diâmetro igual a 1,6 mm, preenchidas com resina para fixação (Figura 3).

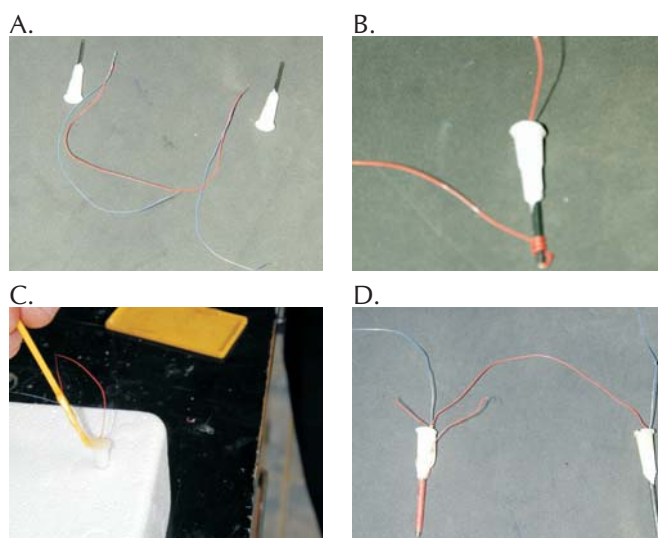


Figura 3. Termopares e agulhas utilizadas na construção das sondas de dissipação térmica (A). Fio de “constantan” sendo enrolado na agulha a ser aquecida (B). Preenchimento das agulhas com resina para fixação (C). Sondas prontas para uso (D)

O aquecimento da sonda superior ocorreu por meio do fio de “constantan”, enrolado na parte externa da agulha; para o aquecimento foram construídas 3 fontes de tensão ajustáveis com os elementos aquecedores conectados em série.

Mediu-se a resistência elétrica total das sondas – R (Ω) por meio de um multímetro e se calculou a tensão – V (V) a ser aplicada de acordo com a Eq. 4, derivada da lei de Ohm, de modo a se obter uma potência – P (W) em cada sonda de 0,1, 0,2 e 0,3 W, correspondentes às sondas de 1, 2 e 3 centímetros de comprimento, respectivamente.

$$V = \sqrt{PR} \quad (4)$$

Área efetiva do xilema e instalação da sonda

Como a aplicação do método da sonda de dissipação térmica para a estimativa do fluxo de seiva pressupõe o conhecimento da área condutora do caule, procedeu-se à sua determinação, através de método destrutivo com aplicação de corantes em troncos e ramos de diversos diâmetros (Figura 4). Com base nesses dados calculou-se a área condutora (AS) em função do diâmetro de caule (D) mediante a Eq. 5 (Vellame, 2007).

$$AS = 0,667D^2 - 0,006D \quad (5)$$

Os sensores foram instalados abaixo de uma camada externa não condutora (C) que varia com o diâmetro de caule pela Eq. 6 (Vellame, 2007).

$$C = 0,0625D \quad (6)$$



Figura 4. Secção de caule apresentando a parte condutora pigmentada e o posicionamento da sonda

Correção das diferenças térmicas naturais

A fim de se corrigir o efeito dos gradientes térmicos naturais no caule, mediram-se as diferenças térmicas com o sensor não aquecido em períodos distintos à medição de fluxo de seiva e se geraram modelos de estimativa, em função da temperatura do ar para cada sonda, individualmente. Os

dados coletados foram corrigidos posteriormente com base nesses modelos.

Diferenças térmicas entre sondas e transpiração nos lisímetros

Mediram-se as diferenças térmicas e se armazenaram as médias das leituras, a cada 10 min, em sistema de aquisição e armazenamento de dados (“datalogger” CR10X Campbell SCi.) associado a um multiplexador de canais (AM 416 Relay Multiplexer, Campbell SCi.) (Figura 5); além dessas variáveis foram medidas e registradas pelo sistema, a radiação solar global e a temperatura do ar. A temperatura do ar foi medida com um psicrômetro ventilado construído com termopares tipo “T” e a radiação solar com um piranômetro de silício (LI200S, Li-Cor); ambos os sensores foram instalados a 2 m de altura em relação ao solo.

