

AVALIAÇÃO DO CONCEITO DE CAPACIDADE DE CAMPO PARA UM LATOSSOLO AMARELO COESO DO ESTADO DA BAHIA⁽¹⁾

A. O. AGUIAR NETTO⁽²⁾, P. G. S. NACIF⁽³⁾ & J. O. REZENDE⁽⁴⁾

RESUMO

Por meio da morfologia do perfil e de análises físicas, tais como textura, densidade de partículas e do solo, distribuição do tamanho dos poros, retenção e armazenamento de água e capacidade de campo determinada “*in situ*”, avaliou-se o comportamento de um Latossolo Amarelo, localizado em Cruz das Almas (BA), submetido à prática da irrigação. Os resultados obtidos evidenciaram que os horizontes AB e BA são bastante coesos, principalmente quando secos, e constituem forte impedimento mecânico ao crescimento radicular e à livre movimentação do ar e da água. Tendo em vista a presença de camadas coesas, o conceito clássico de capacidade de campo não se aplica ao solo em questão e, além disso, verificou-se que os teores de água no solo em equilíbrio com os potenciais de -10 e -33 kPa, obtidos em laboratório com amostras deformadas, não representam devidamente o limite superior de água disponível nas condições de campo. Para calcular a faixa de água disponível, são indicados valores de potencial da água no solo, de acordo com os horizontes. Recomendam-se estudos específicos à origem da coesão observada, utilização de plantas ou implementos agrícolas capazes de romper a barreira física imposta pelos horizontes coesos.

Termos de indexação: propriedades físico-hídricas, coesão, tabuleiros costeiros.

⁽¹⁾ Trabalho recebido para publicação em outubro de 1997 e aprovado em fevereiro de 1999.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe. CEP 49100-000 São Cristóvão (SE). E-mail: aguiar@infonet.com.br.

⁽³⁾ Professor Assistente do Departamento de Química Agrícola e Solos, EAUFB. Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa - UFV. CEP 363571-000. E-mail:pgabriel@solos.ufv.br.

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Química Agrícola e Solos, EAUFB. CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: joelito@ufba.br.

SUMMARY: *EVALUATION OF THE FIELD CAPACITY CONCEPT FOR A COMBINED LATOSOL FROM THE COASTING "TABULEIROS" IN THE STATE OF BAHIA, BRAZIL*

Through profile morphology and physical analysis (texture, bulk and particle densities, pore size distribution, water storage and retention, and field capacity determined "in situ"), the behavior of a yellow Latosol located in Cruz das Almas (BA), Brazil, was studied when subjected to irrigation. The results made showed that the AB and BA horizons were hard (cohesion), mainly when dry, becoming a strong mechanic impediment for root growth, aeration and water movement; due to the presence of the hard layer, the classic concept of field capacity was not applicable. Soil water contents in balance with potentials of -10 to -33 kPa and estimated in the laboratory using disturbed samples do not precisely represent the superior available water limit under field conditions. To calculate the available water range, water potential values were chosen in accordance to the horizons. Specific studies about the origin the observed cohesion, the choice of plants and agricultural machinery to break the physical barrier imposed by hard layers and improvement of soil drainage are recommended.

Index terms: physical-hydric characteristics, cohesion.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das inter-relações entre a água, o solo e a planta é essencial para uma eficiente exploração agrícola, porque a água necessária ao crescimento vegetal encontra-se principalmente no solo. O comportamento da água no solo depende fundamentalmente de suas propriedades físicas.

O solo funciona como um reservatório de água para as plantas (Reichardt, 1988), porque, apesar de ser aberto para a atmosfera e para os horizontes mais profundos do perfil, ele retém água por meio de sua interação com a matriz. Com o propósito de quantificar o limite superior desse reservatório, Veihmeyer & Hendrickson (1931, 1949) introduziram o conceito de capacidade de campo para caracterizar a quantidade de água retida pelo solo após o excesso ter sido drenado e a taxa de movimento descendente ter decrescido acentuadamente, o que, geralmente, ocorre dois ou três dias após uma chuva ou irrigação, em solos permeáveis e de estrutura e textura uniformes.

