

VARIAÇÃO RADIAL DO CAULE COMO UM INDICADOR PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM PLANTAS JOVENS DE CAFÉ (*Coffea arabica*)

Lucas Fernandes de Souza², Elias Fernandes de Sousa³, Everardo Chartuni Mantovani⁴, Marco Antonio Oliva Cano⁵

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café

² Eng. Agr., M.Sc., UENF, Campos dos Goytacazes, RJ

³ Eng. Agr., Professor, UENF, Campos dos Goytacaze, RJ, efs@uenf.br

⁴ Eng. Agr., Professor, UFV, Viçosa, MG

⁵ Agr., Professor, UFV, Viçosa, MG.

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo verificar se a variação radial do caule pode ser utilizada na detecção do estresse hídrico em plantas jovens de café arábica visando a utilização desta na programação da irrigação. Sob condições de casa de vegetação, a uma latitude de 20° 45' 14" Sul, longitude 42° 52' 55" Oeste e 648 metros de altitude, utilizou-se plantas cafeeiro (*Coffea arabica*), cultivar Catuaí, com aproximadamente 1 ano de idade, acondicionadas em vasos plásticos de 22 litros, em dois ciclos de irrigação e interrupção da irrigação. Nestes ciclos, além de dados climáticos, monitorou-se a variação do diâmetro do caule e o potencial da água foliar. A amplitude diária máxima (ADM) das plantas sem restrição hídrica refletiu diretamente as mudanças das variáveis climáticas (Temperatura média do ar e Déficit de pressão de vapor) e também da Evapotranspiração. A ADM mostrou-se um potencial indicador na planta na detecção do estresse hídrico de plantas jovens de café, visto que indicou precocemente a falta de água, antes mesmo do potencial da água foliar que é um indicador do status hídrico da planta bastante difundido.

Palavra-chave: variação dendrométrica, potencial da água na planta, cafeicultura irrigada

RADIAL VARIATION OF THE STEM AS AN INDICATOR FOR THE IRRIGATION MANAGEMENT IN YOUNG PLANTS OF COFFEE (*Coffea arabica*)

ABSTRACT: This study aimed to verify whether the radial variation of the stem can be used in the detection of water stress in young plants of arabica coffee for the management of irrigation. Under conditions of a greenhouse, at latitude 20 ° 45 '14" south, longitude 42 ° 52 '55" west and 648 meters, was used coffee plant (*Coffea arabica*) cultivar Catuaí, with approximately 1 year old, wrapped in plastic pots of 22 liters in two cycles of interruption of irrigation and irrigation. In In these cycles, was monitored weather data, the variation of the diameter of the stem and leaf water potential. The maximum daily amplitude (ADM) of the plants without water restriction directly reflected the changes of climatic variables (average temperature of air and vapor pressure deficit) and the evapotranspiration. ADM was a potential indicator in the detection of plant water stress of coffee, as stated earlier the lack of water, even before leaf water potential.

Key words: dendrometric variation, plant water potential, irrigated coffee

INTRODUÇÃO

Na busca de um manejo racional da irrigação, novas técnicas para detectar a deficiência hídrica nas plantas estão sendo desenvolvidas. As técnicas mais promissoras são aquelas baseadas nas próprias plantas, pois estas são as melhores indicadoras do déficit hídrico. Dentre estas, podem-se citar as medições do potencial da água foliar antemanhã e ao meio dia, da condutância estomática, da temperatura do dossel foliar, do fluxo de seiva e da variação radial do tronco (Jackson, 1982).

O fluxo de seiva (FS) e a variação radial diária do tronco (VRDT) estão sendo consideradas ferramentas em potencial no manejo da irrigação, pois estas técnicas permitem uma resposta imediata, consistente e confiável, da condição hídrica da planta (Eastman e Gray, 1998; Goldhamer *et al.*, 1999; Ortuño *et al.*, 2006).

O monitoramento da VRDT tem sido proposto como um indicador do status hídrico da planta (Klepper, 1968; Klepper *et al.*, 1971), cuja amplitude é relacionada com a condição hídrica da planta e depende da espécie e da demanda evaporativa do ar (Garnier e Berger, 1986; Huguet e Orlando, 1987; Ginestar e Castel, 1998).

