

# SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

## BALANÇO DE ÁGUA NO VOLUME DE SOLO EXPLORADO PELO SISTEMA RADICULAR DE UMA PLANTA DE CITROS<sup>(1)</sup>

Antônio Carlos Rodrigues Cruz<sup>(2)</sup>, Paulo Leonel Libardi<sup>(3)</sup>,  
Laércio Alves de Carvalho<sup>(4)</sup> & Genelício Crusóé Rocha<sup>(5)</sup>

### RESUMO

A produtividade das culturas agrícolas, associada às condições climáticas e edáficas, depende da disponibilidade de água e nutrientes no solo em época e quantidades apropriadas. A falta ou excesso de água no solo são fatores limitantes ao crescimento vegetal e podem diminuir a produtividade. Portanto, estudos que levem a um melhor entendimento de como a água se comporta na zona radicular de uma cultura agrícola no campo são de importância indiscutível ao adequado manejo agrícola. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o método do balanço de água no solo aplicado ao volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros, considerando cinco profundidades de solo e cinco distâncias horizontais do tronco em duas direções a partir do tronco (uma ao longo e outra perpendicular à linha de plantas) e, então, verificar a contribuição de cada uma das camadas de solo avaliadas à evapotranspiração real da planta. O experimento foi realizado num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argissólico em um pomar de citros, no município de Piracicaba (SP), durante dois períodos, um seco (40 dias) e um chuvoso (37 dias). Para atender ao objetivo proposto, um conjunto de 25 tensiômetros (cinco profundidades x cinco distâncias do tronco) foi instalado ao longo da linha e um outro, idêntico, perpendicular à linha, em direção à entrelinha. A armazenagem foi calculada a partir das leituras dos dois conjuntos de 25 tensiômetros cujos potenciais mátricos determinados foram convertidos em umidades volumétricas pelas

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor e do Projeto de Cooperação Acadêmica entre os Programas de Pós-Graduação do CCA/UFC e da ESALQ/USP (PROCAD 2000 da CAPES). Recebido para publicação em setembro de 2003 e aprovado em dezembro de 2004.

<sup>(2)</sup> Assessor Técnico Especializado do Ministério do Meio Ambiente – MMA. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável (SDS). E-mail: antonio-carlos.cruz@mma.gov.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: pllibard@esalq.usp.br

<sup>(4)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq. E-mail: lcarvalh@esalq.usp.br

<sup>(5)</sup> Professor Substituto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Av. Engenheiro Diniz 1178, Caixa Posta 593, CEP 38400-902 Uberlândia (MG). E-mail: genecrusoe@yahoo.com.br

curvas de retenção da água no solo. A drenagem interna e a ascensão capilar foram estimadas a partir das leituras diárias dos tensiômetros e da função  $K(\phi_m)$  (condutividade hidráulica em função do potencial mátrico), por meio da equação de Darcy-Buckingham. Esta função  $K(\phi_m)$  para cada profundidade foi determinada pelo método do perfil instantâneo realizado em área adjacente. A precipitação pluvial foi medida por pluviômetro com aquisição automática de dados instalado na área. Os resultados obtidos mostraram que o método do balanço de água proposto foi adequado para avaliar quanto cada camada de solo da zona radicular da planta contribuiu para o consumo total de água (evapotranspiração real) da planta, nos dois períodos estudados. Nesse sentido, a camada de 0,00 a 0,60 m de profundidade mostrou ser a que a planta deve apresentar maior volume de raízes ativas, de acordo com sua maior contribuição ao consumo de água pela planta.

**Termos de indexação:** Latossolo, condutividade hidráulica, potencial mátrico.

**SUMMARY:** *WATER BALANCE IN THE SOIL VOLUME OF A CITRUS PLANT ROOT SYSTEM*

*Crop yields, associated to weather and soil conditions, depend on the availability of water and nutrients in the soil at the appropriate time and amounts. Lack and excess of water in the soil are limiting factors for plant growth and can reduce the productivity. Therefore, studies leading to a better understanding of how water behaves within the root zone of a field crop are of unquestionable importance for an adequate agricultural management. Objectives of this study were the evaluation of the methodology of soil water balance applied to the soil volume used by the root system of a citrus plant, considering five soil depths and five horizontal distances from the stem in two directions from the stem (one along and the other perpendicular to the plant row); and second, to verify the contribution of each evaluated soil layer to the actual plant evapotranspiration. The experiment was carried out on an Oxisol with a citrus orchard in Piracicaba, state of São Paulo, Brazil, during 40 days (dry period) and 37 days (rainy period). To attain the goal set, two sets of 25 tensiometers (5 depths x 5 distances from the stem) were installed: one along the plant row and the other perpendicular to it. Water storage was calculated from the readings of the two tensiometer sets whose matric potentials were converted into volumetric soil water contents by the respective soil water retention curve. The internal drainage and the capillary rise were determined by the Darcy-Buckingham equation through daily readings of the installed tensiometers and by the function  $K(\phi_m)$  (hydraulic conductivity in function of the matric potential). The soil hydraulic conductivity for each depth was determined by the instantaneous profile method in an adjacent area. A rain gauge with automatic data acquisition installed in the area measured the rain. The obtained results allowed the conclusion that the proposed soil water balance methodology adequately evaluated how each soil layer of the plant root zone contributed to the total plant water use (actual plant evapotranspiration) in the two studied periods. In this sense, the 0.00 to 0.60 m soil layer should be the one in which citrus should have the greatest volume of active roots since the contribution of this layer to the plant water use was the highest.*

