

**ARTIGO TÉCNICO**

**CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA ELABORADA PELO MÉTODO DO PSICRÔMETRO PARA USO NA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE “S” DE QUALIDADE FÍSICA DO SOLO**

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p959-966/2015>

**JOSÉ F. DE MELO FILHO<sup>1</sup>, JOSÉ A. A. S. DO SACRAMENTO<sup>2</sup>,  
BRUNA P. S. CONCEIÇÃO<sup>3</sup>**

**RESUMO:** A curva de retenção representa a relação entre o teor de água no solo e a energia com a qual a mesma está retida nos poros e/ou adsorvida nas partículas minerais do solo. Trata-se de uma relação com várias e importantes aplicações práticas relacionadas à relação solo-água em agricultura. Atualmente, é também utilizada como base para determinação de índices de qualidade física do solo, a exemplo do índice “S” proposto por Dexter em 2004. Para sua elaboração existe uma grande variedade de métodos, dentre os quais o que usa a câmara de pressão de Richards é o mais tradicional. Atualmente equipamentos eletrônicos, a exemplo do psicrômetro WP4, têm sido sugeridos como instrumentos úteis para a elaboração da curva de retenção. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial da curva de retenção de água no solo elaborada pelo método do psicrômetro para utilização na determinação do índice “S” de qualidade física do solo. Os resultados mostram que curvas de retenção de água no solo, elaborada pelo método do psicrômetro, apresentam alterações nos parâmetros de ajuste relativos à equação de Van Genuchten, podendo subestimar os valores do índice “S” de qualidade física do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** água no solo, câmara de Richards, psicrômetro e equação de Van Genuchten.

**WATER-RETENTION CURVE MODELLED BY THE PSYCHROMETER METHOD FOR SOIL PHYSICAL QUALITY INDEX DETERMINATION**

**ABSTRACT:** Soil-water retention curve (SWRC) represents the relation between the water content in soil and the suction energy that retains it within porous media and/ or adsorbed in mineral particles of soil. This curve is also used to calculate indices of soil physical quality, “S”, as proposed in 2004 by Dexter. Such index can be obtained by several methods; among them, the pressure plate apparatus (Richards’s pressure chamber) is the primary and most common one. Electronic equipment like a WP4 psychrometer have been suggested as usefulness tools to establish SWRCs. In this context, we aimed to evaluate the potential of SWRCs, developed by a psychrometer, in determining the soil physical quality index. The results show that SWRCs prepared by the psychrometer method had alterations in the setting parameters related to the equation of van Genuchten. Therefore, the generated curves may underestimate the values of the “S” index calculated.

**KEYWORDS:** soil-water relationship, Richards’s chamber, psychrometer and van Genuchten equation.

**INTRODUÇÃO**

A curva de retenção de água representa a relação entre o teor de água no solo e a energia com a qual a mesma está retida nos poros e/ou adsorvida nas partículas minerais do solo. A metodologia

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB/Cruz das Almas – BA, Fone: (75) 8822-1103, jfmelo@ufrb.edu.br

<sup>2</sup> Engº Agrônomo, Prof. Doutor, Instituto de Biodiversidade e Florestas, UFOPA/Santarém - PA, jassacramento@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Engº Agrônomo, Cruz das Almas – BA, bpsobral@gmail.com

Recebido pelo Conselho Editorial em: 10-12-2013

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 6-4-2015

para sua determinação foi estabelecida por RICHARDS (1965) e a partir daí vem sendo amplamente utilizada, dadas as possibilidades e aplicações relativas às propriedades hidráulicas do solo na agricultura. Atualmente, também é utilizada como parâmetro para o estabelecimento de índice “S” de qualidade física do solo (MAIA, 2011; SHAHAB et al., 2013; DEXTER, 2004).

Existe grande variedade de métodos para a determinação da curva de retenção. Dentre estes, destacam-se os métodos da centrífuga (SILVA et al., 2006; COSTA et al., 2008), do funil de placa porosa (CINTRA et al., 2004), câmara de pressão de Richards (CINTRA et al., 2004), tensiometria (EVANGELISTA et al., 2013) e método do papel-filtro (LUCAS et al., 2011).