Os critérios para determinação da capacidade de campo são subjetivos, uma vez que o processo de redistribuição da água no solo é, na verdade, contínuo e não mostra interrupções abruptas ou níveis estáticos. Tal conceito é impreciso e não leva em conta uma série de fatores do solo responsáveis pela retenção e movimentação da água (Reichardt, 1975, 1988).

Partindo da noção de que a capacidade de campo é uma propriedade do solo e com a finalidade de simplificar sua determinação, foram estabelecidas várias relações entre a umidade do solo na

capacidade de campo e o potencial matricial da água no solo (Ψ_m), obtido em laboratório. Jamison (1953) foi um dos primeiros a recomendar o uso de Ψ_m igual a -33 kPa (-1/3 atm) como limite superior da água disponível - valor que se generalizou ao ponto de quase se universalizar. Entretanto, esta é uma questão muito controversa no meio científico, pois inúmeros autores, tais como: Salter & Haworth (1961), Marcos (1971), Maclean & Yager (1972), Borges (1979), Freire (1979), Ferreira & Marcos (1983) e Medina & Oliveira Jr. (1987), estudaram e recomendaram valores de Ψ_m entre -6 a -50 kPa (Ψ_m -6/100 a -1/2 atm), para diferentes classes de solo.

Por outro lado, pesquisadores contestam o estabelecimento de relações entre a capacidade de campo determinada "in situ" e os métodos de laboratório, porque ocorrem discrepâncias entre eles (Fernandes & Sykes, 1968; Reichardt, 1975; Brunini et al., 1976) e não há fundamento teórico (Reichardt, 1988; Souza & Reichardt, 1996).

Apesar dessas críticas à capacidade de campo, autores como o próprio Reichardt (1988) e Ahuja & Nielsen (1990) reconhecem o valor desse conceito para fins práticos, desde que se compreenda o seu caráter dinâmico, variável no tempo e no espaço, dependente das propriedades hidráulicas de cada solo e dos limites da determinação, não se constituindo, portanto, em uma característica universal dos solos.

Nesse contexto, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de estabelecer relações entre a capacidade de campo determinada "in situ" e os dados obtidos em laboratório, para um Latossolo Amarelo coeso, representativo dos tabuleiros costeiros do nordeste brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Cruz das Almas (Ba), que possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude 12° 40' S, longitude 39° 06' W e altitude de 220 m acima do nível do mar. Situada no planalto pré-litorâneo, Cruz das Almas apresenta clima tropical quente e úmido (Am), de acordo com a classificação de Köppen.

O solo estudado pertence à classe dos Latossolos Amarelos, representativa dos tabuleiros costeiros do nordeste brasileiro, e mostra, na área estudada, a seguinte descrição morfológica:

Descrição morfológica

Classificação: De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) o solo foi classificado como Latossolo Amarelo Coeso típico.

Localização: lado direito da estrada que liga a Escola de Agronomia ao povoado Sapucaia, km 05.

Situação: Topo superior da encosta do tabuleiro, com declive de 1 a 2%

Formação geológica e litologia: Terciário. Formação Capim Grosso. Sedimentos argilo-arenosos.

Relevo: Local - plano; Regional - plano a suave ondulado

Altitude: 220 m.