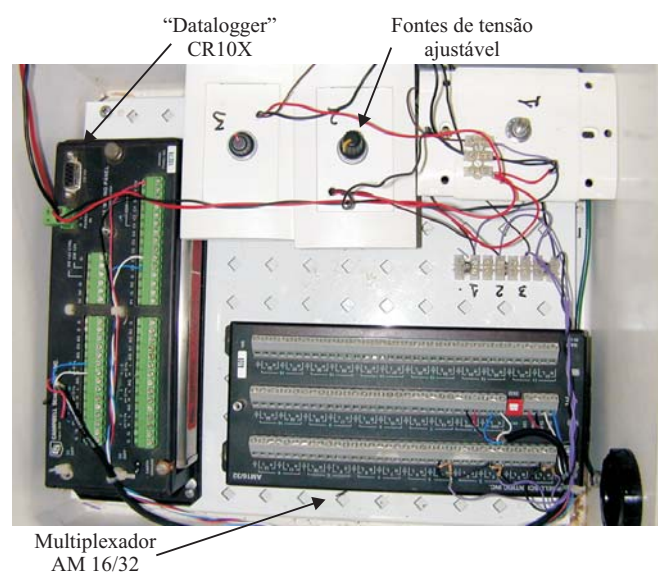


Figura 5. Sistema de aquisição de dados e fontes de tensão ajustáveis

Obteve-se a transpiração das plantas através da diferença de massa medida pelos lisímetros de pesagem, com registro no sistema de aquisição e armazenamento de dados, já citado; durante o experimento o solo foi mantido em capacidade de campo a fim de se obter a transpiração potencial. A irrigação foi realizada de forma manual repondo a água perdida a cada dois dias.

Aplicação do método Granier em plantas adultas

Em um pomar de manga com idade de 30 meses, com plantas espaçadas 6 x 7 m, em desenvolvimento uniforme, foram escolhidas 2 plantas consideradas representativas da área plantada. A irrigação do pomar se dá por gotejamento e, para garantir a obtenção da transpiração potencial, o solo foi mantido com umidade correspondente à capacidade de campo.

Em uma das plantas de área foliar de 50,7 m² uma sonda de 3 cm de comprimento foi instalada no tronco, com diâmetro de 10,3 cm, a 25 cm do solo e espaçadas 10 cm e, nos ramos principais de 5,45; 4,8; 6,98; 5,95 e 4,6 cm de diâmetro, sondas de 2 cm de comprimento; na outra planta, em

um ramo de 3,05 cm de diâmetro com área foliar de 3,39 m², instalou-se não apenas um sensor comercial de fluxo de seiva por balanço de calor (Dynamax SGA16), mas também uma sonda de 1 cm construída nessa pesquisa (Figura 6). As medidas de fluxo de seiva permitiram a comparação dos dados obtidos pela sonda de dissipação térmica e pelo método do balanço de calor.

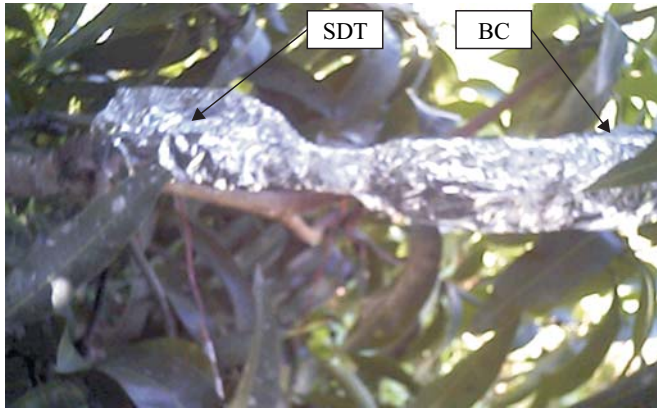


Figura 6. Instalação de uma sonda de dissipação térmica (SDT) e sensor por balanço de calor (BC) em um ramo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curso do fluxo de seiva, transpiração e radiação solar global

A Figura 7 apresenta dados da transpiração medida pelo lisímetro, do fluxo de seiva medido pela sonda de dissipação térmica e da radiação global ao longo de 4 dias com registros horários; observa-se que o fluxo de seiva estimado pela equação geral de Granier sem modificação dos parâmetros empíricos, subestima os valores de transpiração obtida com lisímetros, como pode ser observado através dos picos

dos valores de transpiração na Figura 7. Verifica-se que a defasagem entre o fluxo de seiva e a transpiração segue o curso da radiação solar, fato este detectado por vários autores (Weibel & Vos, 1994; Shackel et al., 1992). Nas primeiras horas da manhã ocorre transpiração da água armazenada nos tecidos vegetais e, ao final do dia, quando a transpiração tende a cessar, o fluxo de seiva continua a ocorrer a fim de repor a água dos tecidos perdida durante o dia.