*Index terms:* Oxisol, hydraulic conductivity, matric potential.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento detalhado da dinâmica da água durante o desenvolvimento de uma cultura fornece elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visam à otimização da produtividade. Estudos da dinâmica da água em condições de campo, dando ênfase a fluxos de água na zona radicular da cultura,

são escassos e, muitas vezes, incompletos (Reichardt et al., 1979). Os trabalhos de Black et al. (1970), Cruciani (1972), Pereira et al. (1974) e Silva et al. (2001) enfatizam fluxos de drenagem abaixo da zona radicular. Outros trabalhos, utilizando o mesmo método, não foram encontrados na literatura, provavelmente em razão das dificuldades apresentadas pelo método no que diz respeito ao conhecimento detalhado das propriedades hídricas do solo.

Gardner (1983) relacionou a distribuição radicular de sorgo medida com a estimada por modelo matemático e, já nesse trabalho, comentava sobre a dificuldade em obter uma boa estimativa da distribuição radicular a partir de amostras de solo.

Rose & Stern (1967) fizeram uma análise completa e detalhada do consumo de água no solo pelas raízes de uma cultura. A aplicação do método proposto por esses autores é difícil, considerando a necessidade de uma caracterização físico-hídrica detalhada do perfil do solo. Reichardt et al. (1979) utilizaram-se deste método e concluíram que, apesar das dificuldades já citadas, o estabelecimento de um balanço hídrico completo pode fornecer informações úteis para o manejo correto de diferentes culturas em diferentes solos. Os estudos realizados com distribuição de raízes em citros são bastante variados e têm apresentado resultados nem sempre concordantes. As dificuldades de extrapolação dos resultados desses estudos a partir de amostras de solo têm sido grandes e suscitado discussões. As novas técnicas de tratamento de imagens obtidas a partir de fotografias têm contribuído para a melhoria de trabalhos de descrição espacial da distribuição radicular em citros.

Os trabalhos realizados por Montenegro (1960) e Moreira (1983), com diferentes tipos de laranjeiras e com diferentes porta-enxertos, são os mais detalhados. Cintra et al. (2000), utilizando a técnica de tratamento de imagens obtidas por fotografia, em solo do ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, contribuíram também para o melhor entendimento da formação de raízes para a cultura de citros e sua distribuição espacial em relação à copa.

O consumo de água pelas comunidades vegetais é uma propriedade importante a ser considerada nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas. Uma forma pela qual esse consumo (evapotranspiração real) pode ser determinado é pelo método do balanço de água no solo.

O método do balanço de água num volume de controle de solo tem sido apresentado por vários autores (Rose, 1966; Slatyer, 1967; Rose & Stern, 1967; Barrada, 1971; Reichardt et al., 1979; Guandique & Libardi, 1997; Cintra et al., 2000), sendo seus componentes (precipitação, irrigação, evapotranspiração, deflúvio superficial, drenagem, ascensão capilar e variação da armazenagem de água no solo) apresentados numa forma integrada ou diferenciada numa equação geral de balanço de massa. Atualmente, a ênfase destes balanços tem sido dada à disponibilidade de água no solo relacionada com elementos climáticos e desenvolvimento vegetal. A disponibilidade de água no solo não se baseia apenas em dados de precipitação pluvial, também é necessário levar em conta as perdas de água no solo para a atmosfera, que se verificam normalmente pela perda de água

por evaporação mais transpiração vegetal (Andreatta, 1990). A determinação desses componentes pode ser feita por diferentes técnicas.

Com vistas no entendimento mais detalhado de como uma planta utiliza a água no volume de solo explorado por seu sistema radicular, desenvolveu-se o presente trabalho no qual se estimam os processos do balanço de água em cinco camadas de solo em profundidade e cinco distâncias do tronco de uma planta de citros em duas direções (ao longo da linha de plantio e perpendicular à linha de plantio).

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em campo experimental de citros variedade Valência sobre porta-enxerto limão 'Cravo' (*Citrus reticulata* var. *austera*), com 11 anos de idade, no município de Piracicaba (SP). Desta comunidade de plantas foi escolhida uma para a quantificação dos processos do balanço de água por camadas. A caracterização morfológica do solo (Quadro 1) foi realizada em trincheira aberta na área, de onde foram retiradas amostras para as seguintes determinações: análise granulométrica, análise química e determinação de óxidos por ataque sulfúrico, segundo o método utilizado no laboratório do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argissólico (Embrapa, 1999).

A equação do balanço de água no solo em sua forma integrada pode ser escrita como:

$$P + I - D + AC - ET \pm R = \pm \Delta h_z \quad (1)$$

sendo: P - precipitação (mm); I - irrigação (mm) = 0, a área não foi irrigada; D - drenagem interna (mm); AC - ascensão capilar (mm); ET - evapotranspiração real (mm); R - deflúvio superficial (mm) = 0, a área apresenta menos de 1 % de declividade;  $\Delta h_z$  - variação da armazenagem (mm) desde a superfície do solo até à profundidade z.