Pedregosidade: Não-pedregoso

Rochosidade: Não-rochoso

Erosão: Laminar ligeira

Uso Atual: Pastagem com capim *Brachiaria decumbens*

Descrito e Coletado por: Lucedino Paixão Ribeiro e Paulo Gabriel Soledade Nacif

Ap 0-6 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmido); areia franca; blocos subangulares, fraca pequena a média, com raros grânulos; macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A₂ 6-22 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4 - úmido); franco-arenoso; blocos subangulares, fraca pequena a média, com raros grânulos; macio, muito friável, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 22-45 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido), franco-argilo-arenoso, maciço que se desfaz em fragmentos angulosos; duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 45-73 cm, bruno-amarelado (10YR 3/3, úmido), franco-argilo-arenoso, maciço que se desfaz em

fragmentos angulosos; duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bw₁ 73-123 cm, bruno-amarelado (10YR 3/3 - úmido) franco-argilo-arenoso, forte pequena granular e blocos subangulares pequenos e médios; ligeiramente duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bw₂ 123-180+ cm, bruno-amarelado (10YR 3/3 - úmido) franco argiloso, forte pequena granular e blocos subangulares pequenos e médios; ligeiramente duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso.

Observações:

- Porosidade boa nos horizontes Ap, A₂, Bw₁ e Bw₂ e deficiente nos horizontes AB e BA.

- Atividade biológica moderada no horizonte Ap, A₂ e Bw₂ e fraca no restante do perfil.

- Horizontes AB e BA com aspecto coeso.

Ressalta-se que os estudos físico-hídricos foram realizados até o horizonte B_{w1} (profundidade de 123 cm), levando-se em conta o aspecto prático da irrigação.

As análises físicas foram realizadas em conformidade com EMBRAPA (1979). Para cada caso específico, foram coletadas amostras de solo deformadas ou indeformadas nos diversos horizontes do perfil.

Para análise granulométrica, usou-se o método da pipeta. A densidade de partículas (D_p) foi obtida pelo método do picnômetro. Para determinar a densidade do solo (D_s), em cada horizonte do perfil do solo, foram coletadas quatro amostras de solo com estrutura indeformada. Por meio da mesa de tensão, utilizando as mesmas amostras coletadas para D_s, determinou-se a distribuição do tamanho dos poros.

A retenção da água no solo foi medida por meio do aparelho extrator de umidade idealizado por Richards (1949). As amostras de terra fina seca ao ar, previamente saturadas, foram submetidas aos potenciais matriciais da água no solo de -4, -10, -33, -100, -300, -900, e -1.500 kPa, em duplicata. As curvas de retenção obtidas para cada horizonte foram ajustadas ao modelo de van Genuchten (1980), por meio do programa CURVARET (Dourado Neto et al., 1990):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (a\psi_m)^n\right]^b} \quad (1)$$

em que:

θ = umidade do solo, m³ m⁻³; θ_r = umidade residual do solo, m³ m⁻³; θ_s = umidade de saturação do solo, m³ m⁻³; a, n e b = coeficientes empíricos; ψ_m = potencial matricial da água no solo, kPa.

Para determinar a capacidade de campo “*in situ*”, selecionou-se uma área próxima ao perfil do solo estudado, onde foram construídos diques de terra, recobertos com plástico, para possibilitar a completa saturação de um volume de solo (2,0 x 1,0 x 1,23 m) e evitar a evaporação da água. Após a saturação do solo, e a intervalos de tempo de 24 h, durante seis dias, coletaram-se amostras, em triplicatas, por meio de tradagens em cada horizonte, para fins de determinação da umidade do solo, pelo método da estufa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, encontram-se os resultados das análises físicas do solo. As classes texturais variaram de areia franca, no horizonte superficial, até franco-argilo-arenoso, no horizonte B_{w1}. O solo estudado apresenta valores de densidade de partículas bem próximos da média (2,65 kg dm⁻³) encontrada para a maioria dos solos minerais com predominância de caulinita e quartzo (Kiehl, 1979; Oliveira et al., 1992). Quanto à densidade do solo, nota-se que os dados decrescem com a profundidade do solo, em decorrência do aumento de argila e diminuição da areia do horizonte A para o B.

Na análise da distribuição dos poros ao longo do perfil, verifica-se que a porosidade total é menor no horizonte A e na transição deste para o B, exatamente onde os valores da densidade do solo são mais elevados, indicando a ocorrência de compactação no horizonte AB.

