

# SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

## RELAÇÃO ENTRE HORIZONTES PEDOLÓGICOS E PROPRIEDADES HIDRÁULICAS EM DOIS LATOSSOLOS<sup>(1)</sup>

J. D. MARQUES<sup>(2)</sup>, P. L. LIBARDI<sup>(3)</sup> & Q. JONG VAN LIER<sup>(3)</sup>

### RESUMO

Realizou-se um estudo comparativo para verificar se as propriedades hidráulicas do solo variam de acordo com os horizontes pedológicos. Dois Latossolos foram descritos morfológicamente e amostras com estrutura indeformada foram coletadas até 1,00 m de profundidade com cinco repetições em cada camada de 0,10 m de espessura, para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) pelo método do permeâmetro de carga decrescente e para elaboração das curvas de retenção ( $\psi_m(\theta)$ ), utilizando as tensões de 1, 2 e 4 kPa (Mesa de Tensão) e 10, 30, 50, 100, 500 e 1.500 kPa (Câmara de Pressão de Richards). Os resultados obtidos indicaram que tanto  $K_o$  como  $\psi_m$  nem sempre se alteram de acordo com a mudança nos horizontes pedológicos. Em solos com grande homogeneidade morfológica, como os Latossolos, torna-se mais difícil caracterizá-los hidraulicamente, já que alguns parâmetros utilizados pela pedologia não são eficientes para a separação hidráulica.

**Termos de indexação:** condutividade hidráulica, curva de retenção, horizontes hidráulicos.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Recebido para publicação em dezembro de 2000 e aprovado em abril de 2002.

<sup>(2)</sup> Aluno de Mestrado do curso Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista da CAPES.

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

## **SUMMARY: RELATION BETWEEN PEDOLOGIC HORIZONS AND HYDRAULIC PROPERTIES OF TWO OXISOLS**

*An experiment was carried out to verify if soil hydraulic properties change according to pedologic horizon division. Two oxisols were morphologically described and undisturbed soil samples in five replicates were taken at every 0.10 m down to 1.0 m soil depth for the determination of the hydraulic conductivity in saturated soil ( $K_o$ ) by the falling-head method, and of soil water retention curves ( $\psi_m(\theta)$ ) by means of porous plate funnels (tensions of 1, 2 and 4 kPa) and porous plate pressure cells (tensions of 10, 30, 50, 100, 500 e 1500 kPa). Results indicate that  $K_o$  and  $\psi_m$  are not always correlated to pedologic horizons. In soils with high morphologic homogeneity, like Oxisols, hydraulic characterization is even more difficult since some parameters used in pedology are inefficient for hydraulic separation.*

*Index terms: hydraulic conductivity, water retention curve, hydraulic horizons.*

## **INTRODUÇÃO**

Em estudos pedológicos, procura-se separar um perfil em horizontes uniformes, sendo esses essenciais na classificação dos solos. A ordenação de perfis em horizontes permite uma apreciação das diferenças entre os vários solos. Para tanto, são utilizados vários atributos relacionados com o perfil de solo como uma maneira de classificá-lo. A utilização de propriedades hidráulicas nos trabalhos de caracterização analítica de perfis de solo é de grande importância, uma vez que permite correlacionar esses dados com outras características físicas, químicas e mineralógicas de cada horizonte do perfil ou do perfil como um todo (Oliveira, 1982).

Durante os últimos anos, as propriedades hidráulicas têm sido estudadas intensamente, tanto em condições de laboratório como de campo. Entretanto, a sua correlação com as propriedades morfológicas do solo ainda foi pouco estudada. Inúmeras tentativas têm sido feitas no sentido de encontrar uma relação entre o movimento da água e os atributos físicos do solo utilizados no processo de classificação.

Mesmo em um solo que apresenta vários horizontes discriminados pela descrição pedológica, o seu comportamento hídrico pode apresentar um caráter homogêneo, sendo o oposto também possível. Acredita-se que as propriedades hidráulicas não coincidam com os horizontes pedológicos ao longo de um perfil em razão dos processos dinâmicos que regem o movimento da solução no solo, que nem sempre dependem das características do solo utilizadas na separação de horizontes pedológicos.