Medindo todos os elementos desta equação (1), pode-se, variando o valor da profundidade z, estudar a retirada de água da cultura por ET, para camadas de solo de espessura arbitrária. Este procedimento, simples, à primeira vista, é difícil, principalmente no que se refere às medidas do fluxo de água no solo, por depender do conhecimento detalhado das propriedades hídricas do perfil. Estas propriedades hídricas foram medidas, segundo procedimento descrito no subitem Caracterização Físico-Hídrica do solo a seguir, resultando em equações cujos parâmetros são apresentados nos quadros 2 e 3. A armazenagem de água por camada e a umidade volumétrica  $\theta$  por profundidade com o tempo foram quantificadas, utilizando as curvas de retenção

**Quadro 1. Análises químicas e classificação textural de amostras de solo retiradas de trincheira aberta na área de estudo**

Hori- zonte	Profundidade	pH CaCl <sub>2</sub>	MO	P	S	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	T	V	Classe textural
	cm		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%			
A <sub>p</sub>	0-5	5,3	24	12	63	1,1	23	9	0	20	33,1	53,1	62	Franco-arenosa
A <sub>2</sub>	5-22	4,5	15	5	10	1,1	10	4	3	22	15,1	37,1	41	Franco-arenosa
B <sub>w1</sub>	22-48	4,3	7	3	12	0,4	5	4	3	18	9,4	27,4	34	Franco-argilo-arenosa
B <sub>w2</sub>	48-72	4,4	7	3	22	0,3	6	4	3	18	10,3	28,3	36	Franco-argilo-arenosa
B <sub>w3</sub>	72-100	4,6	7	2	24	0,2	5	3	0	15	8,2	23,2	35	Franco-argilo-arenosa
B <sub>w4</sub>	100-135	4,8	7	2	19	0,4	6	2	0	15	8,4	23,4	36	Franco-argilo-arenosa
B <sub>w5</sub>	135+	5,2	8	2	30	0,2	8	1	0	12	9,2	21,2	43	Franco-argilo-arenosa

(Quadro 2) e os valores de potencial mátrico  $\phi_m$  obtidos por meio de tensiômetros com manômetros de mercúrio. As densidades de fluxo de drenagem interna ou ascensão capilar por camada foram medidas utilizando a equação de Darcy-Buckingham, as funções  $\theta(\phi_m)$  e  $K(\theta)$  (Quadros 2 e 3, respectivamente) e os potenciais mátricos medidos ao longo do tempo.

Foram instalados tensiômetros em cinco profundidades (0,20, 0,40, 0,60, 0,80, 1,00 m) e a cinco distâncias do tronco (0,40, 0,80, 1,20, 1,60 e 2,00 m). Dois destes conjuntos de 25 tensiômetros foram instalados: um em direção à linha, e outro, em direção à entrelinha de cultivo (Figura 1). A escolha deste intervalo de profundidade (0,20 m) deveu-se à dificuldade de instalação dos aparelhos e baseou-se em dados da literatura (por exemplo, Cintra et al., 2000) com relação à quantidade de raízes ao longo do perfil de solo cultivado com citros.

A contabilização da entrada de água por precipitação foi feita por meio de equipamento agrometeorológico (Tipping Bucket Rain gauge – Model TB3 – Hydrological Services Pty Ltd.) instalado próximo à planta avaliada.

### Caracterização físico-hídrica do solo

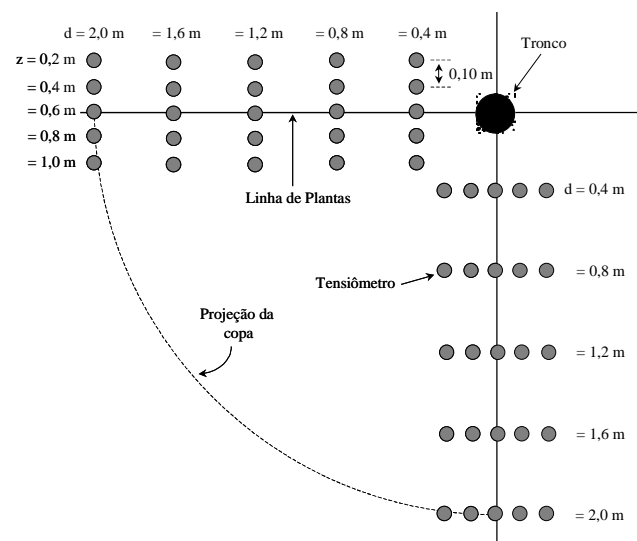
Foram coletadas dez amostras de solo com estrutura indeformada, em cada uma das profundidades de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 e 1,1 m, para determinação das curvas de retenção (Quadro 2). Foi utilizada uma amostra para cada tensão e as tensões utilizadas foram 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10,0 kPa em funil de placa porosa e 30, 50, 100, 500 e 1.500 kPa em câmaras de pressão de Richards, conforme método descrito em Libardi (2000). Os resultados de retenção da água no solo obtidos foram ajustados à equação abaixo (van Genuchten, 1980):

$$\theta = \theta_r \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha|\phi_m|)^m\right]^n} \quad (2)$$

com o intuito de transformar os dados de potencial mátrico  $\phi_m$  medidos ao longo do tempo por meio de tensiômetros em dados de umidade volumétrica  $\theta$ . Na equação (2),  $\theta_r$  = umidade residual,  $\theta_s$  = umidade de saturação e  $\alpha$ ,  $m$ ,  $n$  = constantes empíricas. Os parâmetros da equação (2), obtidos para as respectivas profundidades, encontram-se no quadro 2, no qual foram colocados também os dados de densidade do solo. A condutividade hidráulica  $K$  em função da umidade do solo  $\theta$  para as mesmas profundidades foi determinada pelo método do perfil instantâneo (Watson, 1966) no campo (Carvalho, 2003) em área adjacente à planta escolhida. A equação representativa desta função foi da forma exponencial:

$$K = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (3)$$

em que  $K_0$  e  $\theta_0$  são a condutividade hidráulica e a umidade volumétrica, respectivamente, no tempo



