

ISSN 0104-1347

Determinação do fluxo de seiva em videira através da técnica do pulso de calor¹

Determination of sap flow in grapevine plant by the heat pulse technique

Antonio Odair Santos², Francisca Maria Rosiki Bigas Adão³, José Luiz Hernandez⁴, Tânia das Graças Silva Orlando⁵

Resumo - O conhecimento das necessidades hídricas para o manejo da água na fruticultura irrigada é indispensável para melhorar a produtividade e a qualidade dos frutos. Dentre os diversos métodos para determinação direta do consumo de água em plantas lenhosas, destaca-se aquele baseado na técnica do pulso de calor, que tem ganhando espaço, pela facilidade de automação e pela possibilidade de monitoramento individualizado e contínuo da água na planta, em intervalos curtos de tempo. Neste aspecto, um experimento foi conduzido em videiras cultivadas em vasos e em campo, objetivando-se estudar o transporte da água na planta, associado ao transporte de calor na seiva, utilizando-se sensores de pequeno diâmetro implantados no caule, fazendo-se comparações simultâneas com a perda de água medida em balança de precisão e obtida por simulação, em campo. O experimento foi conduzido nos Centros APTA/IAC de Engenharia Agrícola e de Fruticultura, em Jundiaí, SP, entre os anos de 2001 a 2003. Em campo, os estudos foram feitos em cultivares de videira cv. romana e em porta-enxerto IAC 766, quando as plantas estavam na fase de pré-floração, na safra 2003. O estudo com plantas em vaso foram feitos em estufa coberta com filme de polietileno. Os resultados mostraram que a perda d'água em videira, tanto em vasos como em campo, pode ser determinada pelo método do pulso de calor, com instrumentação baseada em sensores de pequeno diâmetro e baixo fornecimento de calor para marcação da seiva. Essa determinação depende da localização dos sensores no lenho, para a correta integração do fluxo volumétrico de seiva.

Palavras-chave: transpiração, irrigação, pulso de calor

Abstract - The knowledge about crop water requirement and water management is very important for irrigated fruit plants for yield and fruit quality enhancement. Among several methods for direct assessment of water of consumption by woody plants, the heat pulse technique stands out and has deserved attention, because its easiness for automation and feasibility as an individualized and continuous plant water monitoring technique for short time interval. An experiment was carried out on field-grown and potted plants of grapes aiming to study stem water transport as an associated process of sap heat transport, by using low diameter implanted sensors in the stem. Simultaneous comparisons were made to data gathered in precision weighing scales and to data from crop water loss simulation at field. The experiment was conducted at the Centro APTA/IAC de Engenharia Agrícola/Fruticultura, in Jundiaí, SP, Brazil, during the years of 2001 to 2003. Field study was done by using grape cv. romana and rootstocks cv. IAC-766, when the vineyard was in the pre-blossom stage in the 2002-2003 growing season. Data from potted plants were collected inside a plastic greenhouse. Results shown that grape water loss, both potted and field-grown can be determined by the heat pulse technique, using low diameter sensors and low heat delivery for sap tracing. This determination depends on sensor localization in the sapwood, for correctness in the integration of volumetric sap flow.

Key words: Transpiration, irrigation, heat-pulse

¹Trabalho com financiamento CNPq - CT Hidro

²Eng. Agr., Dr, PqC - Instituto Agrônômico (IAC)/APTA - Centro de Engenharia Agrícola, Cx. P. 26, CEP 13201-970, Jundiaí, SP (011) 4582 8155, e-mail: odairsan@iac.sp.gov.br. Com bolsa CNPq

³Graduanda em biologia - Iniciação Científica (PIBIC-CNPq) - Centro de Engenharia Agrícola (IAC)

⁴Biólogo, MSc - (IAC)/APTA - Centro de Fruticultura, Cx P. 26, CEP 13201-970, Jundiaí, SP.

⁵ Eng. Agr. Dra, Visitante - (IAC/APTA) - Centro de Fruticultura, Cx P. 26, CEP 13201-970, Jundiaí, SP

Introdução

A busca do aumento na produtividade e qualidade dos frutos implica no conhecimento do manejo da água aplicada na irrigação. Muitas regiões brasileiras, entre elas as produtoras de frutas do Nordeste, necessitam de irrigação durante todo o ano para viabilizar a produção. Em outros casos, faz-se necessário o manejo da água dentro de estufas, como vem ocorrendo com videiras viníferas (SANTOS et al., 2004). Recentes avanços em fruticultura têm se baseado na irrigação parcial do sistema radicular, como forma de influenciar o balanço entre produtividade e qualidade dos frutos (STOLL et al., 2000; DRY & LOVEYS, 1998). Em todos esses casos se faz necessária a determinação precisa do uso da água pelas plantas, preferencialmente de forma direta e individualizada.

A determinação da necessidade de água na fruticultura torna-se mais difícil que em cultivos tradicionais, devido ao espaçamento adotado e à distribuição diferenciada das copas. A medição direta é ainda mais onerosa e de difícil adoção, se comparada aos métodos largamente utilizados em gramíneas e leguminosas herbáceas.

A videira é cultivada em regiões do Brasil onde ocorre escassez de precipitação ao longo da estação de crescimento e seus limites de difusão também são condicionados pela disponibilidade hídrica no solo. Tanto a deficiência como os excessos hídricos afetam de maneira marcante o comportamento dos estádios fenológicos da cultura, comprometendo a qualidade e produtividade dos frutos (PEDRO JR. et al., 1993). Portanto, o estudo das relações hídricas da cultura com o meio físico circundante é de fundamental importância para seu manejo.

SMITH & ALLEN (1996) concluíram que a determinação da perda d'água em espécies frutíferas, através de medições no fluxo de seiva pela técnica do pulso-de-calor, é promissora, pela facilidade de automação e pela possibilidade de monitoramento contínuo do uso da água, em intervalos curtos de tempo.

Vários autores têm apresentado dados sobre a aplicação da técnica em cultivos lenhosos.

