

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL DE UMA CULTURA DE LARANJA EM PRODUÇÃO NUM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO⁽¹⁾

Antonio Carlos Rodrigues Cruz⁽²⁾, Paulo Leonel Libardi⁽³⁾, Genelício Crusoé Rocha⁽⁴⁾ & Laércio Alves de Carvalho⁽⁵⁾

RESUMO

A disponibilidade de água e de nutrientes no solo em épocas e quantidades apropriadas, associada às condições edáficas e climáticas, é fator de indiscutível relevância à produção das culturas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a evapotranspiração real de uma cultura de laranja, analisar sua variabilidade e verificar a influência deste processo de saída de água do solo na produtividade da cultura. O experimento foi realizado no município de Piracicaba (SP), num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argissólico, e a evapotranspiração real foi avaliada pelo método do balanço de água no solo em 40 pontos correspondentes a 40 plantas de duas linhas adjacentes com 20 plantas cada. A cultura de laranja, plantada num espaçamento de 7 x 4 m (7 m entre linhas por 4 m entre plantas na linha), tinha 11 anos de idade. Em cada ponto, localizado na projeção da copa (2 m do tronco) de cada uma das 40 plantas ao longo da linha, foram instalados um tubo de Al até à profundidade de 1,2 m para acesso de uma sonda de nêutrons e três tensiômetros às profundidades de 1,0, 1,1 e 1,2 m. A variação da armazenagem de água no solo foi determinada a partir de leituras semanais da sonda de nêutrons. A precipitação pluvial, medida por meio de um pluviômetro com aquisição automática de dados, foi considerada normal para o período monitorado. A drenagem interna e a ascensão capilar foram estimadas pela equação de Darcy-Buckingham, a partir de leituras diárias dos três tensiômetros

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor e do Projeto de Cooperação Acadêmica entre os Programas de Pós-Graduação do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará – CCA/UFC e da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP (PROCAD 2000 da CAPES). Recebido para publicação em fevereiro de 2003 e aprovado em agosto de 2005.

⁽²⁾ Doutor em Agronomia, Assessor Técnico Especializado do Ministério do Meio Ambiente – MMA. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável (SDS), Quadra 5, Bloco H, Ed. Superintendência do IBAMA-DF. Sala 801, Setor de Autarquias Sul, CEP 70070-914 Brasília (DF). E-mail: antonio-carlos.cruz@mma.gov.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: pllibard@esalq.usp.br

⁽⁴⁾ Professor Substituto do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Av. Amazonas s/n, CEP 38400-902 Uberlândia (MG). E-mail: genecrusuo@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq. E-mail: lcarvalh@esalq.usp.br

e da condutividade hidráulica determinada na profundidade de controle (1,1 m) em função do potencial mátrico pelo método do perfil instantâneo. A irrigação e os deflúvios foram inexistentes e a evapotranspiração real da cultura foi calculada pela diferença entre a variação de armazenagem e a soma algébrica dos outros processos avaliados. O balanço foi efetuado durante um ciclo anual da cultura de laranja, dividido em 14 períodos. Nesses 14 períodos de monitoramento, a evapotranspiração real foi analisada com base nos métodos da estatística descritiva e exploratória de dados, obtendo-se um coeficiente de variação médio desses 14 períodos de 16 %. Foi de 1.271 mm a evapotranspiração real anual desta comunidade de plantas cujos valores diários variaram de 0,4 a 8,4 mm. A eficiência de utilização da água ou a razão entre a produtividade e a evapotranspiração real por planta durante o período monitorado variou de 1,57 a 4,52 kg m⁻³; verificou-se que as plantas com maior produção estavam entre aquelas com maior evapotranspiração real.

Termos de indexação: balanço de água, eficiência de utilização da água, tensiômetro, sonda de nêutrons.

SUMMARY: ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION OF A PRODUCTIVE ORANGE PLANTATION ON AN OXISOL IN SOUTHEASTERN BRAZIL

Water and nutrient availability in the soil at suitable times and in adequate amounts, as related to edaphic and climatic conditions, are undeniably relevant for crop yields. The objective of this work was to evaluate the actual evapotranspiration of an orange plantation, analyze its variability and verify the influence of the soil water loss on crop productivity. The experiment was carried out in Piracicaba County (SP), Brazil, on an Oxisol. The actual evapotranspiration was evaluated by a soil water balance model with 40 experimental points corresponding to 40 plants of two adjacent plant rows with 20 plants each. The orange trees, grown in a 7 x 4 m spacing (7 m between rows and 4 m between plants), were 11-year-old. In each point, an aluminium tube was inserted at the canopy projection (2 m from the stem) of each one of the 40 plants in the rows down to a depth of 1.2 m to provide access to a neutron probe. Three tensiometers were placed at depths of 1.0, 1.1 and 1.2 m. Water storage in the 0.0–1.1 m soil layer was determined based on the weekly neutron probe readings. Rainfall, measured with an automated rain gauger, was normal for the study period. Internal drainage and capillary rise were estimated by the Darcy-Buckingham equation based on daily readings of the three tensiometers and on the hydraulic conductivity, determined at the control depth (1.1 m) as a function of matric potential through the instantaneous profile method. Irrigation and run-offs were negligible and the actual crop evapotranspiration was calculated by the difference between soil water storage and the sum of the other evaluated processes. The balance was estimated for 14 periods during the annual cycle of the orange crop. In these 14 monitoring periods, the actual evapotranspiration was analyzed by means of descriptive and exploratory statistical methods; mean variation coefficient of these 14 periods was 16%. The annual actual evapotranspiration was 1.271 mm and daily mean values ranged from 0.4 to 8.4 mm. The water use efficiency or ratio between productivity and actual evapotranspiration of each plant varied from 1.57 to 4.52 kg m⁻³ during the monitored period. Higher yielding plants also had a higher actual evapotranspiration.