**Figura 1. Distribuição dos tensiômetros instalados sob a copa da planta de citros: z = profundidade do solo, d = distância do tronco.**

zero de redistribuição do método do perfil instantâneo e  $\gamma$  a inclinação da reta  $\ln K$  em função de  $\theta$ . Os valores de  $K_0$ ,  $\theta_0$  e  $\gamma$ , bem como o coeficiente de determinação  $r^2$  da regressão linear entre  $\ln K$  e  $\theta$ , são mostrados no quadro 3 para as diversas profundidades do solo estudado.

As profundidades escolhidas para a totalização da armazenagem foram de 0,40, 0,60, 0,80, 1,00 e 1,10 m. As profundidades acima de 0,40 m não foram possíveis de ser avaliadas pela dificuldade de estabelecer um gradiente para a profundidade de 0,20 m. Como dito anteriormente, as densidades de fluxo de água por camada foram obtidas utilizando-se a equação de Darcy-Buckingham que, na direção vertical, tem a forma:

$$\vec{q} = -K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \hat{k} \quad (4)$$

sendo  $\vec{q}$  a densidade de fluxo,  $K(\theta)$  a condutividade hidráulica  $K$ , função da umidade  $\theta$ ,  $\frac{\partial \phi_t}{\partial z}$  o gradiente de potencial total e  $\hat{k}$  o vetor unitário na direção vertical. Para a profundidade de 0,40 m, o gradiente foi determinado pelos potenciais totais das profundidades de 0,20 e 0,60 m; para a profundidade de 0,60 m, pelos potenciais totais a 0,40 e 0,80 m e, assim, sucessivamente até à profundidade de 1,0 m, pelos potenciais totais a 0,80 e 1,10 m.

Foram escolhidos dois períodos para o monitoramento dos processos do balanço de água no solo sob a planta de citros. O primeiro, entre os dias 09/02/2002 e 20/03/2002 (considerado período chuvoso), e o segundo entre os dias 01/04/2002 e 07/05/2002 (considerado período seco).

Foi adotado o procedimento de monitorar apenas uma planta, sem repetições, porque o objetivo foi o de estudar a contribuição de pequenos volumes de controle de solo à evapotranspiração real, horizontal e verticalmente no volume de solo explorado pelo sistema radicular da planta (Figura 1), pelo método do balanço de água no solo, sem a preocupação com o valor da evapotranspiração real em si no intuito de extrapolar dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos quadros 4, 5, 6 e 7, encontram-se os resultados do balanço de água realizado para os dois períodos escolhidos e nas duas direções avaliadas. Os quadros 4 e 5 correspondem aos balanços realizados no período chuvoso. Nestes balanços, observa-se que a contribuição à evapotranspiração real é maior nas camadas superficiais até à profundidade de 0,60 m, sendo maior de 0 a 0,40 m.

**Quadro 2. Parâmetros da equação (2) ajustada aos dados de retenção de água no solo juntamente com a densidade do solo em cada profundidade amostrada**

Profundidade	Parâmetro de ajuste da equação (2)					Densidade do solo
	$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	$m$	$n$	
m	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>					kg m <sup>-3</sup>
0,20	0,302	0,166	1,002	1,414	1,267	1760
0,40	0,343	0,179	0,168	1,489	28,499	1660
0,60	0,334	0,146	2,415	2,563	0,472	1550
0,80	0,347	0,153	2,098	2,605	0,740	1520
1,00	0,371	0,156	1,140	1,826	2,131	1530
1,10	0,376	0,154	0,099	1,479	4,115	1490

**Quadro 3. Parâmetros da equação (3) e respectivos coeficientes de determinação, obtidos em experimento de determinação da condutividade hidráulica, pelo método do perfil instantâneo no campo**

Profundidade	Parâmetro de ajuste da equação (3)			Coeficiente de determinação
	$\theta_0$	$K_0$	$\gamma$	
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	m h <sup>-1</sup>		r <sup>2</sup>
0,20	0,302	0,0045	82,07	0,977
0,40	0,343	0,9390	80,99	0,998
0,60	0,334	0,3080	70,24	0,999
0,80	0,347	1,1040	63,41	0,999
1,00	0,370	0,8570	47,45	0,995
1,10	0,375	0,2500	41,49	0,996

**Quadro 4. Balanço de água por camada e por distância do tronco para o período chuvoso (09/02 a 20/03/2002) em direção à linha**