COHEN et al. (1981) obtiveram resultados satisfatórios, integrando fluxos radiais, no caule de citrus. SORENSEN et al. (1999) observaram grande subestimativa, em Pecan, mesmo fazendo a integração radial do fluxo de seiva, pela implantação de mais de um termo-sensor no raio do caule. Outros autores têm apresentado discussões semelhantes, entre eles SDOODEE et al. (2002) em mangueira e GREEN & CLOTHIER (1998) em maçã e kiwi. YUNUSA et al. (1997) utilizaram a metodologia do pulso de calor em videira sultana, para o estudo de relações hídricas e EASTHAM & GRAY (1998) e GINESTAR et al. (1998), igualmente, demonstraram que as medições feitas no fluxo de seiva, a partir de sensores implantados no caule da cv shiraz, podem ser usadas para detectar o desenvolvimento de estresse hídrico na cultura.

Em todos os casos citados os autores utilizaram sensores que resultaram no uso de agulhas implantadas no caule com diâmetros externos variando entre 1,2 mm e 3,0 mm. Por outro lado, estudos recentes em videira, sobre o uso da técnica para a determinação da perda d'água da cultura, não detalharam o tratamento dispensado para o perfil do fluxo de seiva na secção quadrada do caule (YUNUSA et al. 1997; EASTHAM & GRAY, 1998; GINESTAR et al. 1998). BRAUN & SCHIMID (1999) mostraram que, para videira de 21 anos de idade, mesmo os "anéis xilemáticos" mais antigos apresentaram capacidade de transportar água, tendo sido sugerido uma diferenciação radial na intensidade de fluxo de seiva, no caule, notadamente sob alta demanda evaporativa atmosférica. Portanto, para videira é conveniente verificar a viabilidade de sensores menos invasivos e o detalhamento da distribuição radial na intensidade do fluxo de seiva ascendente no caule, como suporte ao desenvolvimento e aplicação da técnica do pulso de calor para determinação da perda d'água na cultura. A discussão sobre a questão necessita ainda de pesquisas e debates, tanto no que se refere ao desenvolvimento instrumental como na sua aplicação prática.

O objetivo deste trabalho foi determinar de forma direta e contínua a perda d'água da videira, conduzida em vaso e em campo, com base na

técnica do pulso de calor, utilizando-se sensores de pequeno diâmetro.

Materiais e Métodos

Teoria

A determinação do fluxo de seiva através do uso do calor como “traço” está baseada na solução de equacionamento para difusão convectiva de calor em meio isotrópico e homogêneo.

Em um caule vegetal a elevação da temperatura, produzida por um pulso de calor, após um tempo t , e a distância $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ a partir da fonte de calor, é apresentada por MARSHALL (1958):

$$T = [H / (4\pi\rho ckt)] \exp[-(x - vt)^2 / (4kt)] \quad (1)$$

onde T é a elevação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) produzida por um pulso de calor após um tempo t e à distância x (mm) na direção do fluxo da seiva, a partir da fonte linear de calor; H é o calor gerado pela fonte por unidade linear da mesma (J mm^{-1}); \dot{A} (mg mm^{-3}), c ($\text{J mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) e k ($\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$) são, respectivamente, a densidade, o calor específico e a difusividade térmica do lenho úmido; v é a velocidade convectiva de calor (mm s^{-1}). Colocando-se uma fonte linear de calor e sensores de temperatura em um mesmo plano diametral e longitudinal, simplifica-se a equação para solução para a difusão convectiva de calor para uma forma unidimensional, tal como apresentada na Equação (1).

A velocidade convectiva de calor, v , ou seja, a contribuição do fluxo de seiva F (m s^{-1}) para a variação térmica do lenho úmido pode ser escrita:

$$v = F \rho_s c_s / \rho c \quad (2)$$

onde \dot{A}_s é a densidade e c_s é o calor específico da seiva.

A função definida na Equação (1) tem a ocorrência de um ponto de máxima no tempo t_m quando a primeira derivada de (1) é igual a zero. Neste caso:

$$v = (x^2 - 4kt_m)^{0,5} / t_m \quad (3)$$

Conhecendo-se as propriedades físicas e térmicas do caule, a determinação de t_m na Equação (3) permite o cômputo do fluxo de seiva (F) na Equação (2). A variável de determinação mais difícil é a difusividade térmica (k) dos tecidos do caule. Porém, quando $v = 0$, pode-se escrever:

$$k = r^2 / 4t_m \quad (4)$$

assim, k pode ser determinado quando o fluxo de seiva é nulo. Para evitar influência da temperatura externa ao caule e contornar dificuldades na disponibilização de variáveis de difícil obtenção CLOSS (1958) propôs o uso da medição da temperatura diferencial entre dois pontos, assimetricamente localizados, acima e abaixo de uma fonte linear de calor, em uma seção quadrada de caule. Neste caso, a velocidade convectiva de calor, v , é:

$$v = (x_1 - x_2) / 2t_0 \quad (5)$$

onde x_1 e x_2 são as distâncias abaixo (sensor no contrafluxo) e acima (sensor no fluxo) da fonte de calor, respectivamente; t_0 é o tempo necessário para que o diferencial de temperatura entre x_1 e x_2 retorne aos valores iniciais (equilíbrio térmico). Para determinar o fluxo volumétrico $F(s)$, o fluxo de seiva deve ser integrado na seção quadrada do caule, objeto de medição:

$$F_{(s)} = \int F ds \quad (6)$$

onde ds é o elemento de área do caule onde o fluxo de seiva foi determinado.