Index terms: water balance, water use efficiency, neutron probe, tensiometer.

INTRODUÇÃO

O Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial de citros, com produção, em 2003, de aproximadamente 17 milhões de toneladas, seguido dos EUA, México e Espanha. A produção de laranja

do Estado de São Paulo corresponde a cerca de 75 % da produção nacional.

A produção desta cultura, associada às condições climáticas e edáficas, depende da presença de água e nutrientes no solo em época e quantidades apropriadas. Sua falta ou excesso é fator limitante

à produção, determinando, em muitos casos, a sua diminuição. O conhecimento da quantidade de água retirada do solo pelos vegetais é de grande interesse, principalmente, para os estudos sobre a economia de água das culturas.

A evapotranspiração real de uma cultura agrícola é um processo importante a ser avaliado porque por meio dela e da produtividade da cultura determina-se a eficiência de uso da água pela planta (Doorenbos & Kassan, 1979).

O método do balanço de água num volume de solo no campo tem sido utilizado por vários autores (Rose & Stern, 1967; Pereira et al., 1974; Reichardt et al., 1979; Libardi & Saad, 1994; Cintra et al., 2000) e por meio dela estima-se a evapotranspiração real, subtraindo da variação da armazenagem de água no solo durante certo período a soma algébrica dos outros processos envolvidos no balanço durante o mesmo período (Libardi, 2000). Em nosso meio, o trabalho de Cintra et al. (2000) é um dos poucos, senão o único, em citros, no qual se utiliza este método, no campo, para o cálculo da evapotranspiração real da cultura.

Quando se trabalha com repetições de medidas, é importante a utilização de métodos estatísticos para análise dos resultados. A base teórica dos métodos clássicos da estatística está amplamente descrita na literatura (Levine et al., 2000), bem como sua aplicação no estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística (Isaaks & Srivastava, 1989). Uma maneira simples também de observar o comportamento da distribuição dos dados, fundamentada na estatística clássica, é a utilizada por Libardi et al. (1996) e denominada análise descritivo-exploratória dos dados.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a evapotranspiração real ou consumo de água de uma cultura de laranja no campo, pelo método do balanço de água no solo, analisar sua variabilidade, pela estatística descritivo-exploratória de dados, e verificar a influência desse consumo na produtividade da cultura, pelo índice eficiência de utilização da água.

MATERIAL E MÉTODOS

Campo Experimental

O estudo foi realizado em campo experimental de laranjeiras no município de Piracicaba (SP), num pomar com a variedade "Valência" sobre porta-enxerto limoeiro "Cravo", com 11 anos de idade, num espaçamento de 7 x 4 m (7 m entre linhas por 4 entre plantas na linhas), sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argissólico textura média A moderado. Essa variedade de laranja é de maturação tardia que se estende de agosto a

setembro, apresenta árvores de porte médio a grande, com folhagem abundante, e sua produção pode atingir cerca de 200 kg de frutos por planta. O experimento foi efetuado em 40 pontos (40 repetições) correspondentes a 40 plantas de duas linhas adjacentes com 20 plantas cada.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, denominado tropical de altitude, cujas médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa são de 21,1 °C, 1.257 mm e 74 %, respectivamente, a estação seca ocorrendo entre os meses de abril e setembro e o mês mais chuvoso oscilando entre janeiro e fevereiro (Ometto, 1991).

Caracterização hidráulica do solo

Adjacente à área do experimento, foram coletadas 10 amostras de solo com estrutura indeformada de cada uma das profundidades 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1 e 1,2 m, para elaboração da curva de retenção, com 10 pontos, em cada uma dessas profundidades. Como foi utilizada uma amostra para cada tensão, evitou-se a saturação de uma mesma amostra mais de uma vez, ou seja, cada ponto na curva foi determinado por uma amostra diferente, porém da mesma profundidade. Utilizando as curvas de retenção e tensiômetros, determinou-se a condutividade hidráulica em função do potencial mátrico, pelo método do perfil instantâneo (Watson, 1966) no campo (Libardi et al., 1980; Carvalho, 2003).

Tensiômetros e tubos de acesso para sonda de nêutrons

Em cada ponto experimental, localizado na projeção da copa (2 m do tronco) de cada uma das 40 plantas ao longo da linha, foram instalados três tensiômetros nas profundidades de 1,0, 1,1 e 1,2 m e um tubo de Al para acesso de uma sonda de nêutrons até à profundidade de 1,2 m. O tubo de Al, de dimensões de 1,5 m de comprimento (1,2 m no interior do solo), 45 mm de diâmetro interno e espessura de parede de 1,5 mm, foi instalado exatamente na linha de plantas, com os três tensiômetros ao lado, no mesmo arco de 2 m de raio (Figura 1). A sonda de nêutrons utilizada foi uma 503 Hydroprobe da CPN Corporation, munida de uma fonte de ²⁴¹Am/Be de intensidade radioativa de 1,85 GBq e tempo de cada contagem de 30 s. As leituras com a sonda foram feitas semanalmente. Foi realizada uma calibração do aparelho nas condições do solo avaliado, correlacionando 223 coletas de amostras. A equação obtida pela calibração foi: $U = -0,23 + 0,086CR$. Optou-se pela calibração com a relação entre a contagem relativa (CR) e a umidade gravimétrica (U), de acordo com os distúrbios advindos de uma coleta de solo com estrutura indeformada. A transformação de U para θ foi realizada após a obtenção da reta de calibração,