Distância do tronco	Camada de solo	Variação de Armazenagem	Drenagem interna	Ascensão capilar	Precipitação	Contribuição a evapotranspiração real	Contribuição diária
	m			mm			mm dia <sup>-1</sup>
0,4	0,0-0,4	-29,70	100,00	0,00	153,34	83,04	2,24
	0,4-0,6	-23,70	75,00	0,00		48,70	1,32
	0,6-0,8	-22,61	70,00	0,00		27,61	0,75
	0,8-1,0	-18,00	62,00	0,00		26,00	0,70
	1,0-1,1	-15,00	55,00	0,00		22,00	0,59
0,8	0,0-0,4	-35,78	104,00	0,00	153,34	85,12	2,30
	0,4-0,6	-23,02	80,00	0,00		47,02	1,27
	0,6-0,8	-24,26	76,00	0,00		28,26	0,76
	0,8-1,0	-18,00	64,00	0,00		30,00	0,81
	1,0-1,1	-15,00	56,00	0,00		23,00	0,62
1,2	0,0-0,4	-28,02	102,00	0,00	153,34	79,36	2,14
	0,4-0,6	-28,76	80,00	0,00		50,76	1,37
	0,6-0,8	-33,45	76,00	0,00		37,45	1,01
	0,8-1,0	-18,00	61,00	0,00		33,00	0,89
	1,0-1,1	-15,00	51,00	0,00		25,00	0,68
1,6	0,0-0,4	-28,13	105,00	0,00	153,34	76,47	2,07
	0,4-0,6	-30,44	84,00	0,00		51,44	1,39
	0,6-0,8	-30,88	79,00	0,00		35,88	0,97
	0,8-1,0	-18,00	63,00	0,00		34,00	0,92
	1,0-1,1	-15,00	56,00	0,00		22,00	0,59
2,0	0,0-0,4	-20,59	106,00	0,00	153,34	67,93	1,84
	0,4-0,6	-23,47	83,00	0,00		46,47	1,26
	0,6-0,8	-29,63	79,00	0,00		33,63	0,91
	1,0-1,0	-18,00	64,00	0,00		33,00	0,89
	1,1	-15,00	57,00	0,00		22,00	0,59

Não é observada ascensão capilar em decorrência da grande precipitação pluvial neste período. A ocorrência de drenagem interna é grande pelo mesmo motivo.

Comparando os dados dos quadros 4 e 5, verificou-se não haver diferenças nas duas direções avaliadas. Esperava-se que, em virtude da possível sobreposição de raízes em direção à linha, ocorresse maiores diferenças de comportamento da ET entre as duas direções, fato não verificado.

Neste período, embora com pequenas diferenças, em média, 70 % da água evapotranspirada é proveniente das camadas superficiais de 0 a 0,60 m. Os 30 % restantes são divididos entre as outras três camadas, com quase 20 % sendo proveniente da camada de 0,60 a 0,80 m.

Os quadros 6 e 7 são referentes ao período considerado seco e apresentaram resultados diferentes em relação ao período chuvoso. A ascensão capilar foi verificada, indicando contribuição das camadas mais profundas ao consumo de água em períodos de menor precipitação nesta classe de solo. Observou-se agora maior contribuição à ET da camada de 0,40 a 0,60 m no total do balanço de água, indicando a ocorrência de maior volume de raízes nesta camada de solo, como observado nos trabalhos de Montenegro (1960), Moreira (1983) e Nooling (1992). Para Ford (1954),

a camada de maior volume de raízes foi de 0,75 a 1,50 m. Durante este período mais seco, também ocorreu uma contribuição maior das camadas de 0 a 0,60 m que correspondeu a 70 a 80 % do total de água evapotranspirada. A camada de 1,0 a 1,10 m mostrou contribuição bem menor do que aquela verificada durante o período chuvoso. Enquanto, no período chuvoso, esta camada contribuiu com 10 % do total, no período seco, esta contribuição reduziu-se para 3-4 % em média e, em algumas posições, não houve contribuição.

A adoção de 1,10 m como profundidade limite para o cálculo do balanço, sugerida pelos estudos realizados por Montenegro (1960), Kolesnikov (1971), Jones & Embleton (1973), Moreira (1983) e Nooling (1992) foi adequada e pôde-se estimar com segurança o consumo de água pela planta por camada e distância do tronco. As sugestões de 2 m para o raio máximo de crescimento em relação ao tronco encontradas em Montenegro (1960), Kolesnikov (1971) e Moreira (1983) também foram corroboradas pelos resultados deste estudo.

Os tensiômetros instalados em direção à entrelinha, durante o período seco, mediram potenciais mátricos que resultaram em consumo de água superior na camada que vai de 0 a 0,60 m com maior consumo ocorrendo na camada de 0,40 a 0,60 m. Em relação à distância do tronco, não foram

**Quadro 5. Balanço de água por camada e por distância do tronco para o período chuvoso (09/02 a 20/03/2002) em direção à entrelinha**