Várias pesquisas com diferentes espécies de plantas anuais como algodão (Parlange *et al.*, 1975), milho (Katerji *et al.*, 1994), soja (So *et al.*, 1979) e de ramos de plantas lenhosas como laranjeira (Hilgeman, 1962; Ginestar e Castel, 1998), pessegueiro (Garnier e Berger, 1986; Goldhamer *et al.*, 1999; Li *et al.*, 1990; Simonneau *et al.*, 1993) e oliveira (Michelakis, 1997; Moriana *et al.*, 2000) foram realizadas, utilizando a variação do diâmetro do tronco, a fim de se obter através desta variável o status hídrico das plantas. Verificou-se que a variação do diâmetro do tronco tem uma relação direta e significativa com o potencial da água da folha antemanhã, além da possibilidade de ser um critério confiável para indicar o início do stress hídrico das plantas submetidas a variadas condições ambientais.

O diâmetro do tronco oscila em um ciclo de 24 horas, alcançando um valor máximo (Mxdt) um pouco antes do nascer do sol e um valor mínimo (Mndt) no período da tarde (Goldhamer e Fereres, 2001).

A diferença entre Mxdt e Mndt é conhecida como amplitude diária máxima (ADM). Este parâmetro é o mais utilizado no manejo da irrigação, pois possui uma relação direta com o potencial hídrico da planta, ou seja, quando o potencial hídrico da planta diminui a ADM aumenta linearmente (Garnier e Berger, 1986; Cabibel e Isberie, 1997).

A vantagem da medição da variação do diâmetro do tronco reside na sensibilidade do método em detectar o status hídrico da planta. O ponto desfavorável é que a representatividade da medida como indicador do déficit hídrico não é universal, devendo ser determinada para a espécie estudada a partir da sua relação com outros indicadores como potencial da água da folha, potencial matricial do solo, condutância estomática e a transpiração da planta (Rojas, 2003).

Este trabalho teve por objetivo verificar se a ADM pode ser utilizada na detecção do estresse hídrico em plantas jovens de café arábica visando a utilização desta na programação da irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação, na Unidade de Crescimento de Plantas (UCP), na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, a uma latitude de 20° 45' 14" Sul, longitude 42° 52' 55" Oeste e 648 metros de altitude.

O material vegetal utilizado foi o cafeeiro (*Coffea arabica*), cultivar Catuaí, com aproximadamente 1 ano de idade. As plantas estavam condicionadas em vasos plásticos de 22 litros com solo na proporção de 3:2:1, sendo argila:areia:composto, respectivamente.

A aplicação dos tratamentos foi realizada 15 dias após a transferência das plantas para os vasos de 22 litros. Este tempo foi necessário para que houvesse um melhor acondicionamento das plantas. O experimento consistiu de 2 ciclos de seca/irrigação, onde em cada ciclo houve 2 tratamentos, irrigado e não irrigado.

No tratamento irrigado, as plantas foram molhadas em dias alternados, manualmente, sempre mantidas na capacidade de campo. Para o tratamento sem irrigação, as plantas foram desprovidas totalmente da água. No momento em que as plantas alcançaram um potencial da água foliar entre -2,0 e -3,0 MPa, o tratamento foi suspenso, retornando a irrigação em todas as plantas.

Os dados do diâmetro do tronco foram obtidos utilizando-se dendrômetros, que foram acoplados ao tronco das plantas, 10 cm acima da superfície do solo. Os dendrômetros foram conectados a um datalogger (modelo DL2e, Delta-T Devices Ltd., UK), com leitura do diâmetro a cada 1 segundo e médias a cada 10 minutos.

Com os dados do diâmetro do tronco, foram obtidos diâmetros médios horários que foram utilizados no cálculo das seguintes variáveis: Amplitude diária máxima (ADM), obtida entre a diferença do máximo diâmetro do tronco do dia (Mxdt) e o mínimo diâmetro do tronco do mesmo dia (Mndt). Outra variável obtida foi a taxa de crescimento da planta devido ao Mndt e Mxdt (TCP_{Mn} e TCP_{Mx}), calculada entre a diferença do Mndt de dois dias consecutivos ($Mndt_i - Mndt_{i-1}$) e a diferença do Mxdt de dois dias consecutivos ($Mxdt_i - Mxdt_{i-1}$).

O potencial da água foliar (Ψ_f) foi obtido utilizando-se uma bomba de pressão. As medições foram realizadas antes do nascer do sol, onde foram utilizadas 3 folhas totalmente expandidas de cada planta, localizadas no terço médio das mesmas. As medições foram realizadas no mesmo local da coleta dos dados dos dendrômetros.