Época, local e cultura

O experimento foi conduzido em vinhedos do Centro APTA de Fruticultura do IAC e em laboratórios do Centro de Engenharia Agrícola do IAC/APTA, localizados em Jundiaí, SP (23°06' S; 46°55' W, 715 m), durante os anos de 2001 a 2003. Os trabalhos de campo foram efetuados em plantas de videira cv. romana e em cultivares de porta-enxerto IAC-766, com quatro anos de idade. Medições de velocidade de seiva foram feitas quando os vinhedos estavam na fase de pré-floração, na safra de 2003. A videira romana foi conduzida em cortina dupla (GDC) e os porta-enxertos em

espaldeira. Quatro vasos com plantas de videira de um ano de idade foram utilizadas no experimento. Duas plantas foram utilizadas para pesagem em balança de precisão e duas para controle paralelo da velocidade de seiva. Os dados de plantas em vasos foram obtidos em estufa coberta com filme de polietileno transparente de baixa densidade.

Instrumentação

Utilizaram-se junções termométricas do tipo T (AWG 44), inseridas em agulhas hipodérmicas para a construção de sensores termométricos. Os mesmos foram fixados em um bloco de teflon, juntamente com uma fonte linear de calor (Figura 1). Devido ao pequeno diâmetro do caule de videira (no caso, ao redor de 40 mm), adotou-se a estratégia de utilizar agulhas de pequeno diâmetro (0,51 mm), com apenas um “junção” por agulha. O bloco do sensor foi construído em três peças desmontáveis de teflon. A condução de calor até a seiva foi feita através de um núcleo difusor de calor, que foi desenvolvido com base no conjunto formado por um condutor de aço cromado envolto em níquel-cromo. Detalhes do desenvolvimento do sensor estão descritos em SANTOS (2003). As distâncias assimétricas entre fonte de calor e termo-elementos foram de 4 mm e 9 mm, para montante (contrafluxo) e jusante (fluxo), respectivamente. A garantia da formação de junção única foi conseguida através do isolamento dos cabos por esmalte, dentro da bainha (agulha).

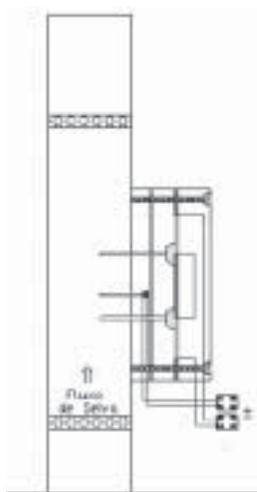


Figura 1. Diagrama do corpo de teflon, implantação da fonte de calor e juntas termopares, instalados em caule de videira, para medição do fluxo de seiva, Jundiá – SP.

A marcação da seiva por calor foi feita por um circuito eletrônico, que controlava o armazenamento de energia solar, o tempo e largura do pulso. Este sistema foi integrado a um “datalogger” através de acoplamento ótico, para evitar influência de campo elétrico sobre as leituras do sinal dos sensores. Detalhes do sistema estão descritos em SANTOS (2003) e SANTOS & BARROS (2003).

Um programa computacional foi desenvolvido para controle dos sensores e armazenamento dos dados. A leitura da temperatura diferencial, em plantas de videira, foi efetuada de modo contínuo, sendo a flutuação dos sensores ponderada a cada 5 minutos. A cada quinze minutos um pulso de calor de 4 segundos foi fornecido à seiva e a re-ocorrência da temperatura imediatamente anterior ao pulso foi armazenada (t_0). O tempo t_m também foi anotado após cada pulso.

Instalação experimental e cálculo do fluxo volumétrico

Para implantação dos sensores foram feitos incisões lentas com micro-brocas de aço-rápido de 0,6 mm de diâmetro externo, utilizando-se guias em teflon. Instalaram-se os mesmos a 35 cm do solo, em duas plantas de videira romana. A profundidade de implantação foi de 4 mm e 7,5 mm abaixo do córtex, colocando os sensores em azimutes alternos. Uma relação entre o diâmetro do caule (X) e o diâmetro do cerne (y) foi feita na área experimental, a partir do corte de plantas de videira de idades diferentes [$y = 0,849437 + 0,350078X$, $R^2 = 0,94$]. Após a instalação os sensores foram cobertos com papel alumínio, para evitar a interferência direta da radiação solar sobre os termo-elementos. A mesma instalação foi feita em uma planta de porta-enxerto IAC-766, que recebeu dois sensores a duas profundidades, no caule, em azimutes alternos. Escolheu-se uma planta central de um quadro de porta-enxertos de IAF plenamente desenvolvido. A solução da Equação (2) foi feita a partir da experiência de MARSHALL (1958) e SORENSEN et al. (1999) em plantas lenhosas, obtendo-se o fluxo de seiva a partir da velocidade de pulso de calor (v) e da área de influência do sensor no lenho (A_i).

$$F = d(0,33 + u) \sum A_i v_i$$

sendo d a densidade do lenho e u a umidade do mesmo, ambos determinados em campo através da amostragem com anéis volumétricos de 8 mm de altura e 4 mm de raio.

Para determinação do fluxo volumétrico de seiva, $F(s)$ ($L^3 T^{-1}$), e integração do mesmo na área do lenho, a partir de duas profundidades de abordagem no raio do caule, assumiu-se que o fluxo é diametralmente uniforme, mas que varia radialmente, diminuindo do xilema primário (próximo do câmbio) para o xilema secundário (próximo do cerne), sendo descrito por uma função que relaciona o fluxo e o incremento de raio ou área (Figura 2). Para somente duas profundidades de leitura existentes, considerou-se o fluxo total a partir do somatório do fluxo medido nas áreas de influência dos sensores no lenho, assumindo-se um xilema dividido em duas áreas iguais, com a área total sendo obtida a partir das medidas de raio disponíveis (Figura 2). Portanto, a solução final para o fluxo volumétrico foi dado pela figura de revolução obtida pela relação entre altura de leitura de fluxo, obtida a cada quinze minutos e a área quadrada do xilema, na região de influência do sensor (Figura 2)

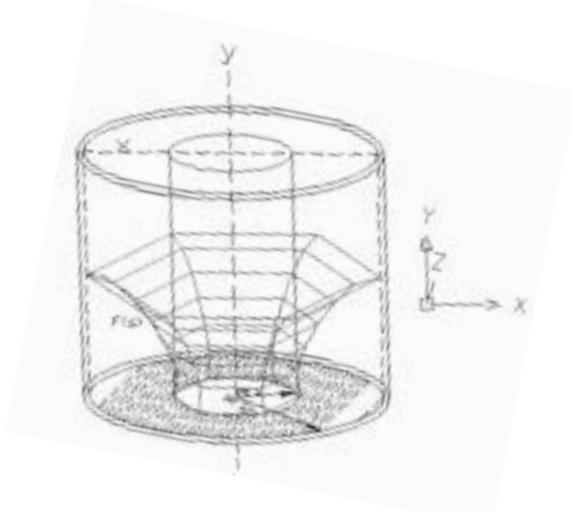


Figura 2. Diagrama da distribuição do fluxo de seiva ascendente na área do xilema, em seção de caule de videira, que foi considerado para o estudo do transporte da água.