Ajuste da equação de Granier para estimativa da transpiração em plantas em vaso

Apresentam-se, na Tabela 2, os valores dos coeficientes angulares (a) e de determinação (R²) de regressões lineares com intercepto forçado em zero, para medidas de fluxo de seiva (sonda de dissipação térmica) e transpiração (lisímetro) das plantas em diferentes tempos de integração; nota-se que, quanto maior o intervalo de tempo utilizado para as comparações maior é a concordância entre os dois métodos, o que pode ser explicado pela defasagem entre fluxo de seiva e transpiração, além da diminuição do efeito das variações nas leituras do lisímetro provocada, provavelmente, pela ação do vento.

Tabela 2. Coeficiente angular (a) e coeficiente de determinação (R²) de regressões lineares com intercepto forçado em zero (y = ax) das medidas de fluxo de seiva estimado pela sonda de dissipação térmica em função de medidas lisimétricas em plantas jovens de manga em diferentes tempos de integração

Tempo de integração (h)	a	R ² *
1	0,6001	0,7356
2	0,6238	0,7875
3	0,6242	0,8178
4	0,6503	0,8650
24	0,6876	0,8923

* Coeficientes significativos a 5% de probabilidade

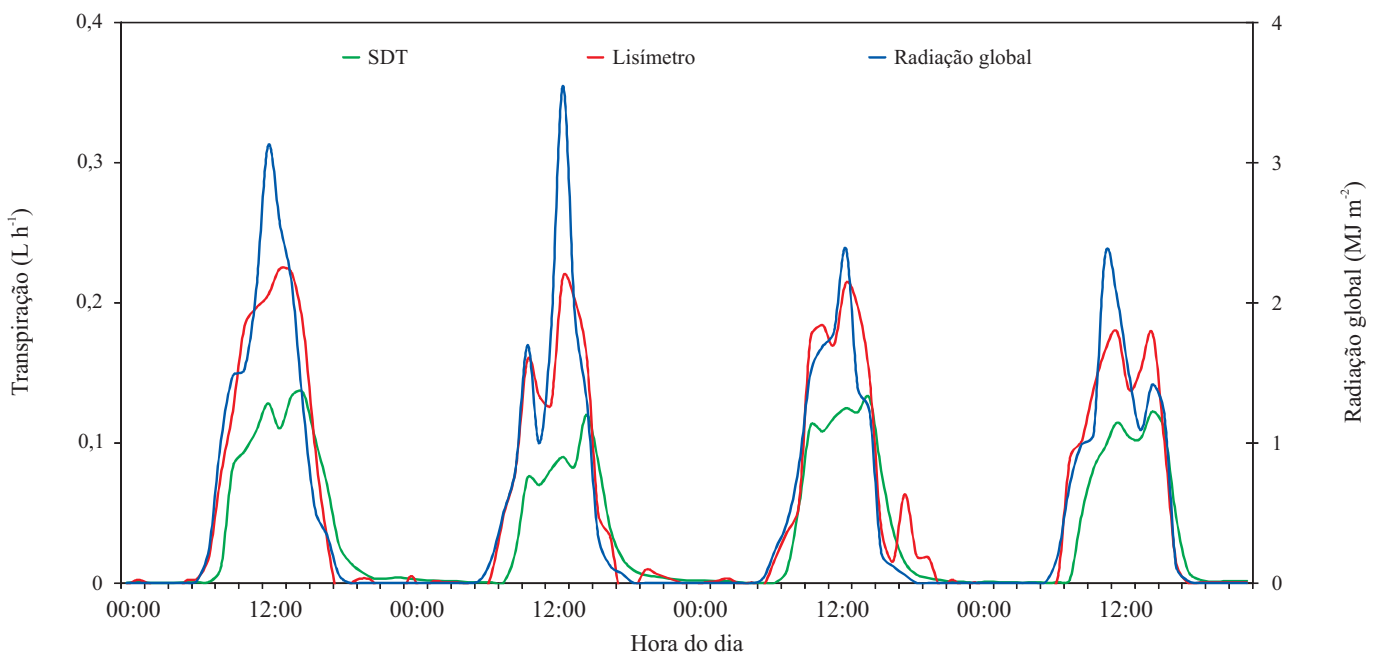


Figura 7. Transpiração medida por lisímetro, fluxo de seiva pela sonda de dissipação térmica e radiação solar global ao longo de 4 dias

A Figura 8 mostra a relação transpiração e fluxo de seiva em intervalos de 1 e 24 h; contata-se que o método da sonda de dissipação térmica, utilizando-se os coeficientes originais da equação de Granier (1985), subestimou em média 31% os valores de fluxo de seiva em escala diária.