O método mais tradicional e considerado padrão para a determinação da curva de retenção é o da câmara de pressão de RICHARDS (1965). Este método apresenta algumas desvantagens, como o elevado custo do equipamento, tempo necessário para equilíbrio entre umidade e tensão aplicada, problemas de contato hidráulico entre a placa porosa e a amostra, além de não reproduzir bem as condições de campo (TAVARES et al., 2008; BITTELLI & FLURY, 2009; ANTINORO et al., 2014). Por esta razão, diversos pesquisadores têm proposto métodos mais baratos e rápidos, tanto em campo quanto em laboratório (DASHTAKI et al., 2010; SALAGER et al., 2011; SCHINDLER et al., 2012). Mais recentemente, as tentativas buscam a utilização de equipamentos eletrônicos, a exemplo do psicrômetro WP4 (*Dewpoint Potential Meter*), aparelho que realiza leituras rápidas do potencial de água de uma amostra deformada do solo. No mesmo, o potencial de retenção é quantificado, medindo-se a pressão de vapor entre a fase líquida da amostra quando em equilíbrio com a fase do vapor da água, em uma câmara de leitura hermeticamente fechada (COSTA et al., 2008). Estes mesmos autores verificaram que o equipamento WP4 apresenta como vantagem proporcionar rápidas leituras, porém com a limitação de ser afetado por mudanças bruscas de temperatura ambiental e baixa precisão em tensões de aproximadamente 0,1 MPa. Outro estudo, mais recente, verificou que o equipamento, também, pode apresentar erros na estimativa do conteúdo de água para potenciais acima de -0,7 MPa (GUBIAN et al., 2012).

A curva de retenção de água no solo também tem sido proposta como um elemento fundamental para a avaliação da qualidade do solo em sistemas agrícolas (CARDUCCI et al., 2013). Por exemplo, DEXTER (2004) propôs um índice baseado na declividade da curva de retenção no seu ponto de inflexão, ao qual deu a denominação de índice “S”, e que tem sido avaliado e reconhecido como um parâmetro de avaliação preciso e sensível às alterações determinadas pelo uso e manejo do solo (TORMENA et al., 2008). Também pode ser uma valiosa ferramenta para a quantificação da degradação e avaliação da qualidade física do solo, pois o valor de “S” é sensível às mudanças determinadas pelo uso e manejo em importantes propriedades físicas do solo (DEXTER, 2004; ANDRADE & STONE, 2009). Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial da curva de retenção de água no solo elaborada com o psicrômetro WP4 para a utilização na determinação do índice “S” de qualidade física do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado neste estudo foi coletado na Fazenda Cultrosa, município de Camamu – BA, em duas áreas. Área 1: Mata nativa (MN), pertencente à reserva legal da fazenda; e área 2: Consórcio cacau + seringueira (CS), no qual, o seringal foi implantado em 1968, e o cacau em 1988. Os tratos culturais dessa área são anuais e envolvem adubações químicas, roçagem química e manual, e podas do cacauzeiro. No sistema MN, o solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico plântico, e no sistema CS, como Plintossolo Háplico Alumínico petroplântico (EMBRAPA, 2013).

As amostras de solo foram coletadas em uma transeção com 24 metros de comprimento, com pontos de coleta espaçados a cada 12 m, totalizando três repetições por sistema de uso e manejo, e as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 – 0,20 m.

As curvas de retenção foram elaboradas conforme o método descrito em EMBRAPA (2011), com adaptações referentes à parte de alta tensão, para as quais se utilizaram câmaras de Richards e o psicrômetro WP4. Para a determinação do conteúdo de água na faixa de baixa tensão, as amostras

indeformadas de solo foram saturadas por capilaridade e submetidas a tensões de: 0; 0,001; 0,002; 0,004 e 0,006 MPa, em uma mesa de tensão (EMBRAPA, 2011).

Para a utilização da metodologia da câmara de Richards, amostras deformadas foram colocadas em anéis de borracha sobre a placa porosa, saturadas e, em seguida, submetidas a tensões de 0,0333; 0,1; 0,3; 0,5 e 1,5 MPa em câmara de pressão de Richards, conforme EMBRAPA (2011). Após atingir o equilíbrio, essas amostras foram pesadas em balança de precisão e, em seguida, levadas à estufa a 105°C por 48h e pesadas novamente para a determinação da umidade correspondente à tensão aplicada.