A instalação em vasos seguiu o mesmo procedimento, porém as agulhas foram inseridas a 2,5 mm de profundidade, abaixo do córtex. As plantas em vasos, uma vez colocadas sobre balança

de precisão, não foram mais movimentadas até o final do ciclo de medições, para garantia da precisão do alinhamento dos sensores. Os vasos foram envoltos em plástico e papel alumínio, visando forçar todo o transporte da água através da planta.

Dados meteorológicos

Ao lado das plantas objeto de medição em campo foi instalada uma estação meteorológica automática, onde foram armazenados em intervalos de quinze minutos os dados de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

O modelo de Penman-Monteith modificado por SANTOS et al. (2000) e adaptado para videira, foi utilizado para simulação da perda d'água em campo. O modelo simula a transpiração, com base em um balanço de radiação para dosséis dispostos em fileiras, com entrada de dados meteorológicos, astronômicos e fitotécnicos.

Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra as curvas diárias de fluxo de seiva obtidos com a introdução de agulhas (Figura 1) em profundidades diferentes (4 e 7,5 mm) e em azimutes alternos do caule de uma mesma planta de videira (porta-enxerto), visando a verificação do perfil da distribuição radial diferencial no fluxo. Apesar do pequeno diâmetro do caule em questão, levemente superior ao de uma planta adulta de milho, observa-se que o fluxo de seiva mais distante do câmbio (sensor-7,5 mm) é menor em relação aquele localizado bem próximo deste. Em média, os valores do fluxo de seiva obtidos na parte mais afastada do câmbio foram de, aproximadamente, 38% daqueles obtidos na parte mais próxima. As curvas se aproximaram sob baixa demanda e ocorreram oscilações de maior magnitude quando a demanda evaporativa foi mais elevada, o que pode ser reflexo do comportamento transiente do estômato.

Na Figura 4 estão apresentados os dados de velocidade de seiva e a curva de transpiração simuladas (Penman-Monteith), para duas plantas da cv. romana, em diferentes dias. Os valores obtidos através da simulação evidenciam que a demanda atmosférica local esteve relativamente moderada, durante os dias de coleta de dados. Os valores para

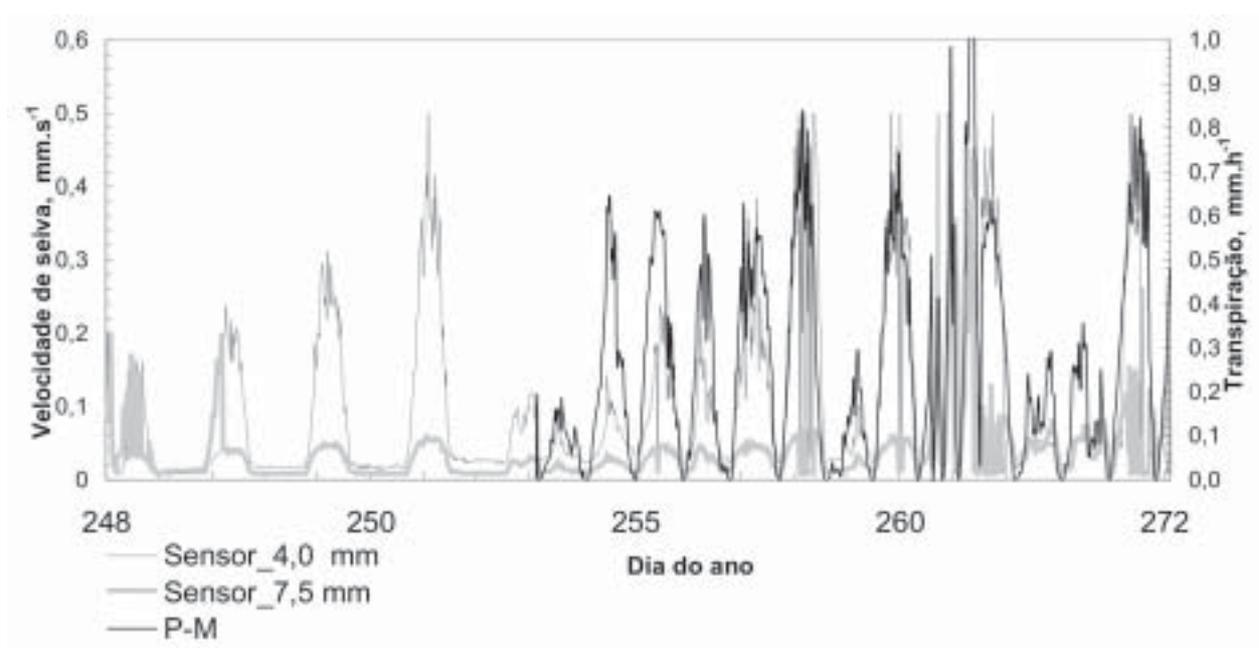


Figura 3. Curvas diárias de velocidade radial de seiva para duas profundidades de implantação de sensores (4,0 mm e 7,5 mm abaixo da casca), em videira IAC 766 de 4 anos (05 a 29/09/03), e a curva da simulação da transpiração da cultura (Penman-Monteith, P-M) (09 a 29/09/03), Jundiá, SP.