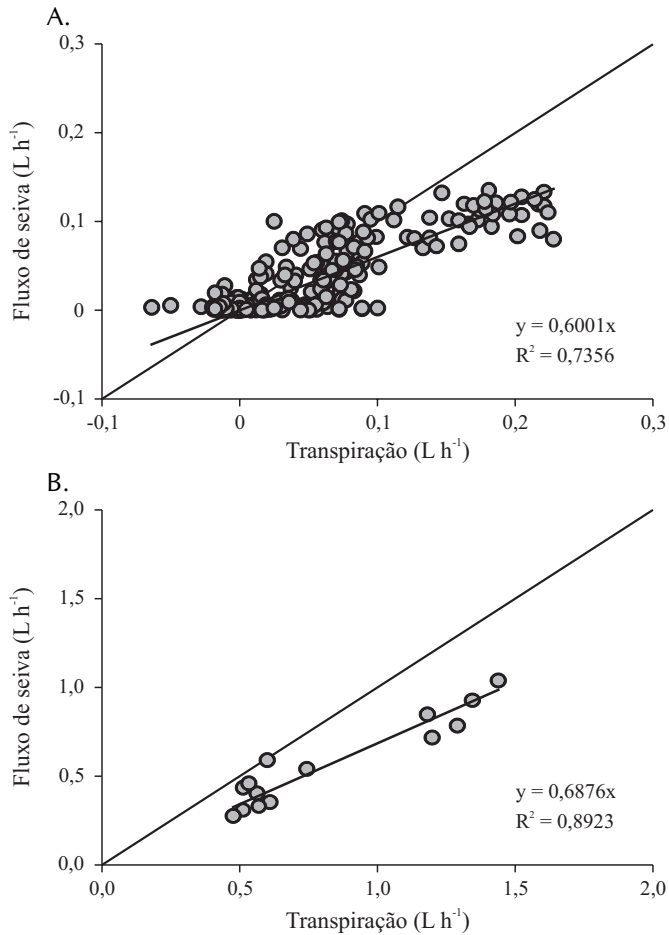


Figura 8. Relação entre transpiração medida pelo lisímetro e o fluxo de seiva pela equação geral de Granier em intervalos de (A) 1 e (B) 24 h, em plantas jovens de manga

Tendo em vista a defasagem entre fluxo de seiva e transpiração, optou-se por modificar os parâmetros empíricos da equação geral de Granier aproximando-se os valores em escala diária (Eq. 7):

$$FS = 0,00017k^{1,231}AS \quad (7)$$

O desvio médio entre o fluxo de seiva e a transpiração em escala diária no período estudado nas três plantas, foi de -1,4% quando se utilizou a Eq. 7.

Silva et al. (2004) verificaram, em plantas de kiwi, que a equação geral de Granier apresentou forte subestimativa dos valores de fluxo de seiva, sobretudo em condições de maior fluxo. Os autores ajustaram uma equação polinomial de 2º grau aos valores de k (Eq. 1) em relação à densidade de fluxo calculada com base em medidas lisimétricas e na área da secção radial condutora do caule e obtiveram um coeficiente de determinação de 0,8252. A tendência de subestimativa do fluxo de seiva pelo método também foi encontrado por Delgado-Rojas (2003) em plantas cítricas. Ferreira & Silvestre (2004) ajustaram uma equação potencial com os valores de fluxo de seiva obtidos com os parâmetros originais da equação de Granier e a evapotranspiração, para vinha em condições de evaporação do solo desprezível, estimada pelo método micrometeorológico da covariância de fluxos turbulentos (eddy covariance), obtendo boa correlação ($R^2 = 0,84$).