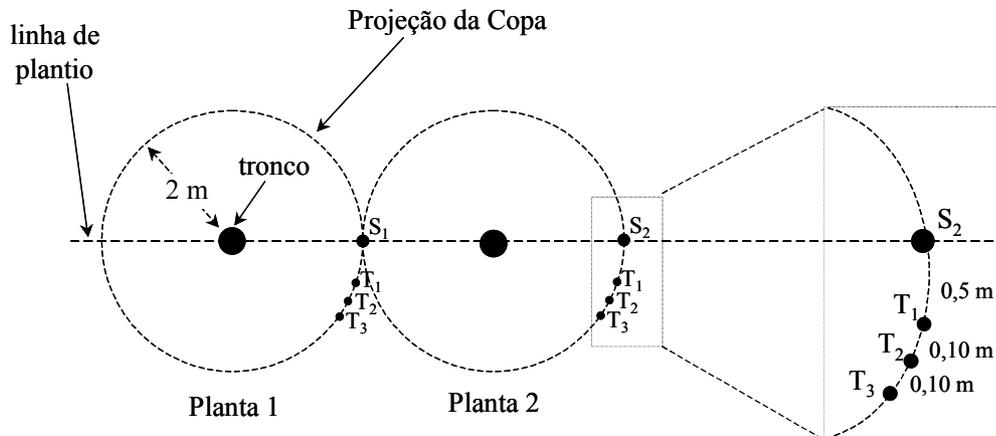


Figura 1. Vista superior da disposição dos tensiômetros e dos tubos de alumínio ao longo da linha de plantio, para duas plantas: T₁, T₂ e T₃ são os tensiômetros as profundidades 1,0, 1,1 e 1,2 m, respectivamente, e S₁ e S₂, os tubos de alumínio das plantas 1 e 2, respectivamente.

evitando, com isso, acumulação de erros. Esta transformação foi obtida pelo produto de U por ρ/ρ_a , sendo ρ a densidade do solo e ρ_a a densidade da água. A densidade do solo para cada profundidade foi obtida pela média de três amostras indeformadas coletadas em área adjacente.

Avaliação dos processos do balanço hídrico

O balanço hídrico no solo nada mais é do que a soma algébrica dos processos de entrada e saída de água num volume de controle de solo durante determinado período de tempo. No caso presente, este volume consistiu na camada de solo de 0,0–1,1 m de profundidade. Em função das características do solo e do relevo plano da área experimental, os deflúvios de água foram considerados nulos, o mesmo ocorrendo com a irrigação, visto que a área não era irrigada. Com isso, a equação do balanço, para determinado intervalo de tempo, é escrita, no caso presente, como:

$$\Delta h = P + D + AC + ET \quad (1)$$

em que Δh , P , D , AC e ET são a variação de armazenagem, a precipitação pluvial, a drenagem interna, a ascensão capilar e a evapotranspiração real, respectivamente, expressas em unidade de volume por área, isto é, altura de água.

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 transeção avaliada. A drenagem e a ascensão capilar, na profundidade e tempo considerados, foram estimadas pela equação de Darcy-Buckingham (Libardi, 2000). O componente variação de armazenagem foi determinado utilizando-se os dados de umidade obtidos a partir das leituras com a sonda de nêutrons até à

profundidade de 1,10 m. A totalização da evapotranspiração real ET foi realizada pela aplicação da equação (1), calculando-se a drenagem ou a ascensão capilar diariamente, a armazenagem a cada sete dias (em média) e a precipitação pluvial também diariamente.

A coleta e a tabulação dos dados foram realizadas ao longo dos anos 2001 e 2002, de agosto a agosto, a fim de verificar o comportamento do consumo de água pela cultura da laranja desde a colheita do ano de 2001 até o término da colheita do ano de 2002, explicando suas variações ao longo do ciclo por suas mudanças de estágio fenológico. O monitoramento foi dividido em 14 períodos a saber:

Período 1 - 09/08 a 05/09/01	Período 8 - 23/01 a 23/02/02
Período 2 - 05/09 a 26/09/01	Período 9 - 23/02 a 14/03/02
Período 3 - 26/09 a 24/10/01	Período 10 - 14/03 a 07/04/02
Período 4 - 24/10 a 14/11/01	Período 11 - 07/04 a 28/04/02
Período 5 - 14/11 a 05/12/01	Período 12 - 28/04 a 16/05/02
Período 6 - 05/12 a 02/01/02	Período 13 - 16/05 a 07/06/02
Período 7 - 02/01 a 23/01/02	Período 14 - 07/06 a 21/08/02

Os períodos de 1 a 5 correspondem ao estágio de pré-florescimento e florescimento das plantas; os períodos de 6 a 8, ao estágio fenológico de pegamento do fruto; os períodos de 8 a 12, ao estágio do seu crescimento, e os períodos 13 e 14, ao estágio de maturação do fruto.

Durante os mesmos períodos citados, foi acompanhada a evaporação medida pelo Tanque Classe A (ECA) para a obtenção da razão entre a ET e a ECA . O Tanque utilizado estava distante cerca de 500 m da área em estudo.

Eficiência de utilização da água

Com os dados de produtividade obtida na área de estudo, foi determinada a eficiência de utilização

da água pela razão desta produtividade e a quantidade de água consumida pela cultura ao longo do ciclo, representada pela evapotranspiração real estimada pela equação do balanço de água no solo, isto é, $EUA = Y/ET$, sendo EUA a eficiência de utilização da água (kg m^{-3}), Y a produtividade (kg ha^{-1}) e ET o consumo de água ou evapotranspiração real ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) da cultura.