O WP4 é um equipamento eletrônico, que mede o teor de água em uma amostra de solo úmido, com estrutura deformada, em uma câmara hermeticamente fechada. A umidade na câmara equilibra-se com o potencial da água no solo, sendo este calculado com base na temperatura do solo e do ar, no ponto de orvalho (SCANLON et al., 2002). Para tanto, as amostras de solo são previamente umedecidas, considerando-se ampla faixa de variação do teor de água do solo e posteriormente, levadas ao equipamento. Cada determinação de potencial, para dado teor de água do solo, tem duração de cerca de 5 minutos e leva-se em torno de 2 horas para determinação de aproximadamente vinte pontos para a construção da curva de retenção de água no solo. A faixa de tensão utilizada no WP4 para este estudo foi de 0,1 a 97 MPa, conforme possível pelo equipamento.

Os pares de dados de umidade e o potencial mátrico obtidos nos dois métodos foram ajustados ao modelo de VAN GENUCHTEN (1980), ou:

$$\theta = (\theta_{sat} - \theta_{res})[1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{res} \quad (1)$$

sendo,

$\theta$  a umidade do solo;

$\theta_{sat}$  a umidade do solo na saturação;

$\theta_{res}$  a umidade residual do solo;

$h$  a tensão da água no solo;

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  os parâmetros de ajuste. O ajuste foi feito com o auxílio do software “Curve Retention” (RETC) (VAN GENUCHTEN et al., 2003)

A distribuição de poros por tamanho foi estimada com base na curva de retenção de água no solo, conforme descrito em LIBARDI (2005). O cálculo do índice “S” foi feito conforme DEXTER (2004), ou:

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \quad (2)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de retenção de água no solo apresentam semelhanças na parte que corresponde aos potenciais medidos da mesa de tensão e nítidas diferenças na faixa que corresponde aos potenciais medidos pela câmara de Richards e pelo psicrômetro WP4. Para valores de tensão superiores a 0,006 MPa, as alterações na forma das curvas indicam maiores valores de umidade, para potenciais correspondentes, na curva elaborada pelo psicrômetro WP4 (Figura 1).

O método da câmara de Richards apresenta uma curva com nove pontos para cada sistema, enquanto a curva elaborada pelo psicrômetro WP4 consta de sete e oito pontos para o sistema MN e CS, respectivamente. Este fato decorreu da impossibilidade encontrada para se estabelecer o equilíbrio entre umidade e temperatura, quando da realização das leituras para potenciais muito negativos no psicrômetro WP4. O número de pontos para a elaboração da curva de retenção de água no solo é uma informação fundamental para a distinção entre elas. No entanto, apesar da importância desta condição, ainda existem contradições a respeito do número ideal de pontos.

Segundo SILVA et al. (2006), curvas com menos de oito pontos não podem ser discriminadas estatisticamente e, portanto, também não podem ser comparadas em suas características. Ao contrário, GRIGOLON (2013), buscando encontrar o número mínimo ideal de pontos para a elaboração de curvas de retenção de água no solo, concluiu que sete pontos foram suficientes para elaboração de curvas, válidas tanto para solos arenosos, quanto para argilosos. Essa pode ser uma desvantagem do psicrômetro WP4, tendo em vista a dificuldade encontrada para se definir o número e o intervalo entre os mesmos quando da elaboração de curvas com o equipamento, o que não ocorre com o método padrão de Richards, que possibilita a definição prévia tanto do número de pontos quanto do intervalo entre eles. Por outro lado, essa também pode não ser uma deficiência do equipamento, mas resultante da influência de fatores associados ao solo, a exemplo do teor de ferro, que ao interferir no funcionamento do mesmo dificulta a obtenção do equilíbrio necessário para as leituras (ANTINORO et al., 2014).