Os dados climáticos como a temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar foram registrados em uma estação meteorológica automatizada (Modelo 900 ET, WatchDog, USA), localizada dentro da casa de vegetação, ao lado das plantas. Os dados foram registrados em um intervalo de 30 minutos.

O déficit de pressão de vapor médio diário – DPV (KPa) foi calculado a partir da Equação (7), conforme descrito em Allen et al. (1998):

$$DPV = e_s - e_a \quad (1)$$

onde,

$$e_s = \frac{(e_{(T_{max})} + e_{(T_{min})})}{2} \quad (2)$$

$$e_{(T_{max})} = 0,6108 \cdot e^{\frac{(17,27 \cdot T_{max})}{(T_{max} + 237,3)}} \quad (3)$$

$$e_{(T_{min})} = 0,6108 \cdot e^{\frac{(17,27 \cdot T_{min})}{(T_{min} + 237,3)}} \quad (4)$$

$$e_a = \left[\frac{\left(e_{T_{min}} \cdot \frac{RH_{max}}{100} \right) + \left(e_{T_{max}} \cdot \frac{RH_{min}}{100} \right)}{2} \right] \quad (5)$$

e_s : Pressão de saturação do vapor médio (KPa);

e_a : Pressão de vapor atual (KPa);

$e_{T_{min}}$: Pressão de saturação do vapor para a mínima temperatura do dia (KPa);

$e_{T_{max}}$: Pressão de saturação do vapor para a máxima temperatura do dia (KPa);
 RH_{Max} : Umidade relativa máxima do dia (%);
 RH_{Min} : Umidade relativa mínima do dia (%).

Devido a ausência de vento dentro da casa de vegetação, a evapotranspiração de referência média diária – Eto ($mm \cdot dia^{-1}$) foi calculada através da equação de Hargreaves (12), de acordo com Allen et al. (1998).

$$Eto = 0,0023 \cdot (T_{med} + 17,8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot Ra \quad (6)$$

onde,

T_{med} : Temperatura média diária ($^{\circ}C$);
 T_{max} : Máxima temperatura do dia ($^{\circ}C$);
 T_{min} : Mínima temperatura do dia ($^{\circ}C$);
 Ra : Radiação extraterrestre em função da latitude e do dia do ano ($MJ \cdot m^2 \cdot dia^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tendência de crescimento das plantas controle e tratada durante todo o período experimental é indicada na Figura 1. A planta controle apresentou durante todo o período uma tendência de crescimento. Já a planta tratada, quando submetida ao estresse hídrico em dois períodos (DJ = 109 a DJ = 116) e (DJ = 148 a DJ = 152), apresentou uma tendência decrescente e, logo depois de reidratada (DJ = 117), a tendência voltou a ser crescente (dados não mostrados).

Em todas as relações, o aumento dos parâmetros climáticos correlacionou-se com aumento da ADM, de forma linear (Tabela 1). Para o primeiro ciclo, os valores de r^2 obtidos das regressões lineares variaram de 0,43 a 0,70. No segundo ciclo, as correlações foram melhores com valores de R^2 variando entre 0,51 e 0,72.

No primeiro ciclo de estresse hídrico, o parâmetro que melhor se relacionou com a ADM foi a Eto , seguido pela temperatura média e pelo DPV (Tabela 1). De maneira diferente, no segundo ciclo o que melhor se relacionou com a ADM foi o DPV, seguido pela Eto e por fim pela temperatura média (Tabela 1).