Fluxo de seiva em plantas adultas

A Figura 9 mostra o curso do fluxo de seiva estimado pela sonda de dissipação térmica e pelo método do balanço de calor caulinar, e a radiação solar global ao longo do dia em um ramo de 3,05 cm de diâmetro e 3,39 m² de área foliar em uma planta adulta. A defasagem entre fluxo de seiva e radiação, discutida antes, se repete tanto para as medidas com a sonda de dissipação térmica quanto pelo método do balanço de calor, inferindo-se que esta defasagem não é função do tempo de resposta da sonda de dissipação térmica.

A Figura 10 traz a relação entre o fluxo de seiva diário no ramo estimado pelo método da sonda de dissipação térmica

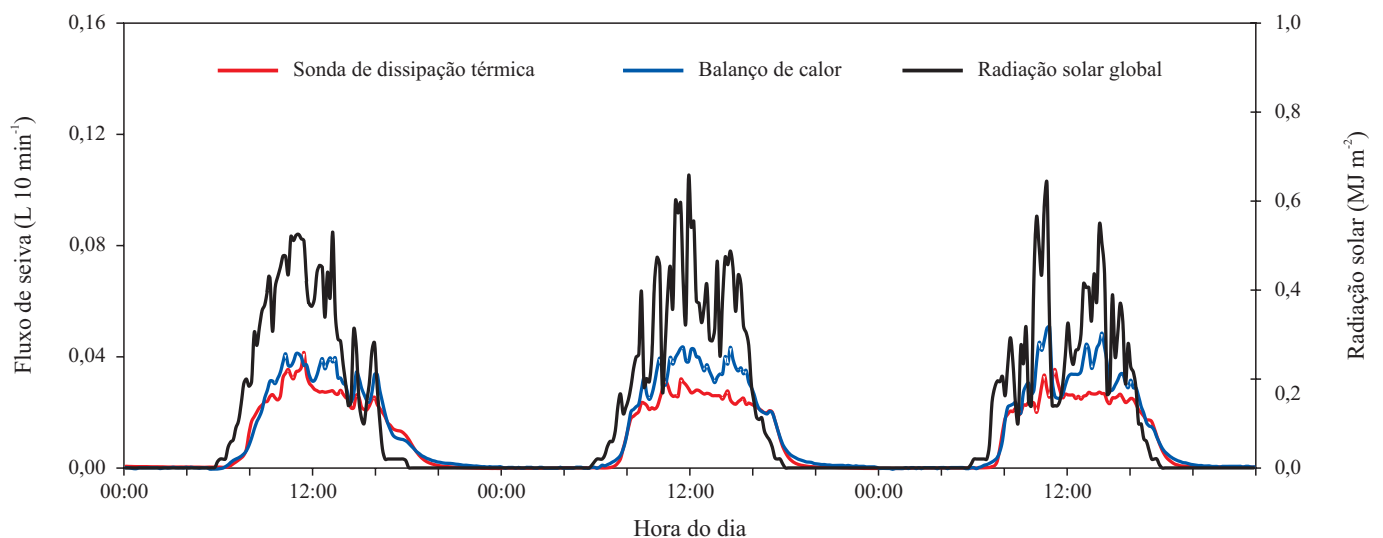


Figura 9. Curso da radiação solar global e do fluxo de seiva estimado pela sonda de dissipação térmica e balanço de calor em um ramo de manga

mica e pelo balanço de calor caulinar. Ocorreu uma diferença média de 6,5% entre os métodos, que apresentaram boa correlação entre si. Tournebize & Boistard (1998) em estudo com uma árvore do Mediterrâneo (*Gliricidea septium*) observaram discrepância máxima de 10% entre os métodos da sonda de dissipação térmica e do balanço de calor caulinar; entretanto, Delgado-Rojas (2003) observou, em plantas cítricas, grande dispersão dos dados e tendência de superestimativa de 35% dos valores calculados pelo método de balanço de calor em relação aos de dissipação térmica. O autor atribui, como prováveis fontes de erro, valores de fluxo de seiva noturnos medidos pelo método do balanço de calor, e ao efeito dos gradientes térmicos naturais no método de dissipação térmica.

