

# CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE VASO<sup>(1)</sup>

Derblai Casaroli<sup>(2)</sup> & Quirijn de Jong van Lier<sup>(3)</sup>

## RESUMO

A capacidade de campo ou seu equivalente para culturas em vaso, a “capacidade de vaso”, é um dado importante para o manejo da irrigação. O objetivo deste trabalho foi determinar, em vasos preenchidos com material de dois solos diferentes (um argiloso e um de textura média), o teor de água e a taxa de perda de água em função do tempo e, a partir dessas determinações, estabelecer valores para a capacidade de vaso a partir de diferentes critérios. Conclui-se que o teor de água final extrapolado da curva observada  $\theta-t$  é um bom estimador da capacidade de vaso, especialmente para os casos em que a tolerância de perda de água é pequena. Não é recomendável estimar a capacidade de vaso com base em valores “tradicionais” de potencial matricial ou de tempo de drenagem, pois os valores são superestimados em relação aos teores obtidos com base na curva  $\theta-t$  e correspondem a altas taxas de redução de teor de água.

**Termos de indexação:** água no solo, cultivo em vasos, manejo da irrigação.

## SUMMARY: CRITERIA FOR POT CAPACITY DETERMINATION

*The field capacity, or its equivalent for soils in pots, the “pot capacity”, is an important parameter for irrigation management. We aimed to determine both water content and water loss as a function of time in pots filled with material of a clayey and a medium-textured soil. From these data the pot capacity water content was estimated using different criteria. It was concluded that the final water content extrapolated from the observed  $q-t$*

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em março de 2007 e aprovado em agosto de 2007.

<sup>(2)</sup> Doutorando do PPG em Física do Ambiente Agrícola, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Caixa Postal 09, Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail casaroli@esalq.usp.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. E-mail qdjvlier@esalq.usp.br

*curve is a good estimator of the pot capacity, especially in situations of low water loss tolerance. An estimation of the pot capacity according to "traditional" pressure heads or drainage times is not recommended, since the obtained values are overestimated, compared to the values obtained by the q-t curve and correspond to high reduction rates of the water content.*

*Index terms: irrigation management, pot plants, soil water.*

## INTRODUÇÃO

Capacidade de campo é conceituada como o teor de água que um solo sem vegetação e na ausência de evaporação retém contra a ação da gravidade, após plenamente saturado e deixado drenar livremente por um período de tempo – em média, de 1 a 3 d – em condições de campo (Veihmeyer & Hendrickson, 1931). O seu valor representa o teor de água máximo do solo para o qual a perda de água por drenagem é pequena. Significa quanta água é retida de uma chuva ou irrigação após a redistribuição ter atingido taxas desprezíveis. O valor da capacidade de campo é influenciado pelas propriedades hidráulicas do solo, pela sequência de seus horizontes e pelo teor inicial de água (Poulovassilis, 1983; Boedt & Verheye, 1985).

Além dos fatores mencionados, o valor da capacidade de campo é determinado também pela definição do tempo que decorre até se considerar a drenagem como insignificante. Uma coluna semi-infinita de solo perderá, na ausência de um lençol freático e passado tempo suficiente, toda a sua água por drenagem, não retendo nada contra a gravidade (Jury et al., 1991). Portanto, a água no solo na capacidade de campo não está em equilíbrio estático e o movimento descendente da água continua por vários dias ou mesmo meses (Hillel, 1980; Reichardt, 1988). Procedimentos de determinação da capacidade de campo mais fiéis ao conceito expressam-na em dependência de um valor de drenagem aceitável, como ilustrado em Campbell & Norman (1998).

O tempo para se considerar que a drenagem tenha atingido um valor desprezível é um critério subjetivo e varia entre diversos autores e situações: Salter & Haworth (1961) adotaram 68 h; Rivers & Shipp (1971) encontraram 48 h como critério de campo; e Marshall & Stirk (1949) determinaram 28 h para solos arenosos, 45 h para solos areno-argilosos e 120 h para solos argilosos.