No caso dos horizontes A_p e A₂, não-coesos, a redução na porosidade total foi causada, provavelmente, por compactação em decorrência da ação das máquinas agrícolas e pisoteio de animais, comuns na área. No horizonte AB, a menor porosidade total e macroporosidade devem-se à marcante coesão verificada quando da análise morfológica do perfil.

Após a saturação do solo para a determinação da capacidade de campo “*in situ*”, foram quantificadas as variações da umidade do solo em função do tempo, nos horizontes do perfil. As respectivas equações, ajustadas ao modelo cúbico, podem ser vistas na figura 1. Percebe-se claramente a tendência de estabilização da umidade do solo em todos os horizontes, a partir das 72 h após a saturação do solo, indicando que o movimento descendente da água decresceu sensivelmente. Tomando por base as considerações de Veihmeyer & Hendrickson (1931,1949), admitiu-se que o solo havia atingido a capacidade de campo após 72 h de drenagem livre.

Os coeficientes das equações ajustadas ao modelo de van Genuchten, para cada curva de retenção de água dos horizontes do perfil, encontram-se no quadro 2. Utilizando essas equações, determinou-se o potencial matricial da água no solo correspondente à umidade na capacidade de campo “*in situ*” (Quadro 3).

No quadro 3, verifica-se que as umidades do solo correspondentes aos potenciais matriciais de -10 e -33 kPa não representam devidamente a estimativa da capacidade de campo do perfil do Latossolo Amarelo. Conforme Reichardt (1975), os valores obtidos em laboratório nunca poderão representar a capacidade de campo, pois esse critério é estático, enquanto o processo de redistribuição da água no solo é essencialmente dinâmico. Por isso, e por encontrar discrepâncias entre as quantidades de água disponível obtidas em laboratório com aquelas medidas no campo, é que Brunini et al. (1976) recomendam a determinação da capacidade de campo “*in situ*”. Para Reichardt (1988), a procura de um valor de potencial matricial da água no solo que corresponda à capacidade de campo não tem respaldo teórico. Souza & Reichardt (1996) complementam afirmando que os resultados obtidos em condições de laboratório são estimativas da retenção de água e não da capacidade de campo.

Quadro 1. Composição textural, distribuição do tamanho dos poros, densidades de partículas e do solo nos horizontes do perfil do Latossolo Amarelo

Horizonte	Composição textural	Porosidade total	Macroporosidade	Microporosidade	Densidade	
					Partícula	Solo
					m ³ m ⁻³	
					kg dm ⁻³	
A _p	Areia franca	0,34	0,16	0,18	2,63	1,73
A ₂	Franco-arenoso	0,35	0,14	0,21	2,63	1,71
AB	Franco-argilo-arenoso	0,37	0,15	0,22	2,61	1,64
BA	Franco-argilo-arenoso	0,42	0,18	0,24	2,62	1,55
B _{w1}	Franco-argilo-arenoso	0,42	0,18	0,24	2,65	1,53

Média de quatro repetições.