Vários estudos relacionaram a importância de características morfológicas no comportamento das propriedades hidrodinâmicas do solo (Bouma et al., 1979; Germann & Beven, 1981; Beven & Germann, 1982; Bullock & Mckeague, 1984; Guehl, 1984a,b; Bouma, 1989; Bouma et al., 1989). Outros

correlacionaram técnicas computacionais com cores do solo (Anderson & Bouma, 1973) e condutividade hidráulica do solo saturado com variações na textura e estrutura do solo (Mckeague et al., 1982).

Em vista do exposto, o presente trabalho objetivou realizar um estudo comparativo entre horizontes pedológicos e propriedades hidráulicas do solo, representadas pela curva de retenção e condutividade hidráulica do solo saturado, com o intuito de verificar a coincidência entre limites hídricos e horizontes pedológicos do solo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado em duas áreas distintas: a primeira, localizada a 2° 52' de latitude sul, 59° 59' de longitude oeste e altitude de 50 m, situada no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CPAA), à margem esquerda da rodovia AM-010 (km 30), que liga a cidade de Manaus ao município de Itacoatiara; a segunda, localizada a 22° 44' de latitude sul, 47° 34' de longitude oeste e 546 m de altitude, situada a 3 km em linha reta a partir da antiga rodovia Piracicaba – Santa Bárbara D'Oeste, lado direito, município de Piracicaba.

Os solos da primeira e da segunda área são classificados (EMBRAPA, 1999) como: Latossolo Amarelo distrófico (LAd) e Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), respectivamente.

Abriam-se trincheiras com dimensões de 2,0 x 2,5 x 2,0 m, em cada área estudada, para descrição morfológica dos perfis (Lemos & Santos, 1996) e caracterização física e química dos solos. Amostras de solo com estrutura deformada foram coletadas ao longo dos horizontes em sacos plásticos com aproximadamente 0,3 kg de material para as determinações físicas e químicas. A densidade do

solo  $\rho$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) foi determinada a partir de amostras com estrutura indeformada, utilizando anéis volumétricos. A determinação da densidade dos sólidos  $\rho_s$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) foi realizada pelo método do picnômetro conforme método descrito no manual de métodos de análise físicas da EMBRAPA (1997).

A análise granulométrica foi efetuada pelo método do densímetro descrito por Gee & Bauder (1986). Utilizou-se 0,050 kg de solo dispersando-o com solução aquosa de hexametáfosfato de sódio puro ( $6 \text{ kg m}^{-3}$ ) e de hidróxido de sódio ( $4 \text{ kg m}^{-3}$ ) por agitação, durante 16 h. A fração areia foi separada da suspensão por lavagem e passagem em peneiras com malha de 0,053 mm.

A caracterização hídrica dos solos e a identificação dos horizontes hidráulicos foram realizadas nos mesmos perfis identificados pedologicamente. Para avaliar a dinâmica da água no perfil dos solos estudados, utilizaram-se duas propriedades hidráulicas: a retenção da água e a condutividade hidráulica.

A retenção de água nos solos foi estudada a partir de amostras com estrutura deformada e indeformada, sendo coletado um total de 50 amostras por solo. A amostragem foi feita nas trincheiras anteriormente descritas, utilizando-se um amostrador de solo tipo Uhland, com anéis volumétricos de 0,05 m de altura e 0,04 m de diâmetro. A cada 0,10 m a partir da superfície do solo, foram coletadas amostras com cinco repetições até 1 m de profundidade. Depois de coletadas, as amostras dos anéis volumétricos foram acondicionadas em papel alumínio para evitar sua secagem, sendo levadas ao laboratório para retirada do excesso de solo e demais procedimentos para o início da análise.

A saturação das amostras foi feita com água destilada e desaerada, aplicada com gotejador de Mariotte, levando-se 24 h para a saturação completa (Moraes, 1991).

Cada uma das cinco repetições coletadas foi submetida a todas as tensões selecionadas, utilizando-se uma mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), para as tensões de 1, 2 e 4 kPa, e câmaras de pressão (Richards & Fireman, 1943), para as tensões de 10, 30, 50, e 100 kPa. Após estabelecido o equilíbrio, as amostras foram pesadas para a determinação da massa de solo úmido, ressaturadas e recolocadas no aparelho para aplicação da próxima tensão.

Após a aplicação da tensão de 100 kPa na câmara de pressão, as amostras indeformadas foram secas em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , por um período de 24 h, para a determinação da massa de sólidos ( $m_s$ ). Com base nessa informação, foram calculadas a umidade gravimétrica ( $U$ ), a umidade volumétrica ( $\theta$ ) e a densidade do solo.