Distância do tronco	Camada de solo	Variação de Armazenagem	Drenagem interna	Ascensão capilar	Precipitação	Contribuição a evapotranspiração real	Contribuição diária
m		mm			mm dia <sup>-1</sup>		
0,4	0,0-0,4	-32,00	102,00	0,00	153,34	83,34	2,25
	0,4-0,6	-24,44	75,00	0,00		51,44	1,39
	0,6-0,8	-34,36	70,00	0,00		39,36	1,06
	0,8-1,0	-18,00	62,00	0,00		26,00	0,70
	1,0-1,1	-15,00	55,00	0,00		22,00	0,59
0,8	0,0-0,4	-30,00	105,00	0,00	153,34	78,34	2,12
	0,4-0,6	-10,78	80,00	0,00		35,78	0,97
	0,6-0,8	-22,03	70,00	0,00		32,03	0,87
	0,8-1,0	-18,00	62,00	0,00		26,00	0,70
	1,0-1,1	-15,00	55,00	0,00		22,00	0,59
1,2	0,0-0,4	-31,00	103,00	0,00	153,34	81,34	2,20
	0,4-0,6	-25,04	80,00	0,00		48,04	1,30
	0,6-0,8	-29,92	76,00	0,00		33,92	0,92
	0,8-1,0	-18,00	62,00	0,00		32,00	0,86
	1,0-1,1	-15,00	55,00	0,00		22,00	0,59
1,6	0,0-0,4	-33,00	101,00	0,00	153,34	85,34	2,31
	0,4-0,6	-22,70	84,00	0,00		39,70	1,07
	0,6-0,8	-23,14	75,00	0,00		32,14	0,87
	0,8-1,0	-18,00	62,00	0,00		31,00	0,84
	1,0-1,1	-15,00	55,00	0,00		22,00	0,59
2,0	0,0-0,4	-30,00	102,00	0,00	153,34	81,34	2,20
	0,4-0,6	-22,00	83,00	0,00		41,00	1,11
	0,6-0,8	-21,00	79,00	0,00		25,00	0,68
	0,8-1,0	-18,00	75,00	0,00		22,00	0,59
	1,0-1,1	-15,00	55,00	0,00		35,00	0,95

**Quadro 6. Balanço de água por camada e por distância do tronco para o período seco (01/04 a 07/05/2002) em direção à linha**

Distância do tronco	Camada de solo	Variação de Armazenagem	Drenagem interna	Ascensão capilar	Precipitação	Contribuição a evapotranspiração real	Contribuição diária
m		mm			mm dia <sup>-1</sup>		
0,4	0,0-0,4	21,00	26,00	0,00	53,50	6,50	0,18
	0,4-0,6	15,00	4,00	0,00		7,00	0,19
	0,6-0,8	3,00	1,00	0,00		0,00	0,00
	0,8-1,0	2,00	1,00	3,00		1,00	0,03
	1,0-1,1	2,00	2,00	3,10		0,10	0,00
0,8	0,0-0,4	20,00	25,00	0,00	53,50	8,50	0,23
	0,4-0,6	10,00	7,00	0,00		8,00	0,22
	0,6-0,8	2,00	6,00	3,60		2,60	0,07
	0,8-1,0	-1,50	5,00	3,80		2,70	0,07
	1,0-1,1	-2,00	5,00	3,60		1,80	0,05
1,2	0,0-0,4	20,00	25,00	1,00	53,50	9,50	0,26
	0,4-0,6	8,00	5,00	3,00		14,00	0,38
	0,6-0,8	1,00	4,00	3,20		0,20	0,01
	0,8-1,0	2,00	1,00	3,10		0,90	0,02
	1,0-1,1	-0,10	0,00	2,50		0,50	0,01
1,6	0,0-0,4	23,00	25,00	0,00	53,50	5,50	0,15
	0,4-0,6	5,00	6,00	0,00		14,00	0,38
	0,6-0,8	3,50	2,00	1,70		2,20	0,06
	0,8-1,0	0,10	3,80	3,80		0,20	0,01
	1,0-1,1	1,20	2,60	3,80		0,00	0,00
2,0	0,0-0,4	22,00	25,00	0,00	53,50	6,50	0,18
	0,4-0,6	14,00	5,00	1,20		7,20	0,19
	0,6-0,8	3,80	1,00	1,90		0,90	0,02
	0,8-1,0	-0,90	2,00	2,70		0,70	0,02
	1,0-1,1	-1,70	3,00	2,80		0,80	0,02

**Quadro 7. Balanço de água por camada e por distância do tronco para o período seco 01/04 a 07/05/2002 em direção à entrelinha**

Distância do tronco	Camada de solo	Variação de Armazenagem	Drenagem interna	Ascensão capilar	Precipitação	Contribuição a evapotranspiração real	Contribuição diária
m		mm			mm dia <sup>-1</sup>		
0,4	0,0-0,4	20,00	25,00	0,00	53,50	8,50	0,23
	0,4-0,6	7,00	9,00	0,00		9,00	0,24
	0,6-0,8	1,00	3,00	0,00		5,00	0,14
	0,8-1,0	2,00	1,00	4,00		4,00	0,11
	1,0-1,1	-2,00	1,00	3,00		1,00	0,03
0,8	0,0-0,4	21,00	25,00	0,00	53,50	7,50	0,20
	0,4-0,6	8,00	10,00	0,00		7,00	0,19
	0,6-0,8	4,00	5,00	4,00		5,00	0,14
	0,8-1,0	-1,00	5,00	4,00		1,00	0,03
	1,0-1,1	-1,00	5,00	4,00		1,00	0,03
1,2	0,0-0,4	24,00	22,00	1,00	53,50	8,50	0,23
	0,4-0,6	9,00	10,00	4,00		6,00	0,16
	0,6-0,8	3,00	4,00	3,00		2,00	0,05
	0,8-1,0	1,50	1,00	3,00		1,50	0,04
	1,0-1,1	-0,50	0,00	1,50		0,00	0,00
1,6	0,0-0,4	24,00	25,00	0,00	53,50	4,50	0,12
	0,4-0,6	8,50	11,00	0,00		5,50	0,15
	0,6-0,8	5,00	5,00	2,00		3,00	0,08
	0,8-1,0	2,00	3,00	3,00		1,00	0,03
	1,0-1,1	-1,00	3,00	3,00		1,00	0,03
2,0	0,0-0,4	22,00	24,00	0,00	53,50	7,50	0,20
	0,4-0,6	3,10	11,00	1,00		10,90	0,29
	0,6-0,8	2,00	3,00	2,00		7,00	0,19
	0,8-1,0	1,40	1,00	3,00		1,60	0,04
	1,0-1,1	2,00	0,00	4,00		0,00	0,00