Embora se saiba que o método *in situ* é insubstituível por método de laboratório (Medina & Oliveira, 1987), as dificuldades práticas do procedimento *in situ*, têm motivado as tentativas de se correlacionar empiricamente o teor de água na capacidade de campo com outros atributos do solo, como textura, estrutura, teor de matéria orgânica, ou com propriedades físicas do solo, utilizando funções de pedotransferência, são frequentemente encontradas na literatura. Uma das primeiras foi proposta por

Richards & Weaver (1944), que constataram que o teor de água retida ao potencial matricial de -3,3 m possui alta correlação com a capacidade de campo. Eles também sugeriram outros potenciais (-0,1 m para solos orgânicos, -0,5 m para solos do Reino Unido, -1 m para solos de textura média e -10 m para solos de textura argilosa). Salter & Williams (1965a,b) demonstraram que o teor de água corresponde à capacidade de campo aumenta conforme a granulometria da terra mais fina. Diversos autores (Oliveira & Melo, 1971; Hollis et al., 1977; Ahuja et al., 1985; Saxton et al., 1986; Arruda et al., 1987; Epebinue & Nwadialo, 1994; Cemek et al., 2004; Nourbakhsh et al., 2005) procuraram correlacionar a retenção de água com a textura, densidade do solo e teor de matéria orgânica. Um estudo detalhado comparando o desempenho de 13 funções de pedotransferência para estimativa da capacidade de campo foi apresentado por Givi et al. (2004).

Para facilitar sua determinação, vários outros trabalhos realizados em laboratório com amostras deformadas e indeformadas objetivaram definir um determinado potencial matricial de água no solo, geralmente de -3,4 e -1 m, que fosse correspondente ao teor de água retida na capacidade de campo medida *in situ*. Richards (1949) encontrou valores de potencial matricial entre -0,294 e -1,47 m, enquanto Jamison & Kroth (1958), trabalhando com 127 perfis, encontraram valores entre -0,01 e -1 m. Colman (1946) estabeleceu o valor de -3,4 m, sendo o mais utilizado até o presente.

É importante verificar que essas estimativas baseiam-se numa impressão incompleta do que é a capacidade de campo – uma característica intrínseca do solo que não pode ser observada de forma estática por se tratar de um processo dinâmico (Reichardt, 1988). É óbvio que não pode haver consenso sobre a correta tensão associada à capacidade de campo para cada tipo de solo e sobre o tempo de drenagem para atingi-la (Oliveira & Melo, 1971; Reichardt, 1988), pois seu valor depende não somente das características do horizonte em questão, mas também de sua inserção no perfil do solo e do critério para se considerar a drenagem desprezível. Métodos que visam a determinação da capacidade de campo em amostras de solo, deformadas ou não, são, portanto, conceitualmente incorretos (Jong van Lier, 2000).

Analogamente ao conceito de capacidade de campo, em estudos ou práticas agrícolas com plantas cultivadas

em vasos utiliza-se freqüentemente a “capacidade de vaso”. O solo no vaso difere do solo em posição natural em vários aspectos: o vaso normalmente é preenchido com material peneirado, às vezes acrescido de um condicionador. A altura do vaso é muito inferior à de um perfil de solo normal, e não existe no vaso seqüência de horizontes. Outra diferença importante é que a condição de contorno do lado inferior de um vaso é diferente da observada no caso de um solo em sua posição natural – não há, no vaso, um potencial matricial do lado inferior, como é o caso de um solo na sua posição natural. Por essas razões, valores diferentes são esperados para a capacidade de vaso, mesmo para uma composição material idêntica. Determinações da capacidade de vaso foram utilizadas por Plaut et al. (1996) e Purcell et al. (2000). Como vasos são normalmente preenchidos com material misturado e peneirado e a condição de contorno do lado inferior é sempre a mesma (isto é: abertura para a atmosfera), a capacidade de vaso é mais facilmente padronizável que a capacidade de campo.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer um critério para determinação da capacidade de vaso, para dois tipos de solos, a partir do teor de água e da taxa de perda de água em função do tempo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento foi instalado em laboratório, mantendo-se uma temperatura média de 22 °C. Foram utilizadas amostras de dois solos: um Argiloso Vermelho distrófico latossólico textura muito argilosa (AG) e um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico textura média (AR). Dados granulométricos de ambos os solos encontram-se no quadro 1. O ensaio foi realizado em seis vasos plásticos de 20 cm de altura, 4,0 L de volume e com área de drenagem de aproximadamente 3 cm<sup>2</sup>, preenchendo-se três vasos com 4,88 kg de solo (AG) e três com 5,64 kg (AR), de modo a obter densidades de 1.200 e 1.400 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente. Antes do preenchimento dos vasos, os solos foram secos ao ar e peneirados em peneira de malha de 5 mm.