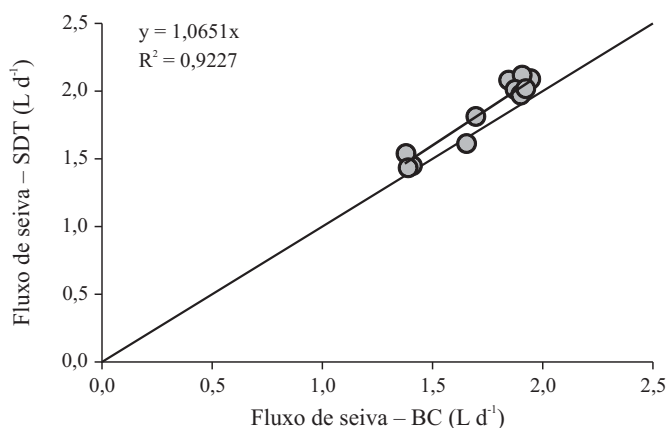


Figura 10. Fluxo de seiva estimado pelo método de balanço de calor (BC) e pelo método da sonda dissipação térmica (SDT)

Tem-se, na Figura 11, a comparação entre o fluxo de seiva estimado pela soma dos fluxos dos ramos principais de uma planta adulta e o estimado pela medida no tronco. O fluxo estimado pela soma nos ramos foi 15,5% menor que o fluxo estimado no tronco. Esses desvios podem estar relacionados tanto a diferenças entre as propriedades térmicas de caules de diâmetros maiores das plantas usadas na calibração com lisímetros como à diferença nas estimativas com sondas de comprimentos diferentes da usada na calibração com lisímetros.

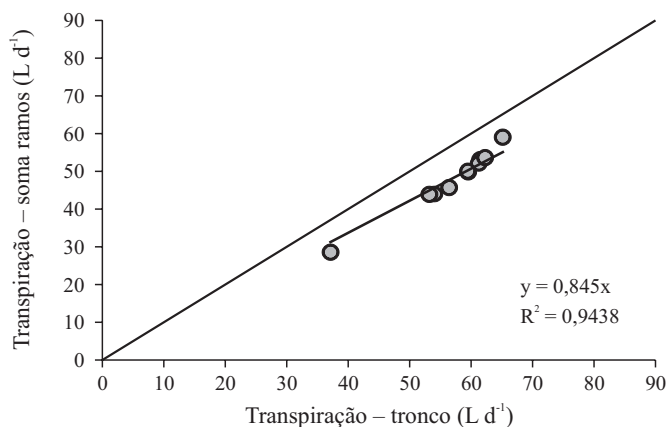


Figura 11. Relação entre a transpiração total medida no tronco e a soma das transpirações de cada ramo em planta adulta (b)

CONCLUSÕES

1. Com os parâmetros empíricos modificados, $FS = 0,00017k^{1,231}AS$, a equação de Granier mostrou-se eficiente na estimativa do fluxo de seiva em escala diária.
2. As estimativas de fluxo de seiva com o método da sonda de dissipação térmica e o método do balanço de calor caulinar apresentaram boa concordância, em ramo de planta adulta, de 3,05 cm de diâmetro.
3. O fluxo de seiva estimado em uma planta adulta pela soma dos fluxos nos ramos foi 15% menor que o estimado no tronco.