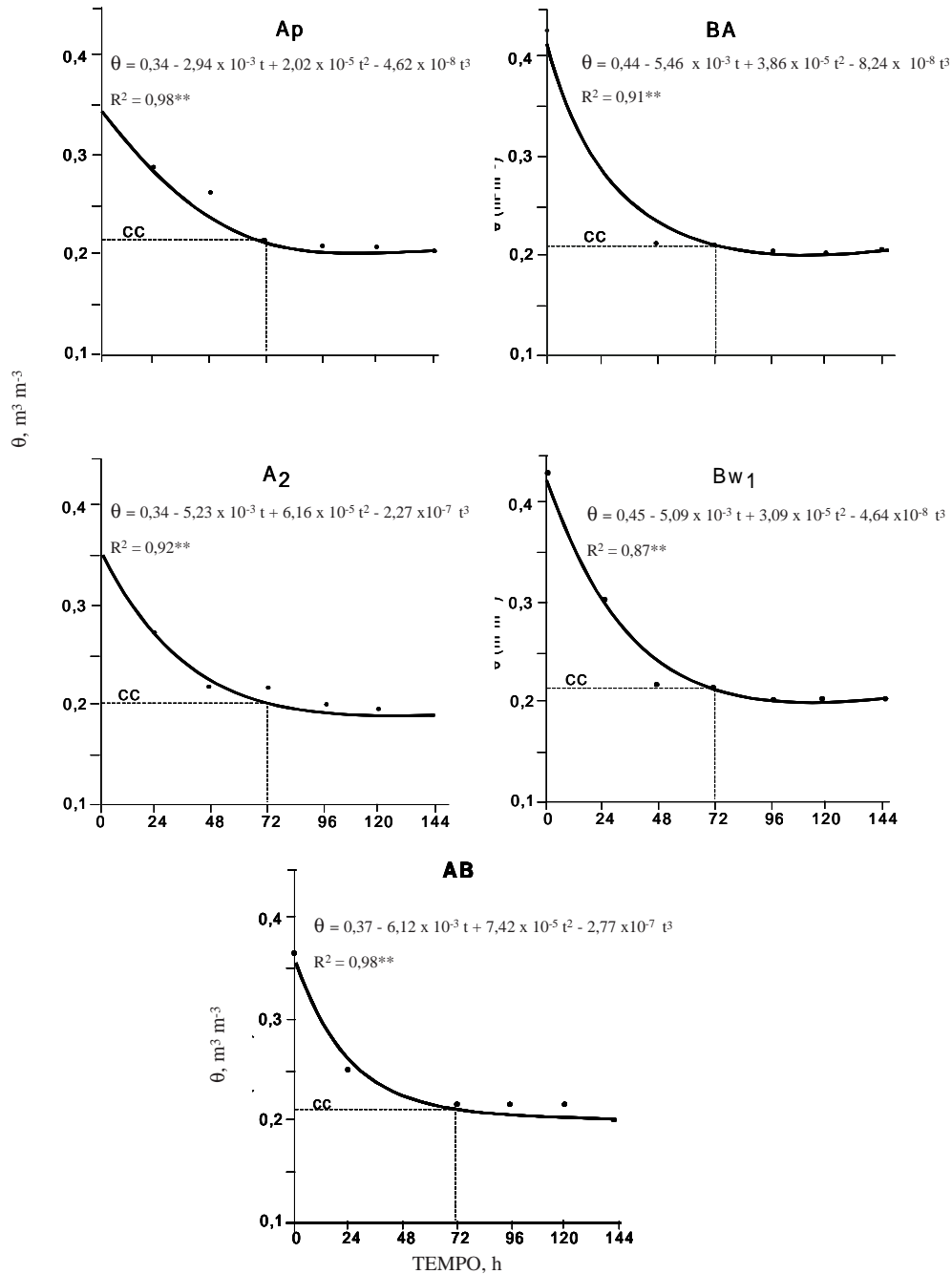


Figura 1. Variação da umidade do solo (θ), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, em função do tempo, em h, para os cinco horizontes do solo e interpolação por polinômio de terceiro grau (CC = Capacidade de campo). ** significativo a 1%.

A figura 2 mostra o perfil de umidade no solo. Analisando o comportamento das curvas 1,2 e 4, nota-se um decréscimo na retenção da água nos horizontes A_p e A_2 , quando comparados com os outros, fato perfeitamente compreensível quando se leva em conta a classe textural desses horizontes superficiais (Quadro 1). Entretanto, analisando a curva 3, representante da retenção da água nas condições de campo, verifica-se que ela é praticamente

vertical ao longo do perfil. Tal comportamento revela que a água está sendo acumulada na camada de 0-22 cm de profundidade, conforme pode ser verificado pelo aumento da diferença de umidade do solo entre a capacidade de campo e o potencial matricial de -1.500 kPa no quadro 3. Assim, verifica-se, nos horizontes A_p e A_2 , um aumento de sua capacidade de campo pelo fato de os horizontes coesos subjacentes dificultarem o processo de drenagem da