velocidades de seiva foram altas, quando comparados com aqueles observados em plantas herbáceas, com demanda atmosférica semelhante. SANTOS et al. (1999) observaram velocidade máxima de seiva de até 0,2 mm/s ao longo do período experimental com milho, durante os meses de novembro/dezembro, quando é esperado uma maior disponibilidade de radiação solar e, portanto, uma maior demanda hídrica. As curvas desenvolvidas pelos sensores “a” (Figura 4a-f), instalados em plantas diferentes, são bastante coerentes com a curva estimada de transpiração, o que demonstra adequação entre a teoria descrita para a metodologia e a prática em campo. Além disso, os dois sensores citados desenvolveram curvas semelhantes, o que demonstra coerência no processo de construção dos mesmos. Por outro lado, os dois outros sensores (“b”), que foram instalados mais distantes do câmbio, evoluíram ao longo do dia dentro do mesmo padrão dos demais, só que não na mesma intensidade, apresentando valores baixos em todos os dias observados. Este detalhe evidencia uma distribuição diferencial na densidade de vasos condutores, no raio do caule, já discutidas outras espécies por OREN et al. (1999) e GREEN & CLOTHIER (1995). Observa-se na Figura 4 que na

maioria dos finais de tarde a curva para velocidade de seiva ultrapassou a curva da transpiração. Provavelmente, a planta continua a se rehidratar nesse horário, acusando ainda valores de velocidade de seiva, enquanto o modelo de transpiração não estima esse detalhe. O padrão comportamental do fluxo de seiva, observado nas Figuras 3 e 4, mostra que a utilização de mais de um sensor miniaturizado (diâmetro externo de 0,51 mm), para implantação em dois ou mais pontos no mesmo caule, pode ser uma estratégia a ser considerada para a determinação da transpiração de videiras e outras frutíferas de diâmetro de caule semelhante. Esta alternativa pode ser vantajosa, se for considerado que a utilização de mais de um sensor na mesma agulha, visando a integração dos fluxos, implica no aumento do diâmetro da mesma, e portanto, no aumento do erro causado pela provável maior interferência das agulhas no fluxo de seiva e no tempo do equilíbrio térmico pós-pulso de calor. SWANSON & WHITFIELD (1981), em estudo sobre plantas lenhosas, envolvendo sensores de diâmetros superiores a 1,6 mm, mostraram que a interrupção do fluxo de seiva nas proximidades das agulhas pode mascarar os resultados levando a sub-estimativas. Doravante, outros estudos envolvendo essa questão

são necessários, buscando-se a comparação entre dados medidos e simulados, sobre o perfil de velocidade de seiva obtidos no raio do caule de videira, buscando-se equações para a correção de eventuais erros causados pela interrupção do fluxo de seiva no local da implantação de sensores, para uma gama maior de diâmetros, tanto para leituras pontuais, como multiponto.

Por outro lado, cabe ressaltar que o calor fornecido à seiva, neste estudo, ficou em torno de 72 J.s⁻¹, dentro do intervalo do pulso, que é um baixo valor se comparado a outros estudos com outras espécies de plantas lenhosas, de diâmetro semelhante (GREEN & CLOTHIER, 1995).

A Figura 5 mostra os dados de transpiração obtidos pelo método padrão (balança de precisão) e aqueles medidos pela técnica do pulso de calor. Para o intervalo considerado, observa-se relativa dispersão dos dados. Essas oscilações são esperadas e causadas tanto por ação do vento sobre a balança como pelas variações contínuas no controle estomático, que causam intermitência nos parâmetros de transporte de seiva. Por outro lado, ainda deve ser esperada uma defasagem entre a tomada de dados na balança e o equilíbrio térmico nos sensores após a marcação da seiva com calor, sendo que cada planta terá seu tempo de acordo com a velocidade de seiva pertinente.