observadas diferenças marcantes; somente na distância de 2,00 m houve sensível superioridade da camada de 0,40 a 0,60 m, diferentemente do encontrado nas outras distâncias avaliadas. Pelo fato de ser a entrelinha cultivada com grama, a contribuição à ET da camada de 0 a 0,40 m pode sofrer influência das raízes superficiais desta planta.

Neste último período monitorado, verificou-se a ocorrência de pequena ascensão capilar, em média de 3 mm durante todo o período de 37 dias, o que não foi observado durante o período chuvoso.

Além do balanço por camadas realizado a partir do monitoramento dos potenciais mátricos em diferentes profundidades e distâncias do tronco, calculou-se a umidade média (pela curva de retenção da água no solo) de 37 dias nos dois períodos monitorados. Obtidas estas médias, foram identificados o maior e o menor valor de umidade para cada período. A partir deste intervalo obtido, este foi dividido em três faixas de umidade identificadas com diferentes tonalidades (Figuras 2 e 3).

Durante o período chuvoso (Figura 2), verificou-se maior umidade nas camadas superficiais do solo, apesar da maior demanda evapotranspirativa e

maior drenagem nestas camadas, mostrando que o suprimento pelas chuvas foi grande, mantendo-as sempre úmidas e, portanto, com maior disponibilidade de água durante este período. Já nas camadas mais profundas (a partir de 0,60 m de profundidade), observou-se menor umidade média e o consumo foi menor (Quadros 4 e 5) provavelmente pela menor ação das raízes, por ter a chuva chegado a elas em menor quantidade, e por ser a drenagem relevante. Concordando com os resultados apresentados no balanço de água por camadas, não foram observadas diferenças significativas nos dois sentidos avaliados (linha e entrelinha).

No período considerado seco (Figura 3), como era de se esperar, o perfil do solo, como um todo, permaneceu menos úmido, mas ainda foram as camadas superficiais (0 a 0,6 m de profundidade) as que mais contribuíram para a evapotranspiração real (Quadros 6 e 7). Neste caso, entretanto, como a precipitação e a drenagem foram muito baixas, parece que a análise com base na umidade nas diversas camadas do perfil para avaliar o consumo tornou-se um pouco mais válida. Assim, por exemplo, observou-se, notadamente no sentido da linha, que a camada de 0,20 a 0,60 m de profundidade



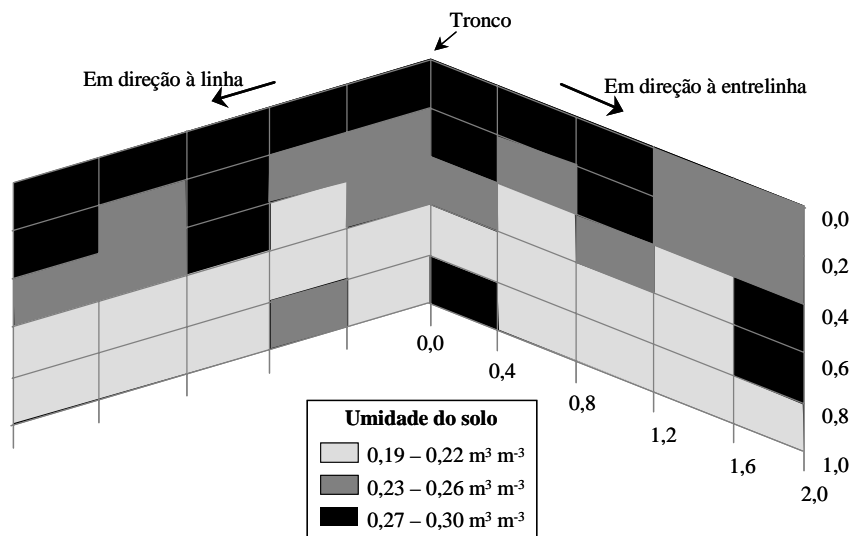


Figura 2. Perfis de umidade ( $\theta$  versus  $z$ ) para as várias distâncias do tronco, em direção à linha e em direção à entrelinha durante o período chuvoso.