A curva de retenção da água para os dois solos foi confeccionada a partir de oito amostras coletadas dos vasos. Obtiveram-se os teores de água nas tensões de 0,05; 0,20; 0,6; 1,0; 3,4; 10; 30; e 150 m, e aos valores observados foi ajustada a equação 1, proposta por van Genuchten (1980).

$$\Theta = \left[ 1 + |\alpha h|^n \right]^{\frac{1}{n-1}} \quad (1)$$

em que  $\Theta = (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r)$ ,  $\theta$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_s$  são teor de água, teor de água residual e saturado (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), respectivamente,  $h$  é o potencial matricial (m) e  $\alpha$  (m<sup>-1</sup>) e  $n$  são parâmetros empíricos.

Os solos acomodados nos vasos foram colocados para saturar em uma caixa-d'água com volume de água equivalente a 2/3 da altura dos vasos. Dessa forma, os vasos foram mantidos por um período de 24 h, para que ocorresse a saturação completa. Logo após, eles foram cobertos com filme plástico, para evitar a evaporação, e colocados para drenar livremente, sendo medidas suas massas nos tempos zero e após 24, 36, 48, 60 e 72 h. A partir da gravimetria, obtiveram-se os valores do teor de água no solo em cada tempo.

Aos pares de dados  $\theta$ - $t$  ajustou-se a equação:

$$\theta = \theta_f + (\theta_0 - \theta_f) e^{-\frac{t}{t_c}} \quad (2)$$

obtendo-se seus parâmetros  $\theta_f$  (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>),  $\theta_0$  (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e  $t_c$  (h). O parâmetro  $\theta_f$  é o teor de água ao qual a curva tende quando  $t$  tende ao infinito;  $\theta_0$ , o teor de água inicial (em  $t = 0$ ); e  $t_c$ , o intervalo de tempo em que o teor de água diminuído de  $\theta_0$  reduz de um valor inicial para  $1/e$  ( $\approx 0,368$ ) vezes aquele valor.

A partir da equação 2, obtém-se:

$$\left| \frac{d\theta}{dt} \right| = \frac{(\theta_0 - \theta_f) e^{-\frac{t}{t_c}}}{t_c} \quad (3)$$

Das equações 2 e 3 demonstra-se também que  $\theta$  em função de  $|d\theta/dt|$  equivale a:

$$\theta = \theta_f + t_c \left| \frac{d\theta}{dt} \right| \quad (4)$$

Quadro 1. Dados granulométricos dos dois solos utilizados nos ensaios (AG e AR)

Solo	Areia					Silte	Argila		Floculação	Classe textural
	Grossa	Média	Fina	Muito fina	Total		Total	em água		
	kg kg <sup>-1</sup>									
AG	0,01	0,04	0,12	0,08	0,25	0,12	0,63	0	1,00	muito argiloso
AR	0,02	0,22	0,40	0,12	0,76	0,04	0,20	0,06	0,70	média

Com base nos resultados do experimento de drenagem, a capacidade de vaso foi estimada de três formas: (a) pela taxa de decréscimo do teor de água  $|d\theta/dt|$ : o teor de água no momento em que  $|d\theta/dt|$  atinge  $0,01 \text{ d}^{-1}$ ,  $0,001 \text{ d}^{-1}$ ,  $0,0001 \text{ d}^{-1}$  ou  $0 \text{ d}^{-1}$  calculado pela equação 4; (b) pelo tempo decorrido: o teor de água a 24, 48 e 72 h após início do experimento de drenagem; e (c) pelo teor de água nos potenciais matriciais de -3,4 m (AG) e -1,0 m (AR), seguindo literatura de referência em irrigação (Salassier et al., 2006), calculado pela equação 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Curva de retenção

Os dados obtidos nas oito amostras por solo (médias e desvios-padrão) dos teores de água nos oito valores de potencial matricial para os dois solos estão no quadro 2. Observa-se que os valores de desvio-padrão estão todos inferiores a  $0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e a maioria menor que  $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , indicando baixa variabilidade entre as amostras, o que pode ser esperado no caso de material peneirado.

A equação de van Genuchten (Equação 1) ajustada, junto com os pontos observados e os parâmetros de ajuste da equação, é representada na figura 1.