Quadro 2. Umidade residual e de saturação do solo, coeficientes das equações ajustadas ao modelo de van Genuchten (1980) para cada curva de retenção de água dos horizontes do perfil do Latossolo Amarelo coeso

Horizonte	Umidade		Coeficiente			Coeficiente de ajuste
	Residual	Saturação do solo	a	n	b	
	----- m ³ m ⁻³ -----					
A _p	0,068	0,342	0,992	1,121	0,433	0,999
A ₂	0,078	0,350	1,011	2,071	0,169	0,998
AB	0,127	0,376	0,232	1,108	0,568	0,998
BA	0,112	0,408	0,417	1,122	0,491	0,999
B _{w1}	0,119	0,423	0,488	1,951	0,299	0,999

Quadro 3. Relações entre a umidade do solo na capacidade de campo determinada “*in situ*” e os seus correspondentes potenciais matriciais da água no solo, bem como sua diferença em relação à umidade do solo em equilíbrio com o ponto de murcha permanente (potencial matricial de -1.500 kPa)

Horizonte	Capacidade de campo	Potencial matricial (- kPa)	Capacidade de campo “ <i>in situ</i> ” -
	“ <i>in situ</i> ”		ponto de murcha permanente
	m ³ m ⁻³		m ³ m ⁻³
A _p	0,209	3,0	0,134
A ₂	0,214	7,0	0,123
AB	0,216	19,0	0,088
BA	0,205	18,0	0,085
B _{w1}	0,213	15,0	0,089

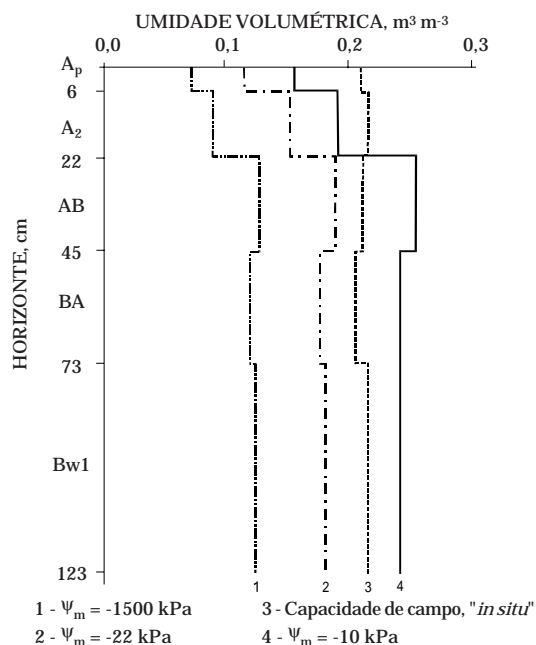


Figura 2. Perfil de umidade do solo após aplicação dos potenciais matriciais indicados (amostras de solo deformadas - curvas 1,2 e 4) e umidade do solo na capacidade de campo determinada “*in situ*”.

água (Bernardo, 1986). Tal resultado também corrobora com as ponderações de Reichardt (1975), que afirma que a presença de camadas limitantes ao fluxo, em qualquer posição do perfil, retardará a saída de água em qualquer das camadas acima delas. Diante do exposto, pode-se inferir que o conceito clássico de capacidade de campo (Veihmeyer & Hendrickson, 1931,1949) não se aplica ao solo estudado dada sua baixa permeabilidade à água.

Neste caso, visando à aplicação desses conceitos em projetos de irrigação, podem-se indicar os valores da pressuposta capacidade de campo “*in situ*” unicamente para os horizontes AB, BA e B_{w1}, uma vez que os valores obtidos na determinação em campo para os horizontes A_p e A₂ não expressam sua real capacidade de retenção. Para esses horizontes, em razão das suas texturas arenosas, recomenda-se o uso do potencial matricial da água no solo de -10 kPa como estimativa do limite superior de água disponível dessas camadas.