LITERATURA CITADA

- 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.
- Costa, R. F.; Silva, V. P. R.; Ruivo, M. L. P.; Meir, P.; Costa, A. C. L.; Malhi, Y. S.; Braga, A. P.; Gonçalves, P. H. L.; Silva Jr., J. A.; Grace, J. Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.2, p.180-189, 2007.
- D'Angiolella, G. L. B.; Castro Neto, M. T.; Coelho, E. F. Tendências climáticas para os Tabuleiros Costeiros da região de Cruz das Almas, BA. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: SBEA, 1998, p.43.
- Delgado-Rojas, J. S. Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citrus, como base para o manejo de irrigação. Piracicaba: USP/ESALQ, 2003. 110p. Tese Doutorado
- Delgado-Rojas, J. S.; Angelocci, L. R.; Folegatti, M. V.; Coelho Filho, M. A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de lima ácida. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.2, p.404-413, 2007.
- Delgado-Rojas, J. S.; Righi, C. A.; Karasawa, S.; Angelocci, L. R.; Bernardes, M. S.; Folegatti, M. V. Desempenho do método de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.3, 2006.
- Ferreira, M. I.; Silvestre, J. C. Medição da transpiração em cobertos descontínuos: Vinha em diferentes declives, na região do oeste. In: Congresso da Água, 7, 2004, Lisboa. Anais... Lisboa: LNEC, 2004.
- Gomide, R. L.; Durães, F. O. M.; Kobayashi, M. K.; Machado, R. A. F. Caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea mays* L.) com sondas de fluxo de seiva. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.4, n.3, p.344-354, 2005.
- Granier, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales Sciences Forestieres*, v.42, p.193-200, 1985.
- Lu, P.; Chacko E. Evaluation of Granier's sap flux sensor in young mango trees. *Agronomie*, v.18, p.461-471, 1998.

- Lu, P.; Woo, K. C.; Liu, Z. T. Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurements. *Journal of Experimental Botany*, v.53, n.375, p.1771-1779, 2002.
- Machado, E. C.; Oliveira, R. F.; Ribeiro, R. V.; Medina, C. L.; Stuchi, E. S.; Marin, F. R.; Silva, J. A. B.; Silva, S. R. Fluxo de seiva e fotossíntese em laranjeira 'Natal' com clorose variegada dos citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.6, p.911-918, 2006.
- Oliveira, G. X. S. Determinação da transpiração em mangueiras (*Mangifera indica* L.), através do fluxo de seiva, sua relação com a evapotranspiração e área foliar. Cruz das Almas: UFBA, 2005. 40p. Dissertação Mestrado
- Santos, R. M.; Oliveira, A. S.; Vellame, L. M.; Brandão, F. J. C. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de umidade do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n.6, p.1162-1169, 2006.
- Saugier, B.; Granier, A.; Pontailler, J. Y.; Dufrière, E.; Baldocchi, D. D. Transpiration of a boreal pine forest measured by branch bag, sap flow and micrometeorological methods. *Tree Physiology*, v.17, p.511-519, 1997.
- Shackel, K. A.; Johnson, R. S.; Medawar, C. K. Substantial errors in estimates of sap flow using the heat balance technique on wood steam under field conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.117, n.2, p.351-356, 1992.
- Silva, R. M.; Ferreira, M. I.; Paço, M. T.; Oliveira, A. V.; Oliveira, M. Determinação das necessidades de rega em kiwi na região do entre Douro e Minho. Congresso da Água, 7, 2004, Lisboa. Anais... Lisbon: LNEC, 2004. 11p.
- Tornebize, R.; Boistard, S. Comparison of two sap flow methods for the estimation of tree transpiration. *Annales des Sciences Forestieres*, v.55, n.6, p.706-713, 1998.
- Vellame, L. M. Transpiração em plantas de laranja e manga utilizando sonda de dissipação térmica e balanço de calor. Cruz das Almas: CCAAB/UFRB, 2007. 67p. Dissertação Mestrado
- Weibel, F. P.; Vos, J. A. Transpiration measurements on apple trees with an improved stem heat balance method. *Plant and Soil*, v.166, p.203-219, 1994.
- Wullschleger, S. D.; King, A. W. Radial variation in sap velocity as a function of stem diameter and sapwood thickness in yellow-poplar trees. *Tree Physiology*, v.20, p.511-518, 2000.
- Yin, G.; Zhou, G.; Morris, J.; Huang, Z.; Chu, G.; Zhou, G. Sap flow response of *Eucalyptus (Eucalyptus urophylla)* to environmental stress in South China. *Journal of Zhejiang University Science*, v.5, n.10, p.1218-1225, 2004.
- Zhao, P.; Rao, X.; Ma, L.; Cai, X.; Zeng, X. Sap flow-scaled stand transpiration and canopy stomatal conductance in an *Acacia mangium* forest. *Journal of Plant Ecology*, v.30, n.4, p.655-665, 2006.