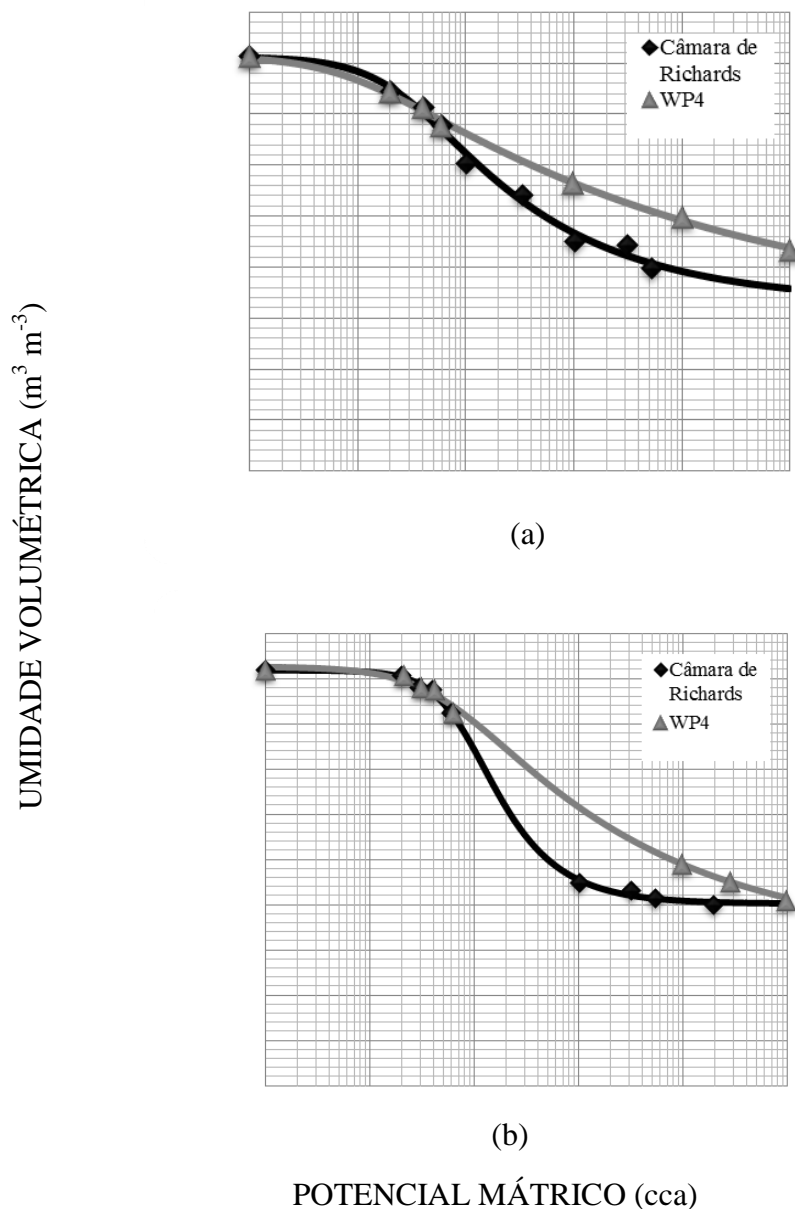


FIGURA 1. Curvas de retenção de água elaboradas pelos métodos da Câmara de Richards e pelo psicrômetro WP4 para a camada superficial (0 – 0,20 m) do solo em dois sistemas de manejo: a) mata nativa (MN) e b) sistema consorciado cacau + seringueira (CS). **Soil-water retention curves established by the methods of Richard's and WP4 psychrometer for samples from surface layer (0 to 0.20 m) of soil under two management systems: a) native forest (NF) and b) intercropping system with cocoa and rubber tree (CR).**

Os parâmetros de ajuste dos pares de dados de umidade e tensão ao modelo de VAN GENUCHTEN (1980) estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros de ajuste ao modelo de VAN GENUCHTEN (1980) para curvas de retenção de água no solo, elaborada a partir de dois métodos: câmara de Richards e psicrômetro WP4. **Setting parameters of the van Genuchten (1980) used for soil-water retention curves established using the methods of Richard's chamber and WP4 psychrometer.**

Equipamento	$\theta_S$	$\theta_R$	$\alpha$	$n$	$m$	$r^2$
<b>Mata nativa</b>						
	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$					
Câmara de Richards	0,406	0,165	0,037	1,347	0,258	0,992
Psicrômetro WP4	0,407	0,145	0,119	1,135	0,119	0,998
<b>Cacau + seringueira</b>						
Câmara de Richards	0,459	0,201	0,012	1,919	0,479	0,999
Psicrômetro WP4	0,463	0,157	0,019	1,240	0,193	0,999

$\theta_S$  - unidade do solo na saturação;  $\theta_R$  - unidade residual do solo;  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  - parâmetros de ajuste.