### Experimento de drenagem

Os resultados do experimento de drenagem são apresentados no quadro 3. O ajuste à equação 2 para ambos os solos pode ser observado na figura 2, com os respectivos parâmetros e coeficientes de determinação ( $R^2$ ). A partir desta figura e dos valores de  $R^2$ , verifica-

se que a função ajustou-se muito bem aos valores observados. O desvio-padrão das observações nas três repetições foi baixo, geralmente em torno de  $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ou menor, correspondendo a um coeficiente de variação inferior a 3 %, exceto para os tempos maiores que 24 h no solo AR, onde os valores do desvio-padrão foram levemente superiores e os coeficientes de variação corresponderam a valores entre 4 e 8 %.

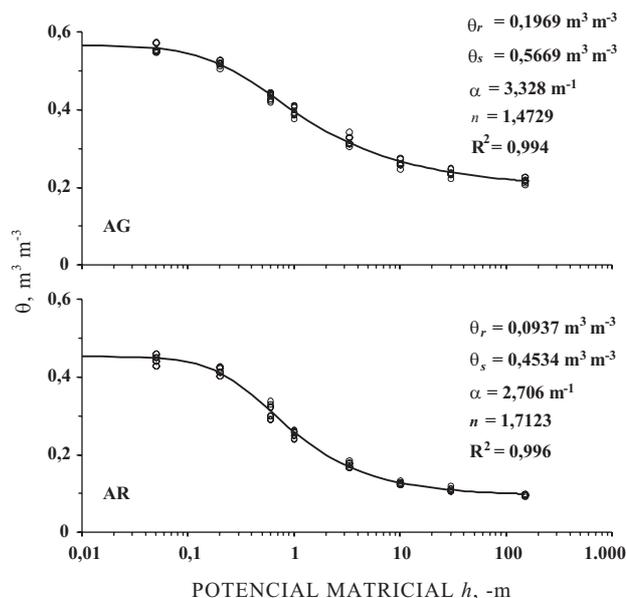


Figura 1. Valores observados do teor de água  $\theta$  em função do potencial matricial (pontos), curva de retenção da água no solo representada pela equação de Van Genuchten ajustada (linha) e parâmetros de ajuste para os solos AG e AR.

Quadro 2. Média e desvio-padrão do teor de água no solo para oito valores de potencial matricial (cada um baseado em oito observações), para os solos AG e AR

Potencial matricial	AG		AR	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
m	$\theta$ $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$			
-0,05	0,5581	0,0103	0,4459	0,0124
-0,2	0,5203	0,0074	0,4158	0,0094
-0,6	0,4358	0,0094	0,3128	0,0186
-1	0,3960	0,0126	0,2539	0,0087
-3,3	0,3205	0,0127	0,1738	0,0072
-10	0,2629	0,0089	0,1268	0,0033
-30	0,2377	0,0084	0,1108	0,0044
-150	0,2183	0,0070	0,0965	0,0026

Pode-se verificar também, pelos valores de potencial matricial representados na figura 2, decréscimo de potencial mais acentuado no solo AG em relação ao AR. Esse fato se deve ao formato das respectivas curvas de retenção (Figura 1), uma vez que as curvas de decréscimo de teor de água não apresentam disparidade semelhante. Isso se deve, principalmente, ao maior número de microporos existentes em um solo de textura argilosa, em relação a um solo de textura arenosa, propiciando aos solos de textura fina maior capacidade de reter água a potenciais matriciais mais negativos. Conseqüentemente, e em conformidade com a literatura (Hillel, 1980; Reichardt, 1988; Jury et al., 1991; Campbell & Norman, 1998), o potencial matricial correspondente a um determinado tempo de drenagem – por exemplo, 48 h – possui valores mais negativos para solos de textura mais argilosa (Richards, 1949; Jamison & Kroth, 1958; Rivers & Shipp, 1971; Salassier et al., 2006).

### Estimativa da capacidade de vaso

Para estimar a capacidade de vaso pelo critério da taxa de decréscimo do teor de água  $|d\theta/dt|$ , utilizou-se a equação 4 para obter os valores de teor de água correspondentes às respectivas taxas preestabelecidas. Os valores de  $\theta$  e a correspondência em  $h$ ,  $|d\theta/dt|$  e tempo são apresentados nos quadro 4 (AG e AR). No mesmo quadro encontram-se os valores correspondentes aos critérios de tempo de drenagem e potencial matricial.