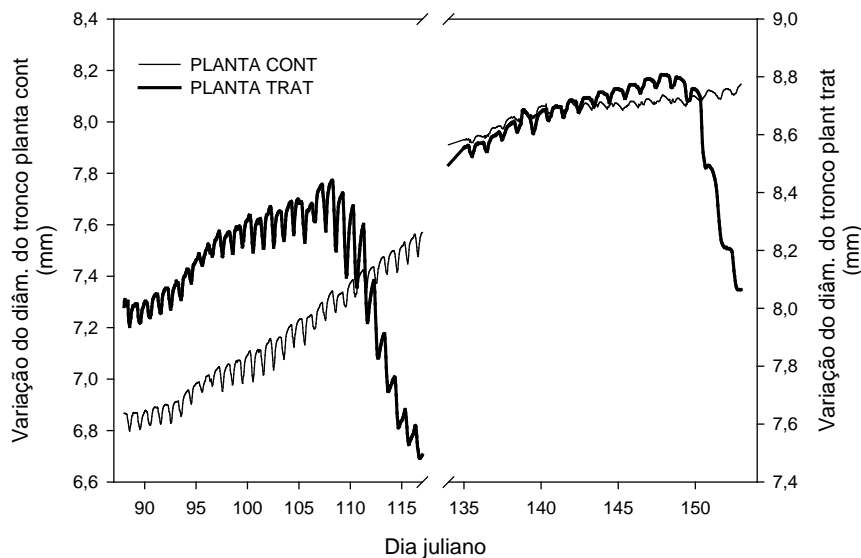


Figura 1. Variação do diâmetro do tronco para plantas controle e tratada no período de 29/03/2008 (DJ = 88) a 01/06/2008 (DJ = 152).

Tabela 1. Valores dos parâmetros das equações da regressão ($Y = Y_0 + ax$) entre amplitude diária máxima (ADM) e variáveis climáticas para dois ciclos de estresse hídrico. Abreviações: Eto = Evapotranspiração; DPV = déficit de pressão de vapor e T_{med} = temperatura média do ar. Asterísticos: ** e *** indicam significância para $p < 0,05$ e $p < 0,001$, respectivamente.

Fases	Regressão	y_0	a	r^2
Ciclo 1				
ADM x Eto	Linear	-0,0194	0,031	0,70**
ADM x DPV	Linear	0,0546	0,0353	0,43**

ADM x Tmed	Linear	-0,1996	0,0125	0,48**
------------	--------	---------	--------	--------

Ciclo 2

ADM x Eto	Linear	0,207	0,0099	0,65***
-----------	--------	-------	--------	---------

ADM x DPV	Linear	0,0324	0,013	0,72***
-----------	--------	--------	-------	---------

ADM x Tmed	Linear	-0,0668	0,0058	0,51**
------------	--------	---------	--------	--------

A variação da ADM em função do tempo para as plantas controle e tratadas e a variação do potencial da água foliar, para os dois ciclos de estresse hídrico estão indicadas na Figura 2. Para o primeiro ciclo, no DJ = 103, a irrigação foi cortada nas plantas tratadas. Observa-se que já no segundo dia após início do tratamento, a ADM das plantas tratadas é maior do que nas plantas controle (Figura 2, Ciclo 1, a).

A ADM permanece crescente até atingir seu valor máximo no DJ = 109. Nesse mesmo DJ, o potencial da água foliar para a planta tratada é maior que -0,5 MPa (Figura 2, Ciclo 1, b). Após atingir seu valor máximo, a ADM das plantas tratadas começa a decair. Nesse mesmo instante, os valores do potencial da água foliar das plantas tratadas começam a ficar mais negativos, atingindo -3 MPa no DJ = 116. Neste mesmo dia, o valor da ADM das plantas tratadas fica semelhante ao das plantas controle (Figura 2, Ciclo 1, a). A partir deste ponto, as plantas tratadas foram reidratadas (dados não mostrados).

No segundo ciclo, somente após oito dias sem água, o valor da ADM das plantas tratadas começa a aumentar em relação ao controle (Figura 2, Ciclo 2, a), um pouco antes do potencial da água foliar do tratamento diminuir em relação ao controle (Figura 2, Ciclo 2, b).

No DJ = 150, a ADM das plantas tratadas atinge seu valor máximo, decaindo posteriormente, tendendo a retornar aos valores semelhantes ao controle. Semelhante ao primeiro ciclo, a ADM começa a decair quando o estresse hídrico se torna mais severo (Figura 2, Ciclo 2, a e b).

Para o primeiro ciclo, à medida que Ψ_f se torna mais negativo a ADM aumenta. Após Ψ_f atingir o valor de -1,3 MPa, a ADM começa a cair (Figura 14a). O comportamento do segundo ciclo se assemelha ao primeiro, porém a ADM começa a cair quando o $\Psi_f = -1,65$ MPa (Figura 3b).