Analisando-se a Tabela 1, verifica-se que, para os dois métodos de elaboração da curva de retenção de água no solo, o ajuste obtido ( $r^2$ ) para a equação de VAN GENUCHTEN (1980) foi próximo a 1 nos dois sistemas de uso e manejo estudados. Observa-se que os valores de  $\theta_R$  são maiores nos dois sistemas para o método da câmara de Richards. Considerando-se que, na faixa de alta tensão, utilizaram-se, nos dois métodos, de amostras com estrutura deformada, a diferença nos resultados não pode ser atribuída à porosidade, que não tem efeito marcante na faixa de maior tensão de retenção da água no solo. Desta forma, a diferença observada pode estar associada ao tempo utilizado para a drenagem das amostras nas câmaras de Richards, o qual pode ter sido insuficiente para prover a drenagem de toda a água associada à matriz do solo (JIRKŮ et al., 2013), o que, logicamente, pode ter influenciado na magnitude dos valores encontrados.

Equipamentos	Macroporos ( $>50 \mu\text{m}$ )	Microporos ( $0,2-50 \mu\text{m}$ )	Criptoporos ( $<0,2 \mu\text{m}$ )
%			
<b>Mata nativa</b>			
Câmara de Richards	17,3	35,5	47,2
WP4	15,4	25,5	59,1
<b>Cacau + seringueira</b>			
Câmara de Richards	9,6	46,2	44,2
WP4	9,1	39,9	51,0

Da mesma forma, os parâmetros de ajuste 'n' e 'm' também apresentaram maiores valores para o método da câmara de Richards nos dois sistemas de uso e manejo do solo. Segundo JIRKŮ et al. (2013), o parâmetro 'n' está diretamente relacionado com a declividade da curva de retenção de água no solo. Os valores de 'n' (Tabela 1) encontrados nessa avaliação, confirmam esta afirmativa. As curvas elaboradas com as leituras do psicrômetro WP4 (Figura 1) cujo valor de 'n', no ajuste, foi menor do que para a câmara de Richards, apresentam menor declividade, com tendência linear na faixa de tensão que corresponde aos dados obtidos com este equipamento.

O parâmetro 'm' também foi maior para os dados da câmara de Richards nos dois sistemas. Segundo MAIA et al. (2011), a análise do parâmetro 'm' da curva de retenção pode indicar satisfatoriamente o comportamento da água em termos de sua condução no solo. Estes autores enfatizam a importância de se indicar no cálculo do índice "S" o uso ou não da restrição  $m = 1 - 1/n$ , pois a mesma pode apresentar valores diferentes no cálculo do referido índice. Assim como no presente trabalho, STRECK et al. (2008) e SILVA et al. (2008) também não utilizaram a restrição  $m = 1 - 1/n$  ao compararem seus trabalhos com os de outros autores.

Para confirmar a influência do valor de ‘m’ na condutividade hidráulica, tentou-se calcular a condutividade hidráulica relativa ( $K_r$ ) a partir das curvas ajustadas pela equação de VAN GENUCHTEN (1980) para os dois métodos. Verificou-se que não foi possível calcular a  $K_r$  para os dados gerados com o psicrômetro WP4. Essa impossibilidade decorre dos baixos valores de  $\theta_s$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_{0,006\text{MPa}}$ , os quais também influenciaram o valor da saturação relativa ( $\omega$ ), inviabilizando o cálculo matemático da  $K_r$ .