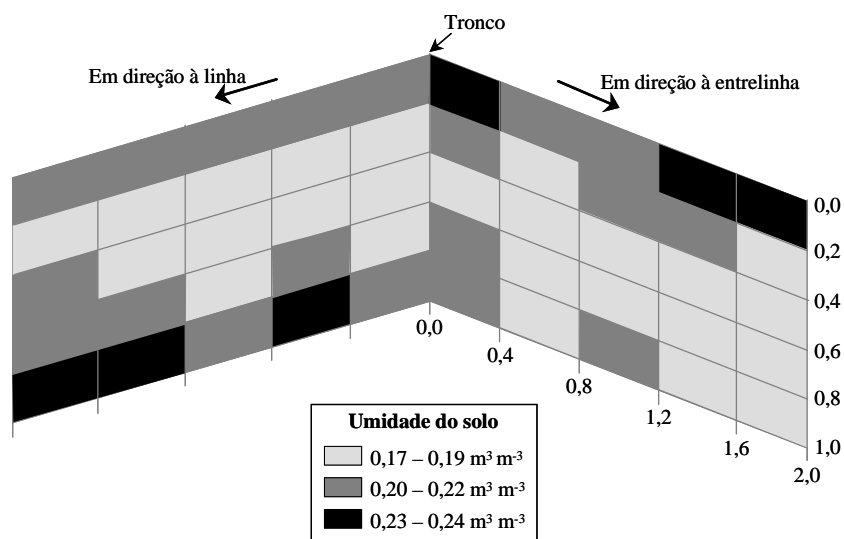


Figura 3. Perfis de umidade ( $\theta$  versus  $z$ ) para as várias distâncias do tronco, em direção à linha e em direção à entrelinha durante o período seco.

(Figura 3) mostrou-se mais seca e foi também a que mais contribuiu à ET, conforme os dados do balanço de água. Verificou-se também que, na direção da linha (profundidade de 0,6–1,0 m), o solo estava mais úmido e a demanda (Quadro 6) muito baixa, provavelmente por ser o volume de raízes baixo.

Este artifício ilustrativo de análise, monitorando-se a umidade média de cada camada de solo e em várias distâncias do tronco da planta de citros é bastante interessante, pois dá uma idéia espacial dos locais onde o solo se mantém mais ou menos úmido; entretanto é preciso tomar cuidado ao inferir dados de consumo de água com base apenas nestes dados, principalmente em períodos chuvosos, o que

reforça a importância do procedimento adotado neste trabalho, ou seja, o uso do método do balanço de água no solo.

## CONCLUSÕES

1. O método do balanço de água no solo, considerando diversas profundidades de solo, diversas distâncias horizontais e duas direções a partir do tronco de uma planta de citros, mostrou-se adequado para avaliar a contribuição de cada uma das camadas de solo estudadas ao consumo de água da planta.

2. O comportamento da contribuição das diversas camadas foi praticamente idêntico nas duas direções avaliadas.

3. A camada de solo de 0,0 a 0,60 m de profundidade foi a que apresentou maior contribuição ao consumo de água nos dois períodos avaliados e, conseqüentemente, deve concentrar o maior volume de raízes ativas.

## LITERATURA CITADA

- ANDREATTA, J.A. Determinação da razão entre a evapotranspiração máxima de dois cultivares de milho (*Zea mays* L.) e a evapotranspiração potencial. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1990. 94p. (Tese de Mestrado)
- BARRADA, Y. Water balance studies. FAO, Roma, 1971. p.90-96. (Boletim Técnico, 13)
- BLACK, T.A.; GARDNER, W.R. & TANNER, C.B. Water storage and drainage under a row crop on a sandy soil. *Agron. J.*, 62:48-51, 1970.
- CARVALHO, L.A. Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2003, 89p. (Tese de Mestrado)
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 4:23-28, 2000.
- CRUCIANI, D.E. Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba: CENA, 1972. 32p. (Boletim Científico, 6)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- FORD, H.W. Root distribution in relation to the water table. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 67:30-33, 1954.
- GARDNER, W.R. Soil properties and efficient water use: an overview. In: TAYLOR, H.W., ed. *Limitations to efficient water use in crop production*. Madison, American Society of Agronomy, 1983. p.45-64.
- GUANDIQUE, M.E.G. & LIBARDI, P.L. Balanço hídrico no solo e consumo de água para a cultura de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. Anais. Piracicaba, S.B.A., ESALQ/USP, 1997. p.638-640.
- JONES, W.W. & EMBLETON, T.W. Soil management and cover crops. In: REUTHER, W., ed. *The citrus industry*. Berkeley, University of California, 1973. v.3. p.98-121.
- KOLESNIKOV, V. The root system of fruit plant. Moscow, Mir Publication, 1971. 255p.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, O Autor, 2000. 509p.
- MONTENEGRO, H.W.S. Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1960, 143p. (Tese de Cátedra)
- MOREIRA, C.S. Estudo da distribuição do sistema radicular da Laranja Pêra (*Citrus sinensis* Osbeck) com diferentes manejos de solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1983, 143p. (Tese de Mestrado)
- NOOLING, J.W. Citrus root growth and soil pest management practices. Gainesville: University of Florida, Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, 1992. 37p.
- PEREIRA, A.R.; FERAZ, E.S.B.; REICHARDT, K. & LIBARDI, P.L. Estimativa da evapotranspiração e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzolizados Lins e Marília. Piracicaba, CENA, 1974. 28p. (Boletim Científico, 14)
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. & CADIMA, Z.A. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:1-5, 1979.
- ROSE, C.W. *Agricultural physics*. London, Pergamon Press, 1966. 230p.
- ROSE, C.W. & STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. *Austr. J. Soil Res.*, 5:11-19, 1967.
- SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; BASSOI, L.H.; TEIXEIRA, A.H.C.; SOARES, J.M. & SILVA, J.A.M. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico do solo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 5:456-462, 2001.
- SLATIER, R.O. *Plant-water relationships*. New York, Academic Press, 1967. 366 p.
- van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898, 1980.
- WATSON, K.K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. *Water Res. Res.*, 2:709-715, 1966.