No quadro 4, encontra-se o resumo das informações sobre ponto de murcha permanente, “capacidade de campo” e seus ψ_m correspondentes e faixa de água disponível, indicadas para os horizontes do Latossolo Amarelo estudado.

Quadro 4. Valores de ponto de murcha permanente, capacidade de campo, potencial matricial da água no solo e faixa de água disponível recomendados para o Latossolo Amarelo

Horizonte	Umidade do solo			Água disponível
	Ponto de murcha permanente ($\psi_m = -1500 \text{ kPa}$)	Capacidade de campo		
		$\psi_m \text{ (-kPa)}$	θ	
	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	
A _p	0,075	10	0,157	0,082
A ₂	0,091	10	0,198	0,107
AB	0,128	19	0,216	0,088
BA	0,120	18	0,205	0,085
B _{w1}	0,124	15	0,213	0,089

CONCLUSÃO

Tendo em vista que o solo estudado apresenta os horizontes AB e BA coesos, constituindo forte impedimento mecânico à livre movimentação da água, o conceito clássico de capacidade de campo não se aplica ao solo em questão.

LITERATURA CITADA

AHUJA, L.R. & NIELSEN, D.R. Field soil - water relations. In: STEWART, B.A. & NIELSEN, D.R., eds. Irrigation of agricultural crops. Madison, American Society of Agronomy, 1990, p.143-189.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 4.ed. Viçosa, UFV, 1986. 486p.

BORGES, E.A. Correlação entre capacidade de campo determinada "in situ" e através de métodos de laboratório. Areia, Universidade Federal da Paraíba, 1979. 79p. (Tese de Mestrado)

BRUNINI, O.; REICHARDT, K. & GROHMANN, F. Determinação da água disponível em Latossolo Roxo em condições de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.82-86.

DOURADO NETO, D.; LIER, Q.J.V.; BOTREL, T.A. & LIBARDI, P.L. Programa para confecção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. Eng. Rural, 1:93-101, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Solos, 1999. 412p.

FERNANDES, B. & SYKES, D.J. Capacidade de campo e a retenção de água em três solos de Minas Gerais. R. Ceres, 15:1-37, 1968.

FERREIRA, M.M. & MARCOS, Z.Z. Estimativa da capacidade de campo em Latossolo Roxo distrófico e regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. Ci. Prat., 7:96-101, 1983.

FREIRE, J.C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico não saturado. R. Bras. Ci. Solo, 3:73-77, 1979.

GENUCHTEN, M.Th. van. A closed - form for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.

JAMISON, V.C. Changes in air water relationships due to structural improvement of soils. Soil Sci., 76:143-151, 1953.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo, Ceres, 1979. 264p.

MACLEAN, A.H. & YAGER, T.V. Available water capacity of Zambian soils in relation to pressure plate measurements and particle size analyses. Soil Sci., 13:23-29, 1972.

MARCOS, Z.Z. Morphologic and physical properties of fine-textured oxissols state of São Paulo. Ohio, Ohio State University, 1971. 272p. (Tese de Doutorado)

MEDINA, F.B. & OLIVEIRA Jr., R. Relações entre capacidade de campo determinada "in situ" e em laboratório em Latossolo Amarelo muito argiloso. R. Bras. Ci. Solo, 11:91-95, 1987.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 3.ed. Piracicaba, USP/Cargill, 1975. 286p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. R. Bras. Ci. Solo, 12:211-216, 1988.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring moisture tension. Soil Sci, 58:95-112, 1949.

SALTER, P.J. & HAWORTH, F. The available - water capacity of a sandy loam soil. I. A critical comparison of methods of determining the moisture content of soil at field capacity and the permanent wilting percentage. J. Soil Sci., 12:326-334, 1961.

SOUZA, L.D. & REICHARDT, K. Estimativas e utilização da capacidade de campo. R. Bras. Ci. Solo, 20:183-189, 1996.

VEIMEHYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Sci., 32:181-193, 1931.

VEIMEHYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. Soil Sci., 68:75-94, 1949.