A curva de retenção também permite calcular a distribuição do tamanho dos poros no solo (LIBARDI, 2005; CARDUCCI et al., 2013). Aplicando-se o método indicado por esses autores, calculou-se a porosidade do solo, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2. Observar-se que o método utilizado para a determinação da relação umidade versus tensão aplicada resulta em diferentes quantitativos para a estimativa da porosidade do solo. Neste estudo, a macroporosidade estimada foi praticamente igual para os dois métodos, nos dois sistemas de manejo. No entanto, para a microporosidade, observou-se que os resultados foram menores quando estimados com base na curva de retenção elaborada com o psicrômetro WP4 (10% no sistema MN e 6% no sistema CS). A criptoporosidade foi maior para os dados do WP4 (12% para o sistema MN e 7% para o sistema CS). Segundo KLEIN & LIBARDI (2002), os criptoporos são aqueles poros nos quais a água pode permanecer retida com tensões muito altas, sendo, portanto, indisponível às plantas; corresponde ao volume de água que o solo retém quando seu potencial matricial se encontra abaixo do ponto de murcha permanente ( $< 1,5$  MPa), e armazenada nos poros com diâmetro inferior a  $0,2 \mu\text{m}$ . A maior estimativa do volume de criptoporos pelo psicrômetro WP4 deve-se às altas tensões que o equipamento alcança, enquanto, para o método de Richards, este é um valor cuja obtenção somente pode ser realizada por estimativa.

Sistema de manejo	Valor S	
	Câmara de Richards	psicrômetro WP4
Mata nativa	0,045	0,024
Cacau + Seringueira	0,073	0,043

Os dados de porosidade obtidos a partir da curva de retenção, elaborada com o psicrômetro WP4, indicam menor capacidade de retenção de água, drenagem e aeração do solo quando comparados aos dados da curva elaborada pelo método da câmara de Richards. Possivelmente, essas diferenças sejam relacionadas ao fato de que, no método da câmara de Richards, se use parte das amostras com estrutura preservada, o que resultaria em expressão mais precisa do efeito da porosidade na retenção da água no solo, o que não acontece no método do psicrômetro.

Pela Tabela 3, podem ser observadas as diferenças no valor do índice “S” em função do método utilizado para a elaboração da curva de retenção. Os menores valores foram para o método do psicrômetro. Considerando-se o objetivo deste trabalho, verifica-se que as diferenças para o índice “S” entre os métodos foram de 53,33% para a mata nativa e 60% para o sistema consorciado cacau + seringueira. No entanto, também foram observadas diferenças para o mesmo método entre sistemas de uso e manejo, mostrando que, não obstante as diferenças entre si, os métodos apresentam grau de sensibilidade suficiente para identificar a influência dos sistemas de manejo nos atributos do solo relacionados ao índice “S”, podendo discriminar seus efeitos.

De acordo com DEXTER (2004), o valor de “S” acima de 0,035 é indicativo de boa qualidade física do solo. Tendo este limite como referência, o valor de “S” obtido com a curva de retenção elaborada com o psicrômetro WP4, para o solo da mata nativa, indica que o mesmo não apresenta boa qualidade (“S” = 0,024). Em oposição, pelos dados da câmara de Richards, este mesmo solo ultrapassa o limite de 0,035 e apresenta boa qualidade física, sendo esta uma diferença importante que merece ser investigada mais profundamente em trabalhos específicos.

O valor de “S” apresenta relação direta com o parâmetro ‘n’ da equação de VAN GENUCHTEN (1980), conforme constatado por TORMENA et al. (2008). Na Tabela 1, observa-se que os valores de ‘n’ para o psicrômetro WP4 são menores que os do método da câmara de Richards para os dois sistemas de uso e manejo, resultando em menor valor de “S”. Essa diferença

foi suficiente para mudar a classe de qualidade do solo no sistema mata nativa, o que demonstra a baixa confiabilidade dos dados do método do psicrômetro WP4 para a elaboração de curvas de retenção, visando à estimativa da qualidade do solo pelo índice proposto por DEXTER (2004). Comprova também a importante relação entre o valor de 'n' e o índice "S".