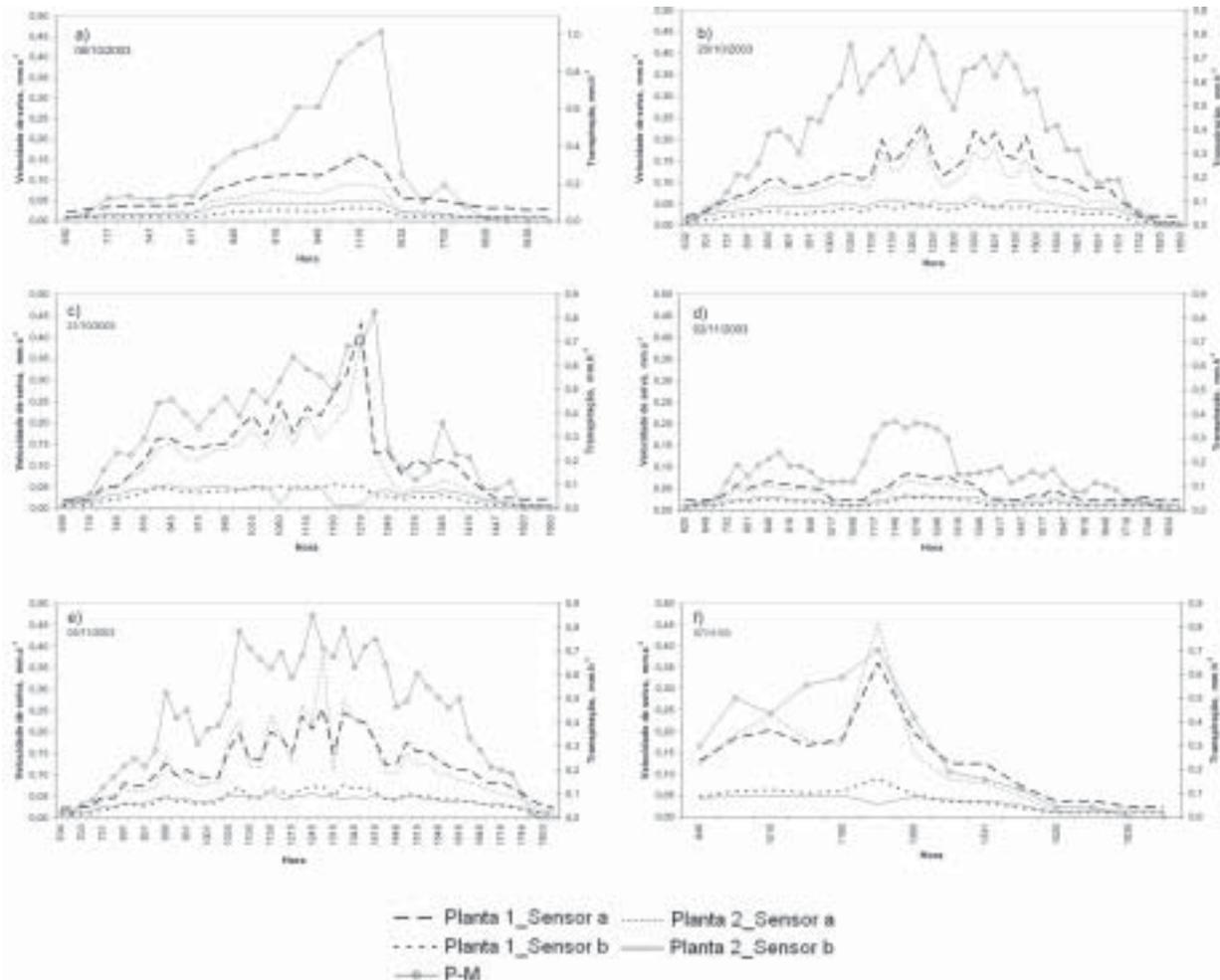


Figura 4. Curvas de velocidade de seiva, para sensores instalados em duas profundidades, em caule da cv. romana (a - 4 mm e b - 7,5 mm abaixo do córtex) e transpiração da videira estimada por Penman_Monteith (P-M), em Jundiá (SP).

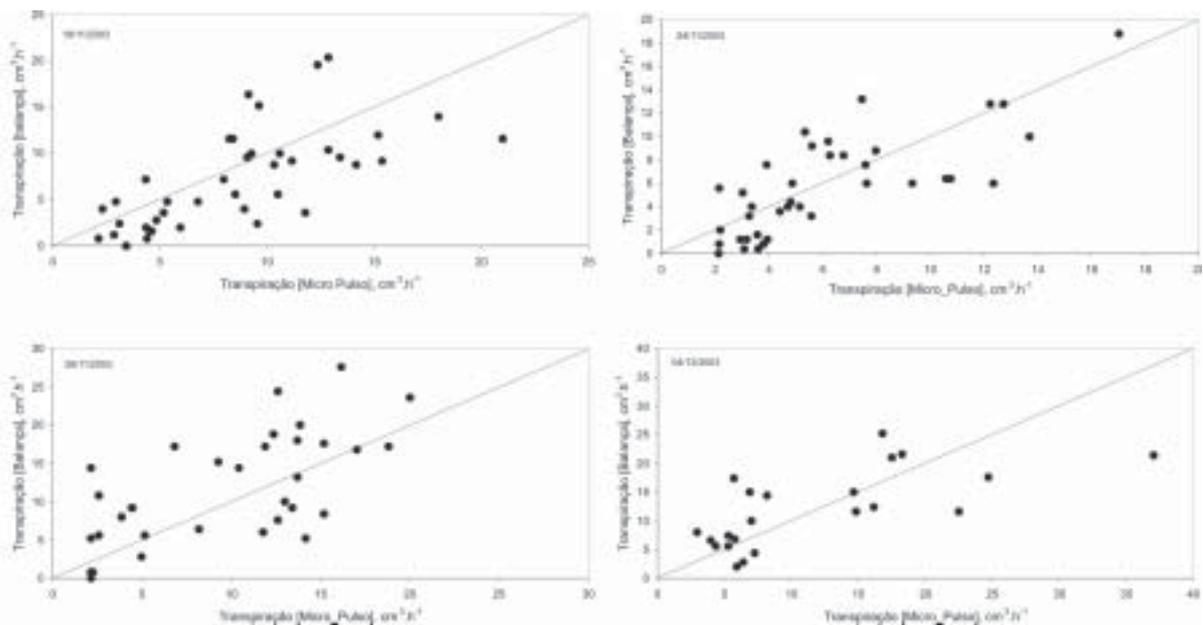


Figura 5. Dados da perda d'água em videira em vaso, obtidos em balança de precisão e através de medições através da técnica do pulso-de-calor, em intervalos de 15 minutos, Jundiaí - SP.

A Figura 6 mostra os dados dos totais diários dos valores de transpiração obtidos pelo método padrão (balança) e pela técnica do pulso de calor. Observa-se que existe uma tendência de superestimativa dos dados obtidos na balança. Por outro lado, pela regressão linear observa-se que o método baseado no pulso-de-calor explica 74% da variação nos dados obtidos na pesagem, sendo que o intercepto da equação está próximo de zero. Cabe ressaltar que as videiras cultivadas em vasos caracterizaram-se por caules de pequeno diâmetro, com área em torno de 60 mm². Neste caso, quase toda a área é condutiva para seiva, sendo mais difícil ocorrer uma diferenciação radial e perimetral na concentração de elementos condutores. Portanto, os dados da Figura 5 representam uma estimativa satisfatória da transpiração, sobretudo porque não foi usado nenhum fator de calibração (correção).