O critério da taxa de decréscimo é o que mais se aproxima do conceito de capacidade de campo (Veihmeyer & Hendrickson, 1931; Hillel, 1980; Reichardt, 1988; Jury et al., 1991; Campbell & Norman, 1998); no entanto, para sua aplicação deve-se decidir por uma taxa  $|d\theta/dt|$  considerada razoável. Observa-se no quadro 4, bem como na figura 3, que o teor de água para  $|d\theta/dt| = 0$  é praticamente igual ao teor para

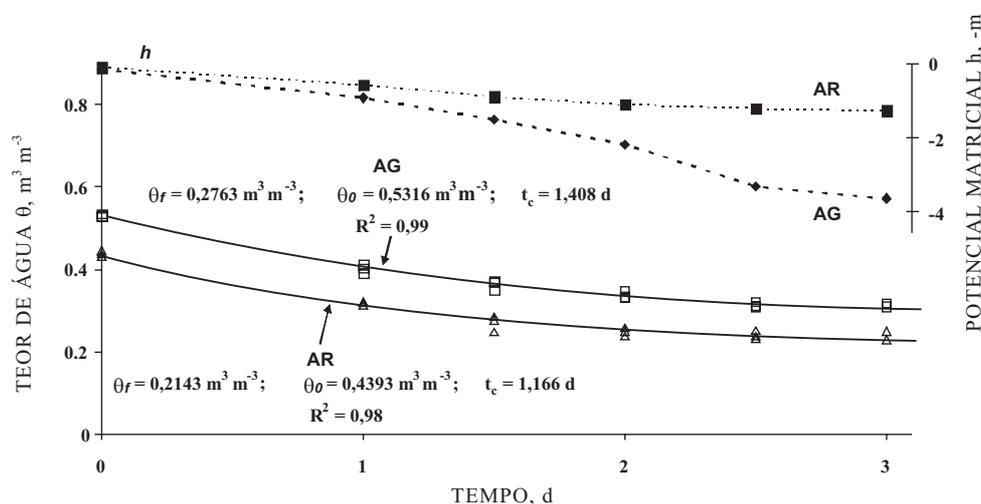


Figura 2. Potencial matricial (pontos cheios, linhas pontilhadas), teor de água observado (pontos abertos) e equação 2 ajustada (linha) em função do tempo durante o experimento de drenagem para os solos AG e AR, bem como os parâmetros do ajuste.

Quadro 3. Teor de água no solo ( $\theta$ ,  $m^3 m^{-3}$ ) – média de três repetições, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) para os solos AG e AR no experimento de drenagem, em diferentes tempos após o início do experimento

Solo		0 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
		$\theta \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$					
AG	Média	0,5314	0,4025	0,3643	0,3394	0,3147	0,3097
	Desvio-padrão	0,0028	0,0101	0,0106	0,0093	0,0065	0,0094
	CV (%)	0,5	2,5	2,9	2,7	2,1	3,0
AR	Média	0,4381	0,3179	0,2705	0,2488	0,2408	0,2361
	Desvio-padrão	0,0074	0,0048	0,0193	0,0106	0,0106	0,0125
	CV (%)	1,7	1,5	7,1	4,3	4,4	5,3

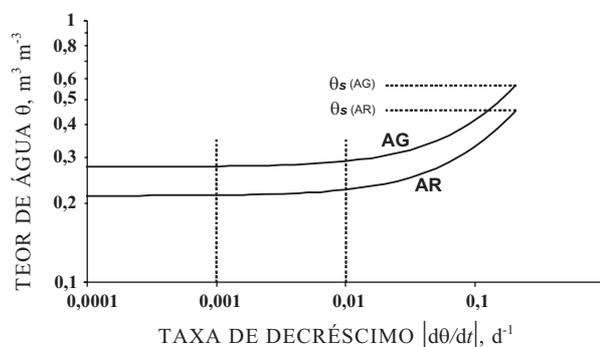
**Quadro 4. Valores de teor de água, potencial matricial, taxa de decréscimo e tempo decorrido, estimados por diferentes métodos, para os solos AG e AR**