## CONCLUSÕES

Conclui-se que as curvas de retenção da água no solo, elaboradas pelo método do psicrômetro, apresentam alterações nos parâmetros de ajuste relativos à equação de van Genuchten, podendo subestimar os valores do índice "S" de qualidade física do solo.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.382–388, 2009.
- ANTINORO, C.; BAGARELLO, V.; FERRO, V.; GIORDANO, G.; IOVINO, M. A simplified approach to estimate water retention for Sicilian soils by the Arya-Paris model. **Geoderma**, Amsterdam, v. 213, p. 226-234, 2014.
- BITTELLI, M.; FLURY, M. Errors in water retention curves determined by pressure plates. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.73, p.1453-1460, 2009.
- CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; ZEVIANI, W.M.; LIMA, V.M.P.; SERAFIM, M.E. Bimodal pore distribution on soils under conservation management system for coffee crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.291-302, 2013.
- CINTRA, F.L.D.; PORTELA, J.C.; NOGUEIRA, L.C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.45-50, 2004.
- COSTA, W.A.; OLIVEIRA, C. A. S.; KATO, E. Modelo de ajuste e métodos para determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.2, p.515-523, 2008.
- DASHTAKI, S.G.; HOMAEE, M.; KHODAVERDILOO, H. Derivation and validation of pedotransfer functions estimating soil water retention curve using a variety of soil data. **Soil Use and Management**, Oxford, v.26, p.68-74, 2010.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, n.3-4, p.201-214. 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 225p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- EVANGELISTA, A.W.P.; LIMA, L.A.; SILVA, A.C.; MARTINS, C.P.; RIBEIRO, M.S. Soil water potential during different phenological phases of coffee irrigated by center pivot. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.269-278, 2013.
- GRIGOLON, G. B. **Curva de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidade e tensão na câmara de Richards**. 2013. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciência), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- GUBIAN, P.I.; REICHERT, J.M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D.J.; GELAIN, N.S. Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.77, n.1, p.19-24, 2012.

- JIRKŮ, V.; KODEŠOVÁ, R.; NIKODEM, A.; MŮHLHANSELOVÁ, M.; ŽIGOVÁ, A. Temporal variability of structure and hydraulic properties of topsoil of three soil types. **Geoderma**, Amsterdam, v.204-205, p.43-58, 2013.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latosolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, n.4, p.857-867, 2002.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 344p.
- LUCAS, J.F.R.; TAVARES, M.H.F.; CARDOSO, D.L.; CÁSSARO, F.A.M. Curva de retenção de água no solo pelo método do papel filtro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, n.6, p.1957-1973, 2011.
- MAIA, C.E. Índice S para avaliação da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n.6, p.1959-1965, 2011.
- RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A., EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. (ed.) **Methods of soil analysis - physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison, ASASSSA, 1965. p.128-152.
- SALAGER, S.; RIZZI, M.; LALOUI, L. An innovative device for determining the soil water retention curve under high suction at different temperatures. **Acta Geotechnica**, Berlin, v.6, p.135-142, 2011.
- SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, New Delhi, v.10, p.18-39, 2002.
- SHAHAB, H.; EMAMI, H.; HAGHNIA, G. H., KARIMI, A. Pore size distribution as a soil physical quality index for agricultural and pasture soils in Northeastern Iran. **Pedosphere**, Beijing, v.23, n.3, p.312-320, 2013.
- SCHINDLER, U.; MUELLER, L.; VEIGA, M.; ZHANG, Y.; SCHLINDWEIN, S.; HU, C. Comparison of water-retention functions obtained from the extended evaporation method and the standard methods sand/kaolin boxes and pressure plate extractor. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.175, p.527-534, 2012.
- SILVA, E.M.; LIMA, J.E.F.W.; AZEVEDO, J.A.; RODRIGUES, L.N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.323-330, 2006.
- SILVA, F.F.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ARATANI, R.G.; ANDRIOLI, F.F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.2, p.191-204, 2008.
- STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p.2603-2612, 2008. Número especial.
- TAVARES, M.H.F.; FELICIANO, J.J.S.; VAZ, C.M.P. Análise comparativa de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.4, p.517-524, 2008.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.D.C.; DEXTER, A.R. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.65, n.1, p. 56-60, 2008.
- VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p.892-898, 1980.
- VAN GENUCHTEN, M.Th.; SINUNEK, J.; LEIJ, F.J.; SEGMA, M. **Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Riverside: US Salinity Laboratory, 2003.