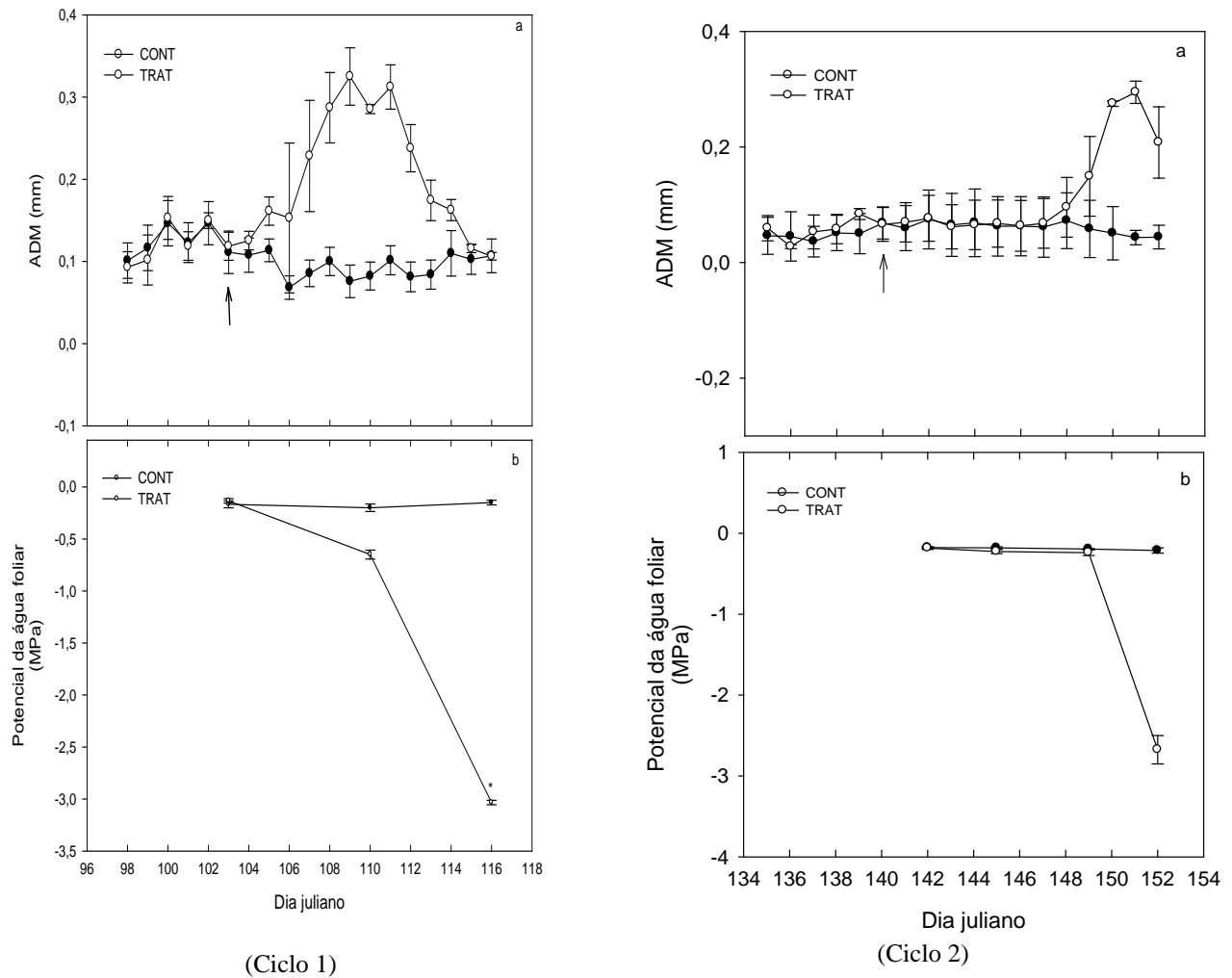


Figura 2. Amplitude diária máxima (a) e potencial de água foliar (b) de plantas sem restrição hídrica (CONT) e plantas sem irrigação (TRAT) para os ciclos 1 e 2, respectivamente, durante os períodos de 13/04/08 (DJ = 103) a 26/04/08 (DJ = 116) e de 20/05/08 (DJ = 140) a 01/06/08 (DJ = 152). Cada valor representa a média de duas plantas. Barras verticais representam o erro padrão das médias. (*) representa que as médias diferem significativamente entre si pelo teste *t* ao nível de 5% de probabilidade. Seta indica início do estresse hídrico.