Na Figura 7 estão apresentados alguns dias para os quais a transpiração de duas plantas de videira foi determinada a partir dos dados de velocidade de seiva e relacionada com a transpiração da cultura, estimada por Penman-Monteith. Notadamente, em campo, uma comparação mais sofisticada para medidas pareadas de transpiração, nos moldes deste trabalho, demandaria um método padrão de alta

precisão, como um lisímetro de pesagem. Na ausência deste artifício foi utilizada a simulação como instrumento de verificação dos dados, como forma de analisar a coerência dos resultados obtidos ao longo da marcha diária, a partir da instrumentação desenvolvida para verificação da transferência da água pela videira. Verifica-se que as duas plantas estudadas apresentaram, em geral curvas com flutuações semelhantes para a perda d'água (Figura 7). Houve concordância, também entre os dados medidos e os estimados por Penman-Monteith. Baseado no padrão da marcha diária das curvas da Figura 7 é possível admitir coerência entre as flutuações na demanda atmosférica local e variações de curto intervalo na perda d'água pela cultura, muito embora alguma defasagem seja esperada devido às diferenças naturais existentes entre a simulação de um fenômeno e sua medição direta.

Durante o experimento os totais diários relativos aos dados de transpiração, obtidos a partir da medição no fluxo de seiva, variaram entre 1,54 e 5,75 mm/dia, para demanda hídrica moderada. Estes valores são menores do que aqueles obtidos sob alta demanda evaporativa por YUNUSA et al. (1997), que apresentaram dados de transpiração para cv. sultana variando entre 6,2 e 8,2 mm/dia/planta. Por

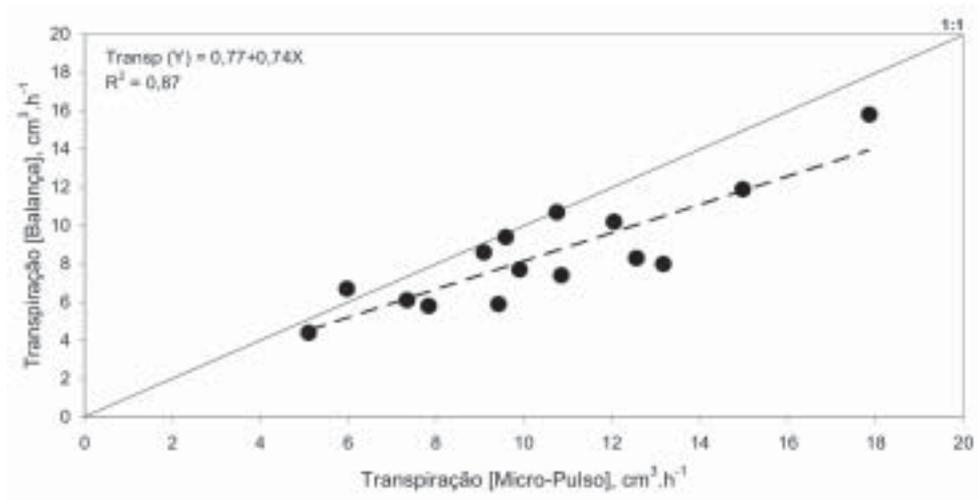


Figura 6. Totais diários da perda d'água em videira em vaso, obtidos em balança de precisão e através de medições no fluxo de seiva, no período de 18/11 a 08/12/2003, em Jundiá (SP).

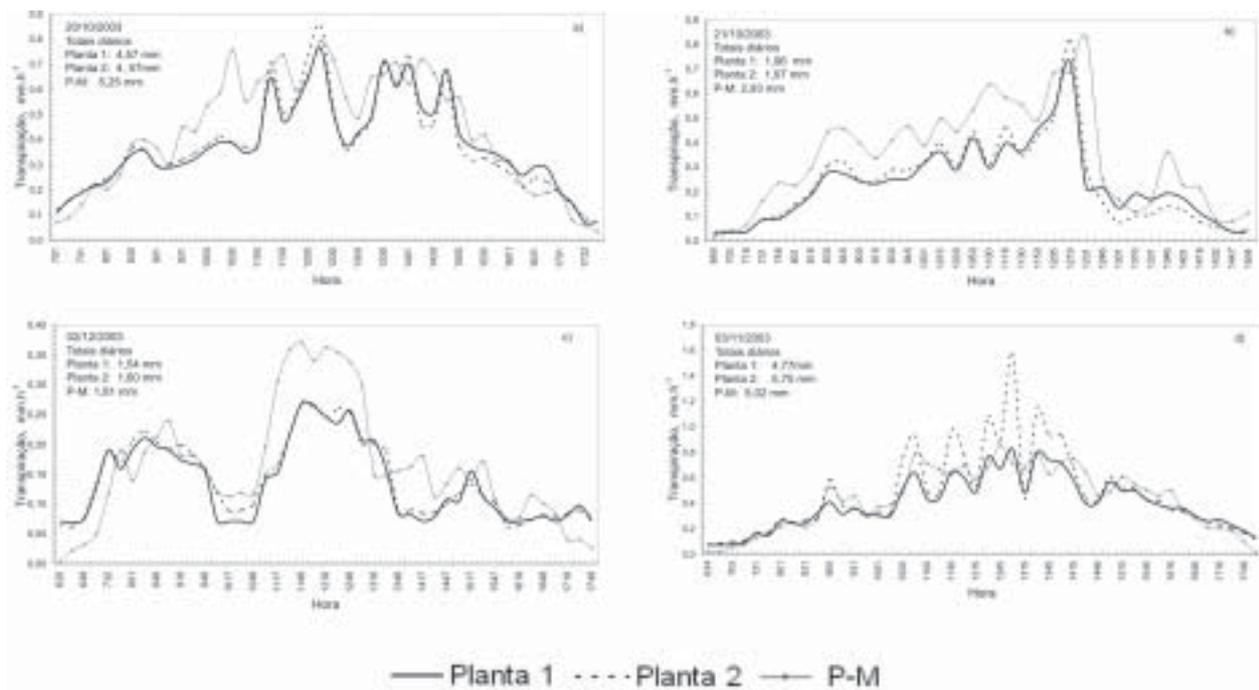


Figura 7. Relação entre a perda d'água, determinada pelo técnica do pulso de calor, e a transpiração da cultura estimada por Penman-Monteith (P-M), em videira cv. romana, cultivada em campo, em Jundiá (SP).

outro lado, os mesmos valores são maiores do que aqueles apresentados por EASTHAM & GRAY (1998), que encontram um máximo de 2,5 mm/dia/planta para cv shiraz, durante o verão. As diferenças varietais, parâmetros fitotécnicos, condições de

demanda atmosféricas e aspectos da instrumentação não permitem uma comparação em mesma base. Contudo, os autores citados utilizaram a mesmo princípio para determinação da transpiração da videira, sendo a amplitude dos dados para a

transpiração (Figura 7) coerentes com aqueles descritos nos trabalhos citados.