Análise dos dados

Optou-se pela estatística descritiva (Libardi et al., 1996) dos valores de ET, para os 14 períodos, que variaram de 21 a 63 dias, com vistas em obter um comportamento médio da comunidade de plantas. O comportamento médio obtido foi então comparado com aqueles apresentados pela bibliografia disponível. Este procedimento foi realizado tendo como base os princípios da estatística clássica, cujo resumo estatístico fornece as informações das medidas de posição, dispersão e forma da distribuição de frequência para verificação da normalidade dos dados. Considerando que os parâmetros que definem as principais características de um conjunto de dados estão sujeitos a perturbações por valores atípicos, utilizou-se também, neste trabalho, as técnicas complementares propostas por Libardi et al. (1996) para verificar a adequação das medidas por meio da identificação de candidatos a “outliers”.

Com isso, a análise estatística dos 14 períodos de monitoramento da ET da cultura foi realizada em duas etapas: (1) análise estatística e descritiva para avaliação das medidas de posição e da variabilidade dos conjuntos e para verificação da normalidade dos dados; (2) análise exploratória dos conjuntos de dados para verificação da adequação

das medidas anteriores diante de problemas de valores periféricos (candidatos a “outliers”).

Nas análises, foi utilizado o programa estatístico Statistic for Windows – Release 4.3 – Copyright StatSoft, Inc. 1993.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, está apresentada a análise estatística (Libardi et al., 1996) descritiva do conjunto de resultados de ET por período de avaliação. Observa-se, pela proximidade dos valores da média e mediana, que a ET apresenta distribuição aproximadamente simétrica para todos os períodos. Os coeficientes de assimetria e curtose, de acordo com os critérios definidos por Jones (1969), indicam que a evapotranspiração real seguiu uma distribuição normal para os 14 períodos avaliados. Uma observação mais atenta dos dados mostra porém que, para os períodos 7, 8 e 12, a distribuição não é, de fato, normal.

A partir da análise sobre possíveis valores periféricos candidatos a “outliers” (Libardi et al., 1996), mostrou-se que os períodos 7, 8 e 12 foram aqueles nos quais, pelos limites críticos calculados, mais pontos de avaliação foram eliminados. Por meio deste dispositivo estatístico, verificou-se, também, possível existência de valores periféricos nos períodos 3, 4 e 14. Eliminados, sem restrições, todos os possíveis candidatos a “outliers”, foi elaborado um novo resumo estatístico para a verificação da influência destas eliminações na média dos períodos (Quadro 2).

Quadro 1. Análise estatística descritiva dos resultados de ET por período de avaliação, antes da verificação de valores periféricos

Período	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Quartil		Variância	Desvio-padrão	Assimetria	Curtose
						Inferior	Superior				
		mm						m m ²	mm		
1	40	37,42	38,25	18,74	52,89	30,90	42,10	72,73	8,53	0,01	-0,42
2	40	32,91	32,16	23,24	47,68	28,64	36,49	31,22	5,59	0,67	0,01
3	40	116,84	117,16	97,39	128,76	112,93	122,52	56,63	7,53	-0,57	0,30
4	40	58,98	57,53	41,36	77,46	54,28	63,19	51,13	7,15	0,19	0,35
5	40	73,27	74,34	39,69	104,75	64,27	81,61	166,20	12,89	-0,22	0,39
6	40	108,98	112,02	82,93	128,20	101,56	116,36	123,16	11,10	-0,60	-0,33
7	40	157,61	161,32	99,85	187,76	149,61	168,68	318,88	17,86	-1,32	2,98
8	40	256,60	260,86	214,26	278,72	252,80	263,80	159,28	12,62	-1,37	2,31
9	40	69,47	70,68	56,23	84,09	62,05	75,41	60,80	7,80	-0,21	-0,96
10	40	187,08	189,13	164,89	209,87	179,59	193,98	115,20	10,73	-0,12	-0,09
11	40	51,53	52,07	32,30	69,76	45,46	56,77	72,35	8,51	-0,25	-0,20
12	40	31,91	30,38	8,74	79,86	21,28	43,59	217,36	14,74	0,77	1,28
13	40	54,87	54,06	22,28	79,92	48,95	61,91	144,19	12,01	-0,25	0,53
14	40	30,38	28,40	18,15	54,01	24,29	35,41	64,95	8,06	0,92	0,85

Quadro 2. Análise estatística descritiva dos resultados de ET por período de avaliação, após eliminação de valores periféricos

Período	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Quartil		Variância	Desvio-padrão	Assimetria	Curtose
						Inferior	Superior				
		mm						m m ²	mm		
1	40	37,42	38,25	18,74	52,89	30,90	42,10	72,73	8,53	0,01	-0,42
2	40	32,91	32,16	23,24	47,68	28,64	36,49	31,22	5,59	0,67	0,01
3	39	117,34	117,27	99,16	128,76	112,94	122,59	47,91	6,92	-0,37	0,01
4	39	58,50	57,09	41,36	70,08	54,03	62,92	43,25	6,58	-0,14	-0,08
5	40	73,27	74,34	39,69	104,75	64,27	81,61	166,20	12,89	-0,22	0,39
6	40	108,98	112,02	82,93	128,20	101,56	116,36	123,16	11,10	-0,60	-0,33
7	38	160,48	161,55	127,81	187,76	150,49	168,68	167,02	12,92	-0,10	0,15
8	35	260,33	261,63	239,16	278,72	256,31	264,22	58,17	7,63	-0,46	1,54
9	40	69,47	70,68	56,23	84,09	62,05	75,41	60,80	7,80	-0,21	-0,96
10	40	187,08	189,13	164,89	209,87	179,59	193,98	115,20	10,73	-0,12	-0,09
11	40	51,53	52,07	32,30	69,76	45,46	56,77	72,35	8,51	-0,25	-0,20
12	37	33,75	31,18	12,94	79,86	22,32	43,59	188,79	13,74	1,01	1,84
13	40	54,87	54,06	22,28	79,92	48,95	61,91	144,19	12,01	-0,25	0,53
14	39	30,38	28,40	18,15	54,01	24,29	35,41	64,95	8,06	0,92	0,85