Critério	Teor de água	Potencial matricial	Taxa de decréscimo	Tempo decorrido
Taxa de decréscimo ( $d^{-1}$ )	$m^3 m^{-3}$	m	$d^{-1}$	d
Solo AG				
0,01	0,2904	-5,46	0,01	4,1
0,001	0,2778	-7,54	0,001	7,3
0,0001	0,2765	-7,71	0,0001	10,3
0	0,2763 ( $= \theta_r$ )	-7,73	0	8
Tempo decorrido (h)				
24	0,4018	-0,93	0,0891	1
48	0,3380	-2,23	0,0438	2
72	0,3066	-3,84	0,0215	3
Potencial matricial (m)				
-3,4	0,3127	-3,44	0,0242	2,7
Solo AR				
Taxa de decréscimo ( $d^{-1}$ )				
0,01	0,2259	-1,43	0,01	3,5
0,001	0,2154	-1,62	0,001	6,2
0,0001	0,2144	-1,64	0,0001	9,0
0	0,2143 ( $= \theta_r$ )	-1,65	0	8
Tempo decorrido (h)				
24	0,3097	-0,62	0,0818	1
48	0,2548	-1,04	0,0347	2
72	0,2315	-1,34	0,0147	3
Potencial matricial (m)				
-1,0	0,2556	-1,03	0,0359	2,0

$|d\theta/dt| = 0,001 d^{-1}$  e  $0,0001 d^{-1}$ , tanto para o solo AG como para o AR. Um critério interessante seria definir a capacidade de campo/vaso quando  $|d\theta/dt|$ , por extrapolação, equivale a zero, isto é, quando  $\theta = \theta_r$  (Equação 4). Seu valor corresponde para o solo AG a um potencial matricial em torno de -8 m, enquanto o valor para o solo AR está em torno de -1,6 m. Confirma-se assim o potencial mais negativo no material mais argiloso (AG). É importante salientar que todos os valores correspondentes ao critério da taxa de decréscimo referem-se a valores extrapolados, cujos tempos estão acima dos 3 d de observação experimental.

Os potenciais matriciais freqüentemente utilizados como “padrão” (-3,4 e -1,0 m, respectivamente para solos argilosos e arenosos) são bem menos negativos que os estabelecidos pelo critério da taxa de decréscimo, ocasionando superestimativa no valor da taxa em torno de 2,5 a 3,5 % ao dia para os dois solos, o que pode ser considerado alto para muitas aplicações. Essa situação pode ser diferente do observado em condições de campo, onde é comum a ocorrência de impedimentos

à drenagem, resultando em observações de valores para capacidade de campo com teores de água superiores. Assim, uma estimativa da capacidade de campo poderia beneficiar-se do conhecimento das condições de drenagem do solo.



**Figura 3. Teor de água  $\theta$  em função da taxa de decréscimo do teor de água para os solos AG e AR, calculado pela equação 4 com parâmetros ajustados.**

Utilizando o critério de tempo de drenagem, observou-se que, mesmo para o tempo de 72 h e para o solo de textura média (AR), a taxa de decréscimo supera  $0,01 \text{ d}^{-1}$ . Além disso, e como era de se esperar, um mesmo tempo resulta em valores de  $|d\theta/dt|$  e de potenciais matriciais bem diferentes entre os dois materiais de solo estudados. Assim, padronizar a capacidade de campo (ou vaso) por um tempo de drenagem não parece recomendável, porém já foi indicado por alguns autores (Salter & Haworth, 1961; Rivers & Shipp, 1971; Marshall & Stirk, 1949). Para o tempo mais frequentemente utilizado (48 h), as taxas  $|d\theta/dt|$  estão em torno de 4 % ao dia. Ainda, quando estimada com base em valores fixos de tempo de drenagem (24, 48 e 72 h), o valor da capacidade de vaso corresponde a taxas de redução de teor de água acima de 1 % ao dia.

Como já foi observado por outros autores (Souza & Reichardt, 1996), as caracterizações da capacidade de campo com o emprego de parâmetros estáticos, como valores fixos de potencial matricial, do teor de água ou do tempo de drenagem após a saturação, não apresentaram correlação que possa ser sistematizada, pois o tratamento estático deve dar lugar a uma abordagem dinâmica, à qual se refere esse processo (Reichardt, 1988; Jong van Lier, 2000).

## CONCLUSÕES

1. O teor de água final extrapolado da curva observada  $\theta-t$  é um bom estimador da capacidade de vaso nos casos em que a tolerância de perda de água é pequena.

2. Não é recomendável estimar a capacidade de vaso com base em valores “tradicionais” de potencial matricial (-3,4 ou -1,0 m) ou de tempo de drenagem (24, 48 e 72 h), pois os valores obtidos são superestimados em relação aos teores estimados com base na curva  $\theta-t$  e correspondem a altas taxas de redução de teor de água (> 1 % ao dia).