Os resultados apresentados demonstram que a configuração assimétrica de 4 mm e 9 mm, respectivamente, para as distâncias utilizadas entre fonte de calor e termo-elemento a montante e a jusante da fonte de calor, foi adequado para detecção de velocidades de até de 0,45 mm/s em videiras de quatro anos, sob demanda atmosférica moderada (Figura 4e). A Figura 3 igualmente, mostra dados de velocidade de seiva próximo destes valores, em cultivar de porta-enxerto com IAF plenamente expandido. No entanto, para a ocorrência eventual de demanda atmosférica mais intensa, é necessário verificar se as distâncias estabelecidas entre os elementos dos sensores (fonte de calor e termo-elementos), utilizadas neste trabalho, não seriam um fator limitante à aquisição correta dos dados de velocidade de seiva.

Conclusões

A perda d'água da videira, em vasos e em campo pode ser determinada, de forma satisfatória, pelo método do pulso de calor, com instrumentação baseada em sensores de baixo diâmetro e baixo fornecimento de calor para marcação da seiva.

A determinação dessa perda depende da localização dos sensores no lenho, para a correta integração do fluxo volumétrico de seiva.

Referências Bibliográficas

- BRAUN, P.; SCHIMID, J. Sap flow measurement in grapevines (*vitis vinifera L.*) 1. Stem morphology and use of the heat balance method. **Plant and Soil**, London, v. 215, n.1, p. 39-45, 1999.
- CLOSS, R.L. The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem. **New Zealand Journal of Science**, Auckland. v.1, p.281-288, 1958.
- COHEN, Y.; FUCHS, M.; GREEN, G.C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.4, p.391-397, 1981.
- DRY, P.R.; LOVEYS, B.R. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.4, p.140-148, 1998.
- EASTHAM, J.; GRAY, S. A. A preliminary evaluation of the suitability of sap flow sensors for use in scheduling vineyard irrigation. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 49, n.2, p.171-176, 1998. 16
- GINESTAR, C.; EASTHAM, J.; GRAY, S.; ILAND, P. Use of sap-flow sensors to shedule vineyard irrigation. I. Effects of post-veraison water deficits on water relations, vine growth, and yield of Shiraz grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 49, n.4, p. 413-420, 1998.
- GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. **Plant and Soil**, London, v. 173, p. 317-328, 1995.
- GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E. Water use in kiwifruit vines and apples trees by heat pulse technique. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 39, n. 198, p. 115-123, 1998.
- MARSHALL, D.C. Measurements of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiology**, Rockville, v.33, p.385-396, 1958.
- OREN, R.; PHILLIPS, N.; EWERS, B.E.; PTAKI, D.E.; MEGONICAL, J.P. Sap-flux-scaled transpiration responses to light, vapor pressure deficit and leaf area reduction in a flooded *Taxodium distichum* forest. **Tree Physiology**, Victoria, v. 19, p.337-347, 1999.
- PEDRO Jr, M.J.; SENTELHAS, P.C.; POMMER, C.V.; MARTINS, F.P.; GALLO, P.B.; SANTOS, R.R.; BOVI, V.; SABINO, J.C. Caracterização fenológica da videira Niagara Rosada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.52, p.153-160, 1993.
- SANTOS, A.O.; PEDRO-Jr, M.J.; FERREIRA, M.A. Ecophysiology and yield performance of grape cabernet sauvignon cultivated under different exposures. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.2, 2004 (prelo).

- SANTOS, A.O. Aspectos do desenvolvimento de um sistema integrado para monitoramento direto da perda d'água em plantas herbáceas com base na marcação da seiva por calor: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria, RS, Anais... Santa Maria, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Santa Maria, 2003, p 447-448.
- SANTOS, A.O.; BARROS, C. Sensor “menos invasivo” integrado a um sistema “termo-pulso-marcador”, para o monitoramento da perda d'água em plantas: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria, RS, Anais... Santa Maria, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Santa Maria, 2003, p 449-451.
- SANTOS, A.O.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; ROSA, L.M.G. Improved modeling of maize water loss: a case study in Brazil. *Agriscientia*, Córdoba, v.17, n.1, p.11-19, 2000.
- SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B. Assessment of corn water uptake based on sap heat tracing, under water-stressed conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.3, n.2, p.145-149, 1999. 17
- SDOODEE, S.; CHUSAK LIMSAKUL, C.; WONGWONGAREE, N. Development of a heat-pulse sapflow sensor to continuously record water use in fruit trees. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, Hat Yai, v. 24, n.2, p. 177-188, 2002.
- SMITH, D.M.; ALLEN, S.J. Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 47, p.1833-1844, 1996.
- SORENSEN, R.B.; JONES, T.L.; CAMPBELL, G.S.; MONTES-HELU, M. Heat pulse needles to measure pecan tree transpiration. *Applied Engineering in Agriculture*, Madison, v.15, n. 6, p. 651-657, 1999.
- STOLL, M.; LOVEYS, B.R.; DRY, P.R. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, Oxford v. 51: 1627-1634, 2000.
- SWANSON, R.H.; WHITFIELD, D.W.A. Numerical analysis of heat pulse velocity theory and practice. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.32, p.221-239, 1981.
- YUNUSA, I.A.M.; WALKER, R.R.; GUY, J.R. Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard. *Irrigation Science*, Heidelberg, v.18, n.1, p.45-54, 1997.