Nota-se que a atitude tomada, rejeitando-se todos os candidatos a “outliers”, refletiu-se apenas na média de ET nos períodos 7, 8 e 12 (Quadro 2). As variâncias, dentro de cada período de avaliação, diminuíram após a retirada dos valores periféricos, mas apresentaram a mesma tendência nos dois quadros, isto é, aumentaram nos períodos do ano em que o estágio fenológico da cultura exigiu maior quantidade de água e diminuíram à medida que a necessidade de água pela cultura reduzia com o término de seu ciclo anual. No período 12 (final do estágio de crescimento do fruto), quando a análise verificou o maior número de valores periféricos, a redução do desvio-padrão, após a eliminação destes valores, foi acentuada, confirmando como correta esta atitude.

O “Box-Plot” (Hoaglin et al., 1992; Libardi et al., 1996), que é uma das técnicas de análise exploratória de dados, foi elaborado para todos os períodos de avaliação depois da verificação e eliminação dos valores periféricos (Figura 2), pela qual se tem uma visão mais clara do reduzido afastamento entre os quartis e a mediana. Nessa figura, é também apresentada a variação da ET ao longo do ano e sua alteração, conforme a necessidade de água pela cultura. A observação atenta do quadro 1 evidencia um maior afastamento entre o quartil inferior e a mediana nos períodos 7 e 8, períodos coincidentes com o estágio fenológico de pegamento e início do crescimento do fruto. Analisando os dados do quadro 2 e da figura 2, verifica-se que, no período 12 (final do crescimento do fruto), o quartil superior é o mais afastado da mediana, fato acontecido somente neste período, enquanto, nos demais períodos, os valores periféricos concentram-se abaixo da mediana.

Outra evidência interessante e que foi levada em consideração na eliminação de valores periféricos é que todos os pontos (plantas) eliminados estavam entre os 10 de menor produtividade e eficiência de utilização da água. Os valores periféricos de ET obtidos nestes pontos ocorreram nos períodos 7 e 8, períodos de maior consumo de água (pegamento e início do crescimento do fruto) e estão abaixo e distantes da mediana, evidenciando possíveis fatores da planta que diminuem o consumo de água da cultura. Este fato será novamente abordado mais adiante.

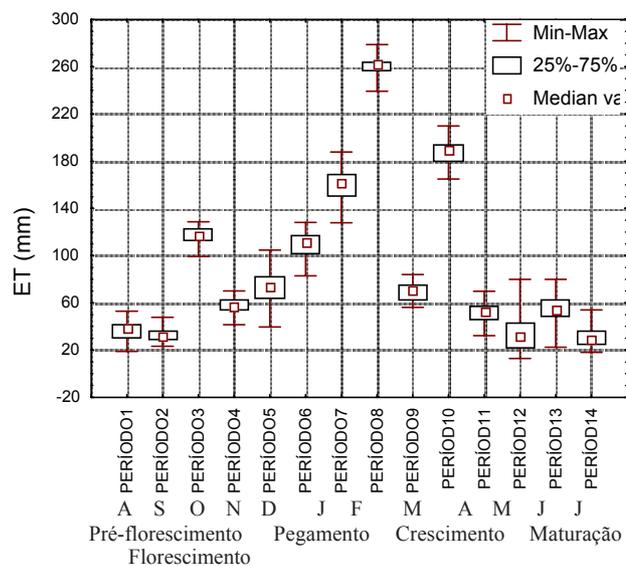


Figura 2. Gráfico da ET por período, com os dispositivos “Box-Plot” e distinção dos estágios fenológicos da cultura de citros, depois da eliminação de “outliers”.

Na totalização da ET para o ciclo anual da cultura da laranja, houve a necessidade de realizar um ajuste. Como o monitoramento iniciou no dia 09/08/2001 e o término das avaliações ocorreu no dia 21/08/2002, calculou-se a ET diária do último período, descontando-se o valor referente aos 12 dias sobrepostos. O valor total encontrado foi de 1.271,4 mm. Feito o ajuste no valor total de consumo de água pela cultura, verificou-se que o comportamento médio das 40 plantas monitoradas mostrou-se bastante semelhante àquele encontrado por Rogers et al. (1983), que encontraram um valor de ET médio anual de 1.210 mm, e por Koo & Hurner (1969), com valor de ET médio de 1.170 mm, para as condições da Flórida em solo de textura média como o estudado neste trabalho. Hoffman et al. (1982), no Arizona, local de clima semi-árido, encontraram valores de ET da ordem de 1.470 mm.

A quantidade total de chuva foi de 1.429,25 mm (Figura 3). A precipitação ocorrida no último ano foi normal e bem próxima da média dos últimos nove anos, que foi de 1432,78 para o período do ano monitorado (Dados do Posto Meteorológico da ESALQ/USP). Conforme observado, o período mais seco ocorreu entre os meses de abril a setembro (P11, P12, P13, P14 e P1), sendo abril (P11) o mês mais seco (< 30 mm). Os meses mais chuvosos foram dezembro, janeiro, fevereiro e março (P6, P7, P8, P9 e P10). A ET total medida correspondeu a cerca de 89 %, em média, da precipitação, fato também observado nos estudos realizados nos Estados Unidos. A figura 3 apresenta a armazenagem média para a camada de 0,00–1,10 m, durante os 14 períodos estudados. A armazenagem de água no solo refletiu as variações da precipitação pluvial ao longo do ano monitorado.