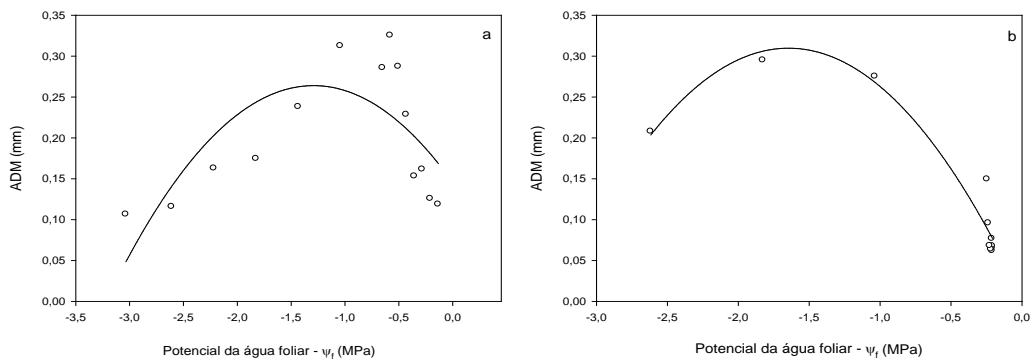


Figura 3. Relação entre a amplitude diária máxima (ADM) e o potencial da água foliar - Ψ_f (MPa) das plantas submetidas ao estresse hídrico para o primeiro ciclo (a) e segundo ciclo (b). Cada ponto equivale a média de duas plantas.

Comparando a ADM das plantas controle e tratada tanto para o primeiro ciclo quanto para o segundo, observa-se que antes da suspensão da irrigação, não há diferença da ADM entre tratamentos (Figura 2).

A partir do momento que a água é suspensa, logo a ADM das plantas tratadas começa a aumentar, levando um tempo maior para o segundo ciclo (Figura 2). Comportamento semelhante foi encontrado em outros estudos, onde a ADM aumenta no mesmo instante que o déficit hídrico aumenta para várias outras espécies, como pêssego (Garnier e Berger, 1986; Goldhamer et al., 1999), cereja (Cabibel e Isberie, 1997) e nozes (Cohen et al., 1997).

Em pessegueiros, observou-se que mesmo na ausência de diferença entre o potencial de água foliar das plantas controle e tratada, houve aumento significativo da ADM de plantas estressadas em relação às plantas controles (Remorini e Massai, 2003).

À medida que o potencial da água foliar se torna mais negativo, a ADM aumenta até alcançar um valor máximo (Figura 2). Ao alcançar um valor máximo, a ADM decai, no mesmo momento que a queda do potencial de água foliar se torna mais brusca (Figura 2), ou seja, o aumento da ADM das plantas tratadas está associado com a queda do potencial de água foliar até um valor limite, aproximadamente -1,3 MPa (Figura 3), comportamento também encontrado para as espécies de limão (Ortuño et al., 2004) e pêssego (Garnier e Berger, 1986).

Em limoeiros, a ADM aumentou até um determinado valor de Ψ_f , indicando que, quando o conteúdo de água no solo não estava muito baixo, a ADM foi um bom indicador da intensidade do fluxo de transpiração da planta (Huguet et al., 1992).

Outra explicação para a queda da ADM para um determinado valor do Ψ_f é o fim do recrutamento da água do floema, cambio e tecidos mais externos quando a água armazenada no tronco foi reduzida (Garnier e Berger, 1986; Huguet et al., 1992; Remorini e Massai, 2003). Para uma espécie de citrus, o valor do potencial da água foliar antemãhã, na qual a ADM começa a diminuir foi de -1,0 MPa (Ortuño et al., 2004).

CONCLUSÕES

A amplitude diária máxima (ADM) das plantas sem restrição hídrica refletiu diretamente as mudanças das variáveis climáticas (Temperatura média do ar e Déficit de pressão de vapor) e também da Evapotranspiração.