## LITERATURA CITADA

- AHUJA, L.R.; NAMEY, J.W. & WILLIAMS, R.D. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:1100-1105, 1985.
- ARRUDA, F.B.; ZULLO JÚNIOR, J. & OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:11-15, 1987.
- BOEDT, L. & VERHEYE, W. Evaluation of profile available water capacity. 1. The conceptual approach. *Pedologie*, 35:55-65, 1985.
- CAMPBELL, G.S. & NORMAN, J.M. Introduction to environmental biophysics. New York, Springer, 1998. 286p.
- CEMEK, B.; MERAL, R.; APAN, M. & MERDUN, H. Pedotransfer functions for the estimation of the field capacity and permanent wilting point. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 7:535-541, 2004.
- COLMAN, E.A. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. *Soil Sci.*, 67:277-283, 1946.
- EPEBINUE, O. & NWADIALO, B. Predicting soil water availability from texture and organic matter content for Nigerian soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 24:633-640, 1994.
- GIVI, J.; PRASHER, S.O. & PATEL, R.M. Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. *Agric. Water Manag.*, 70:83-96, 2004.
- HILLEL, D. Internal drainage and redistribution following infiltration. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. p.50-72.
- HOLLIS, J.M.; JONES, R.J.A. & PALMER, R.C. The effects of organic matter and particle size on the water retention properties of some soils in the west midlands of England. *Geoderma*, 17:225-238, 1977.
- JAMISON, V.V. & KROTH, E.M. Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 22:189-192, 1958.
- Jong van LIER, Q. Índices da disponibilidade de água às plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p.95-106.
- JURY, W.A.; GARDNER, W.R. & GARDNER, W.H. Soil physics. 5.ed. New York, John Wiley & Sons, 1991. 328p.
- MARSHALL, T.J. & STIRK, G.B. Pressure potential of water moving downward into soil. *Soil Sci.*, 68:359-70, 1949.
- MEDINA, B.F. & OLIVEIRA, R.C. Relações entre capacidade de campo determinada *in situ* e em laboratório em Latossolo Amarelo muito argiloso. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:91-95, 1987.
- NOURBAKHS, F.; AFYUNI, M.; ABBASPOUR, K.C. & SCHULIN, R. Estimation of field capacity and wilting point from basic soil physical and chemical properties. *Arid Land Res. Manag.*, 19:81-85, 2005.
- OLIVEIRA, L.B. & MELO, V. Estudo da disponibilidade de água em um solo da estação experimental de Itapirema, Pernambuco. *Pesq. Agropec. Bras.*, 6:31-37, 1971.
- PLAUT, Z.; CARMÍ, A. & GRAVA, A. Cotton root and shoot responses to subsurface drip irrigation and partial wetting of the upper soil profile. *Irrig. Sci.*, 16:137-148, 1996.
- POULOVASSILIS, A. The influence of the initial water content on the redistribution of soil water after infiltration. *Soil Sci.*, 135:275-281, 1983.

- PURCELL, L.C.; KING, C.A. & BALL, R.A. Soybean cultivar differences in ureides and the relationship to drought tolerant nitrogen fixation and manganese nutrition. *Crop Sci.*, 40:1062-1070, 2000.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:211-216, 1988.
- RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, 68:95-112, 1949.
- RICHARDS, L.A. & WEAVER, L.R. Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. *J. Agric. Res.*, 69:215-235, 1944.
- RIVERS, E.D. & SHIPP, R.F. Available water capacity of sandy and gravelly North Dakota soils. *Soil Sci.*, 113:74-80, 1971.
- SALASSIER, B.; SOARES, A.A. & MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625p.
- SALTER, P.J. & HAWORTH, F. The available-water capacity of sand loam soil. I. A critical comparison of methods of determining the moisture content of soil at capacity and at the permanent wilting percentage. *J. Soil Sci.*, 12:326-34, 1961.
- SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils I. A critical comparison of techniques for determining the available-water capacity and moisture characteristic curve of a soil. *J. Soil Sci.*, 16:1-15, 1965a.
- SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils II. Available-water capacity and moisture release characteristics. *J. Soil Sci.*, 16:310-317, 1965b.
- SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S. & PADENDICK, R.J. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1031-1036, 1986.
- SOUZA, L.D. & REICHARDT, K. Estimativa da capacidade de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:183-189, 1996.
- 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.
- VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soil. *Soil Sci.*, 32:181-193, 1931.