O quadro 3 mostra os dados de drenagem interna na profundidade de controle (1,1 m) monitorados durante os 14 períodos. Percebe-se, pela proximidade

dos valores dos desvios-padrão da drenagem interna, neste quadro, e os da evapotranspiração real (Quadro 1), que a maior contribuição à dispersão dos dados de ET, notadamente nos meses chuvosos, advém da determinação da densidade de fluxo de água, pela equação de Darcy-Buckingham, para a obtenção da drenagem interna/ascensão capilar na profundidade de controle (1,1 m). Observa-se, assim, que o maior desvio-padrão, da drenagem interna/ascensão capilar, 16,36 mm, ocorreu no período 7, o qual, como era esperado, propagou-se no cálculo da evapotranspiração real, mas que, com a eliminação de dois valores periféricos, foi reduzido de 17,86 mm

Quadro 3. Média, valor mínimo, valor máximo e desvio-padrão da drenagem interna/ascensão capilar na profundidade de controle (1,1 m) nos 14 períodos monitorados, considerando as 40 plantas

Período	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
mm				
1	-0,76	-15,49	16,19	8,55
2	-0,38	-6,15	8,46	3,67
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-7,01	-24,46	20,37	9,25
5	-14,96	-45,19	7,45	11,94
6	-17,68	-35,98	-1,21	8,45
7	-31,47	-99,00	-11,64	16,36
8	-11,00	-45,38	-1,21	7,66
9	-13,68	-32,79	1,89	8,55
10	-29,03	-53,16	-8,06	10,47
11	-3,60	-20,87	24,82	9,11
12	-0,24	-32,78	34,91	13,81
13	-12,04	-31,79	15,85	9,71
14	-2,99	-6,70	1,13	1,74
Total	-144,8 mm			

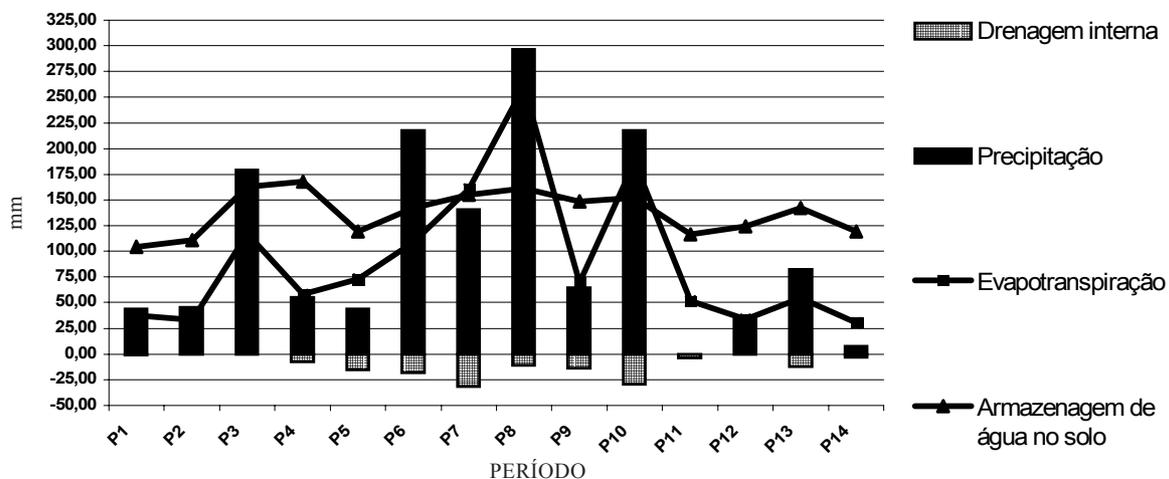


Figura 3. Precipitação pluvial, armazenagem de água no solo, drenagem interna e evapotranspiração ocorridas ao longo dos 14 períodos de monitoramento.

(Quadro 1) para 12,92 mm (Quadro 2). Calculando os coeficientes de variação (CV) de ET do quadro 2, verificou-se que, para os meses chuvosos (P6, P8, P9 e P10), foram todos menores que 12 % pelo que, de acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980), a ET apresentou baixa variação. Nos outros períodos (P1 a P5 e P11 a P14), esta variação foi média ($12\% < CV < 60\%$) por esta classificação.

O comportamento médio do fluxo de água abaixo da profundidade de 1,10 m para as 40 plantas de citros monitoradas é também apresentado na figura 3. Observa-se que, ao longo do ciclo, não ocorreu ascensão de água, em média, havendo sempre drenagem de água não retida e não consumida pela evaporação do solo ou transpiração da cultura. Para algumas plantas, entretanto, no período seco, houve ascensão capilar como pode ser visto pelos valores máximos positivos no quadro 3. O período de maior drenagem foi o período 7, quando a precipitação foi elevada (141 mm), após um período também de elevada precipitação, tendo ocorrido, possivelmente, defasagem no tempo de drenagem de um período para o outro. No período 8, a drenagem foi menor que no período anterior, período em que a precipitação também foi alta. Este período é aquele em que ocorre o maior consumo de água do ciclo, coincidindo com o estágio de pegamento e início de crescimento do fruto.

Do mesmo modo que foi feito para a totalização da ET, houve necessidade de ajustar o total do fluxo de acordo com os 12 dias sobrepostos no monitoramento.

O total de 144,84 mm foi reduzido para 144,36 mm de água drenado ao longo do ciclo da cultura, representando cerca de 10 % do total adicionado pelas chuvas, o que revela a importância da medida, muitas vezes considerada desprezível em outros experimentos (Rose, 1966). Estes fluxos de drenagem são considerados os de mais difícil determinação motivo alegado para sua desconsideração. Vachaud et al. (1973) e Stone et al. (1973) afirmam que este componente do balanço de água não pode ser desprezado, visto que pode constituir 30 % ou mais do total, principalmente quando realizado em regiões de clima tropical, como no caso em questão.