A ADM mostrou-se um potencial indicador na planta na detecção do estresse hídrico de plantas jovens de café, visto que indicou precocemente a falta de água, antes mesmo do potencial da água foliar que é um indicador do status hídrico da planta bastante difundido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, R.S., RAES, D., SMITH, M. (1998) Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage* 56. FAO, Roma.
- CABIBEL, B., ISBERIE, C. (1997). Flux de se`ve et alimentation hydrique de cerisiers irrigue´s ou non en localisation. *Agronomie* 17:97–112.
- COHEN, Y., AMELIO, T., CRUIZIAT, P., ARCHER, P., VALANCOGNE, C., DAYAU, S. (1997) Yield and physiological responses of walnut trees in semiarid conditions: application to irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 449:273-280.
- EASTHMAN, J., GRAY, S.A. (1998) A preliminary evaluation of the suitability of sap flow sensors for use in scheduling vineyard irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.* 49:171-176.
- GARNIER, E., BERGER, A. (1986) Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *Journal of Applied Ecology*, 23:193-209.
- GINESTAR, C., CASTEL, J.R. (1998) Use of stem dendrometers as indicators of water stress in drip-irrigated citrus trees. *Acta Horticulturae*, 421:209-216.
- GOLDHAMER, D.A., FERERES, E. (2001) Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20:115-125.
- GOLDHAMER, D.A., FERERES, E., MATA, M., GIRONA, J., COHEN, M. (1999) Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal American Soc. Hort. Sci.* 124:437-444.
- HILGEMAN, H. (1962) Trunk growth of the Valencia orange in relation to soil moisture and climate. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 82:193-199.
- HUGUET, J.G., LI, S.H., LORENDEAU, J.Y., PELLOUX, G. (1992) Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation. *J. Hort. Sci.* 67:631–640.

- HUGUET, J.G., ORLANDO, P. (1987) Lês besoins em eau et la bioprogrammation. *L'Arboriculture Fruitière*, 396:19-24.
- JACKSON, R.D. (1982) Canopy temperature and crop water stress: Water Resour. *Journal of Experimental Botany*, 132:67-77.
- KATERJI, N., TARDIEU, F., BETHENOD, O., QUETIN, P. (1994) Behavior of maize stem diameter during drying cycles: comparison of two methods for detecting water stress. *Crop Sci.*, 34:165-169.
- KLEPPER, B. (1968) Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiol.* 43:1931-1934.
- KLEPPER, B., BROWNING, V.D., TAYLOR, H.M. (1971) Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiol.* 48:683-685.
- LI, S.H., HUGUET, J.G., SCHOCH, P.G., BUSSI, C. (1990) Réponse de jeunes pêcheurs cultivés en pots à différents régimes d'alimentation hydrique. I: Conséquences sur la transpiration, la résistance osmotique, le potentiel hydrique foliaire, la photosynthèse et les variations micromorphométriques des tiges. *Agronomie*, 10:263-272.
- MICHELAKIS, N. (1997) Daily stem radius variations as indicators to optimize olive tree irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*, 449:297-305.
- MORIANA, A., FERERES, E., ORGAZ, F., CASTRO, J., HUMANES, M.D., PASTOR, M. (2000) The relations between trunk diameter fluctuations and the water status in olive trees (*Olea europea* L.). *Acta Horticulturae*, 537:293-297.
- ORTUÑO, M.F., ALARCÓN, J.J., NICOLÁS, E., TORRECILLAS, A. (2004) Interpreting trunk diameter changes in Young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Sci.* 167:275-280.
- ORTUÑO, M.F., GARCIA-ORELLANA, Y., CONEJERO, W., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., ALARCÓN, J.J., TORRECILLAS, A. (2005) Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Springer-Verlag*. p.1-8.
- ORTUÑO, M.F., GARCIA-ORELLANA, Y., CONEJERO, W., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., MOUNZER, O., ALARCÓN, J.J., TORRECILLAS, A. (2006) Relationships between climatic variables and sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant and Soil.* 279:229-242.
- PARLANGE, J.Y., TURNER, N.C., WAGGONER, P.E. (1975) Water uptake, diameter change and nonlinear diffusion in tree stems. *Plant Physiology*, 55:247-250.
- REMORINI, D., MASSAI, R. (2003) Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrig. Sci.* 22:39-46.
- ROJAS, J.S.D. (2003) *Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 110p.
- SIMONNEAU, T., HABIB, R., GOUTOULY, J.P., HUGUET, J.G. (1993) Diurnal changes in stem diameter depend upon variations in water content: Direct evidence in peach trees. *Journal of Experimental Botany*, 44(260):615-621.
- SO, H.B., REICOSKY, D.C., TAYLOR, H.M. (1979) Utility of stem diameter changes as predictors of plant canopy water potential. *Agronomy Journal*, 71:707-713.