No quadro 4, são apresentados os resultados de ET anual, produtividade de frutos e eficiência de utilização da água (EUA) para as 40 plantas monitoradas. Os resultados obtidos são coerentes com aqueles obtidos e sugeridos por Doorenbos & Kassan (1979) em levantamento realizado para FAO. Segundo esses autores os índices de EUA para citros situam-se entre 2 e 5, enquanto, neste estudo, os índices obtidos variaram de 1,57 a 4,52, bastante próximos aos sugeridos pelos autores.

A figura 4 apresenta a correlação entre os resultados de ET por planta avaliada e sua produção final obtida. Observa-se que existe boa relação entre as variáveis. As plantas que obtiveram maior produção estavam entre aquelas que apresentaram maior consumo de água. Um coeficiente de correlação de 0,74 corrobora as conclusões obtidas.

Quadro 4. Evapotranspiração real (ET) anual, produtividade e eficiência de utilização da água (EUA) por planta monitorada, com classificação em ordem crescente pela EUA

Ordem	Planta	ET anual	Produtividade	EUA	Ordem	Planta	ET anual	Produtividade	EUA
	n ^o	m ³ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg m ⁻³		n ^o	m ³ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg m ⁻³
1°	3	11.433,3	18.214,3	1,57	21°	2	12.564,7	41.157,1	3,22
2°	0	11.599,8	24.217,9	1,88	22°	22	11.902,1	40.625,0	3,29
3°	4	11.986,4	21.735,7	1,93	23°	28	11.503,5	43.853,6	3,45
4°	12	10.672,3	25.528,6	2,00	24°	8	11.764,6	44.471,4	3,58
5°	11	10.434,9	25.528,6	2,03	25°	29	11.636,0	45.825,0	3,63
6°	1	11.634,9	26.392,9	2,13	26°	20	12.132,2	49.650,0	3,77
7°	5	12.025,3	28.978,6	2,35	27°	37	11.741,5	49.664,3	3,85
8°	16	12.603,3	31.346,4	2,45	28°	19	12.776,5	49.410,7	3,88
9°	26	11.540,4	30.878,6	2,55	29°	36	12.020,0	48.567,9	3,90
10°	18	11.752,6	32.528,6	2,64	30°	30	11.858,5	48.675,0	3,91
11°	21	12.710,3	33.089,3	2,65	31°	31	11.726,3	49.914,3	3,93
12°	25	11.294,4	34.178,6	2,68	32°	39	11.858,6	47.535,7	3,95
13°	23	11.867,8	34.703,6	2,78	33°	33	12.423,8	53.517,9	4,01
14°	13	11.854,8	35.882,1	2,83	34°	32	12.405,4	53.946,4	4,03
15°	24	11.519,3	35.957,1	2,90	35°	15	11.903,2	54.007,1	4,04
16°	38	12.401,7	36.310,7	2,97	36°	35	12.577,9	54.092,9	4,06
17°	6	12.152,6	38.282,1	2,99	37°	7	11.784,0	57.885,7	4,24
18°	14	12.758,4	37.482,1	3,01	38°	17	12.176,9	59.253,6	4,38
19°	9	11.533,2	38.207,1	3,08	39°	10	11.174,1	61.775,0	4,50
20°	34	11.953,8	38.739,3	3,20	40°	27	11.452,1	61.617,9	4,52

As plantas que obtiveram menor consumo de água (ET) estavam entre as 10 plantas de menor produtividade (Quadro 4), fato que contribuiu para a eliminação de seus resultados na construção da média comportamental da comunidade de 40 plantas monitoradas. O motivo considerado foi a possibilidade de fatores de planta (agente fitopatológico) terem prejudicado a produção destas plantas e, com isso, diminuindo o consumo de água. No que diz respeito ao tratamento de valores discrepantes num conjunto de dados, a avaliação pontual dos resultados, observando atentamente o comportamento da planta ao longo do ciclo, pode ser mais adequada que a adoção de artifícios matemáticos de análise. O controle e o conhecimento do pesquisador do estudo devem sempre ser considerados como um fator importante na tomada de decisões.

O quadro 5 apresenta os resultados de ET (evapotranspiração real), ECA (evaporação medida no Tanque Classe A) e a razão ET/ECA para os 14 períodos monitorados. A preferência pela expressão dos resultados de consumo de água pela razão entre ET e ECA deveu-se à maior facilidade de obtenção dos dados de ECA, quando comparada com as estimativas de ET pelos métodos de Penman (1948) ou de Thornthwaite & Mather (1955) que envolvem índices climatológicos de medidas menos simples.

Verificou-se, para as condições climáticas ocorridas durante o ciclo monitorado (2001-2002), no solo (Latosolo Vermelho-Amarelo) de características arenosas estudado, que os valores da razão ET/ECA são bastante diferentes daqueles obtidos em estudos realizados nos EUA, tanto em pomares do Arizona como em pomares da Flórida. Nos meses de maior consumo de água motivado pelo estágio fenológico da cultura de maior necessidade (P7, P8 e P10), a razão foi superior a 1, enquanto nos trabalhos de Reeve & Furn (1941), Hilgeman & Van Horn (1954), Van Bavel et al. (1966) e Kalma (1972), a relação

Quadro 5. Razão entre evapotranspiração real e evaporação do tanque classe A (ET/ECA) para todos os períodos monitorados

Período	ET	ECA	ET/ECA
	mm dia ⁻¹		
P1	1,4	3,9	0,4
P2	1,6	4,6	0,3
P3	4,2	4,8	0,4
P4	2,8	6,4	0,3
P5	3,5	6,4	0,5
P6	4,0	5,6	0,7
P7	7,6	5,1	1,5
P8	8,4	5,6	1,5
P9	3,7	5,9	0,6
P10	7,8	5,5	1,4
P11	2,5	5,0	0,5
P12	1,9	3,5	0,5
P13	2,5	2,9	0,9
P14	0,4	3,2	0,1

não ultrapassou 0,66, sendo o menor valor encontrado de 0,25 para os meses de menor necessidade de água, o que mostra que se deve tomar cuidado ao extrapolar esse tipo de dados diretamente de uma região para outra.

CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração real (ET) da cultura da laranja, durante um período de um ano, considerado normal quanto à pluviosidade, apresentou um valor de 1.271 mm e os valores diários para os períodos de menor necessidade de água (maturação) e maior necessidade de água (pegamento) foram de 0,4 e 8,4 mm, respectivamente.

2. A ET apresentou distribuição normal para todos os períodos estudados e, pelos valores do coeficiente de variação obtidos, sua variação foi baixa para os períodos correspondentes à época chuvosa do ano, e média, para os períodos correspondentes à época seca.

3. A razão entre a ET e a evaporação do tanque classe A variou de 0,3 a 1,5 e a eficiência de utilização da água foi de 1,57 kg m⁻³, para a planta menos eficiente, e de 4,52 kg m⁻³, para a mais eficiente. As plantas com maior produção estavam entre aquelas com maior evapotranspiração real.

LITERATURA CITADA

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)

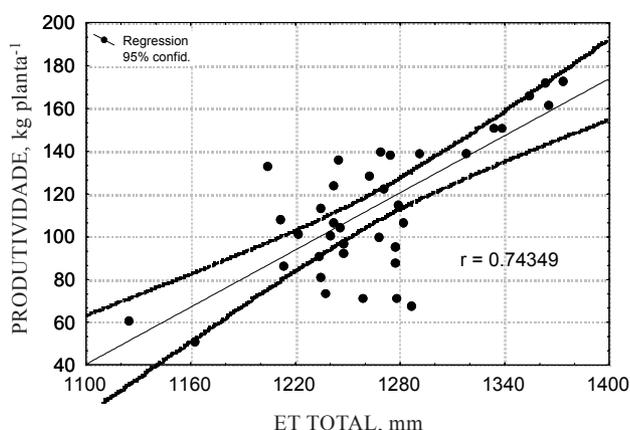


Figura 4. Correlação entre resultados de ET e produtividade por planta a 5%.

- 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.
- DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979, 193p. (FAO. Irrigation Drainage Paper, 33)
- HILGEMAN, R.H. & van HORN, C.W. Citrus growing in Arizona. Tucson, Agricultural Experimental Station, 1954. 35p. (Bulletin, 258)
- HOAGLIN, D.C.; MOSTELLER, F. & TUKEY, J.W., eds. Análise exploratória de dados. Técnicas robustas: Um guia. Lisboa, Edições Salamandra, 1992. 446p.
- HOFFMAN, G.J.; OSTER, J.D. & ALVES, W.J. Evapotranspiration of mature orange trees under drip irrigation in an arid climate. *Trans. Am. Soc. Agríc. Eng.*, 25:992-996, 1982.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York, Oxford University Press, 1989. 560p.
- JONES, T.A. Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions. *J. Sedim. Petrol.*, 39:1322-1627, 1969.
- KALMA, J.D. & STANHILL, G. The climate of an orange orchard: Physical characteristics and microclimate relationships. *Agric. Meteorol.*, 10:185-201, 1972.
- KOO, R.C.J. & HURNER, G.T. Irrigation requirements of citrus grown on Lakewood fine sand. *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 82:69-72, 1969.
- LEVINE, D.M.; BERENSON, M. & STEPHAN, D. Estatística: teoria e aplicações. Tradução de T.C.P. de Souza. Rio de Janeiro, LCT, 2000, 812p.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, O Autor, 2000. 509p.
- LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. & TUON, R.L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:1-12, 1996.
- LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Simple field methods for estimating hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:3-6, 1980.
- LIBARDI, P.L. & SAAD, A.M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em Latossolo Roxo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:529-532, 1994.
- OMETTO, J.C. Registros e estimativas de parâmetros meteorológicos da região de Piracicaba, SP. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1991. 76p.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Royal Soc. London - Série A*, 193:120-146, 1948.
- PEREIRA, A.R.; FERRAZ, 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)
- REEVE, J.O. & FURR, J.R. Evaporation from a shallow black pan evaporimeter as an index of soil moisture extraction by mature citrus trees. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 39:125-132, 1941.
- 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.
- ROGERS, J.S.; ALLEN, L.H. & CALVERT, D.V. Evapotranspiration from a humid-region developing citrus grove with grass cover. *Trans. Am. Soc. Agríc. Eng.*, 26:1778-1783, 1983.
- 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. *Aust. J. Soil Res.*, 5:11-19, 1967.
- STONE, L.R.; HORTON, M.L. & OLSON, T.C. Water loss from and irrigated sorghum field: I – Water flux within bellow root zone. *Agron. J.*, 65:492-495, 1973.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. The water balance. Centerton, Laboratory of Climatology, 1955. 107p. (Publications in Climatology, v.8, n.1)
- VACHAUD, G.; PASSERAT, D.; SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:822-828, 1985.
- VAN BAVEL, C.H.M.; NEWMAN, J.E. & HILGEMAN, R.H. Climate and estimated water use by an orange orchard. *Agric. Meteorol.*, 126:2-13, 1966.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D., ed. Application of soil physics. New York, Academic Press, 1980, 385p.
- WATSON, K.K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. *Water Res.*, 2:709-715, 1966.