A umidade volumétrica nas tensões de 500 e 1.500 kPa foi determinada nas amostras com estrutura deformada, considerando que somente, às

menores tensões, o teor de água depende da estrutura do solo (Rivers & Shipp, 1978; Hillel, 1982). A preparação das amostras consistiu em retirar as amostras já secas dos cilindros volumétricos, desestruturando-as com um rolo de madeira e passando-as em peneiras de 2 mm, sendo, em seguida, colocadas em sacos plásticos devidamente identificados. A saturação das amostras deformadas foi feita diretamente na placa porosa, lentamente. Em seguida, aplicou-se a tensão e, após atingirem o ponto de equilíbrio, as amostras foram colocadas em recipientes, para a obtenção da sua massa úmida e depois levadas à estufa, para a determinação da sua massa seca e umidade volumétrica.

A porosidade total foi calculada a partir da relação entre densidade do solo ( $\rho$ ) e densidade dos sólidos ( $\rho_s$ ). Como microporosidade, considerou-se a umidade que o solo apresentou depois de submetido à tensão de 10 kPa, correspondente a um diâmetro equivalente de aproximadamente  $30 \mu\text{m}$ , coincidindo com o limite superior dos microporos, segundo Soil Science Society of América (1997).

Para determinar a condutividade hidráulica do solo saturado, utilizou-se o método do permeâmetro de carga decrescente (Hendrickx, 1990; Youngs, 1991), nas mesmas amostras destinadas à curva de retenção, inserindo os cilindros volumétricos em um dispositivo composto por um tubo de vidro transparente colado a um módulo de encaixe para os cilindros. Maiores detalhes dos procedimentos utilizados na determinação podem ser vistos em Marques (2000).

O critério utilizado para separar camadas hidráulicas quanto à retenção de água consistiu em verificar se entre uma profundidade e outra havia diferença estatística ( $P < 0,05$ ) de umidade para pelo menos uma das tensões medidas. No caso de haver tal diferença, supôs-se a existência de camadas hidráulicas distintas. No caso de uma camada ser estatisticamente igual à superior e à inferior que, no entanto, diferiram entre si, supôs-se aquela camada hidráulica como sendo uma camada de transição, semelhante a uma transição difusa entre horizontes pedológicos

A análise das propriedades hidráulicas do solo ao longo das camadas foi realizada com o auxílio de análise de variância e aplicação do teste de Tukey a 5 %, para a comparação das médias das umidades volumétricas em cada potencial mátrico aplicado ( $\theta$  versus  $\psi_m$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos físicos e químicos dos solos

Os solos apresentaram grande homogeneidade granulométrica em profundidade, havendo um

aumento em profundidade do teor de argila no LAd (0,59 a 0,73 kg kg<sup>-1</sup>) e uma pequena redução não expressiva no LVdf (0,71 a 0,67 kg kg<sup>-1</sup>) (Quadro 1). A densidade do solo apresentou médias de 1.060 kg m<sup>-3</sup> (LAd) e 1.290 kg m<sup>-3</sup> (LVdf).

Analisando os resultados de análise química (Quadro 2), observa-se que o pH em H<sub>2</sub>O desses solos varia de 4,07 a 4,52, não havendo muita variação nos horizontes, caracterizando uma propriedade muito ácida (LAd) e moderadamente ácida (LVdf), variando de 5,8 a 6,8, conforme EMBRAPA (1999).

O teor de matéria orgânica decresceu em profundidade no LAd e no LVdf, ocorrendo maior teor no horizonte Ap (Quadro 2). O maior teor de matéria orgânica na superfície do LAd, em torno de 31 g kg<sup>-1</sup>, deveu-se ao efeito direto da localização do perfil já

que houve incorporação de resíduos vegetais decorrentes do sistema agroflorestal, garantindo uma decomposição mais lenta desse material, estando sujeito ao efeito de alta temperatura e processo erosivo. O LVdf, no qual foram observados 36 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica na superfície, pode estar relacionado com a incorporação da palha depois colheita da cana-de-açúcar.

### Descrição morfológica dos solos

As principais características morfológicas podem ser observadas no quadro 3. Com vistas em realizar um estudo comparativo entre o comportamento hidráulico ao longo das camadas dos perfis, foram considerados os horizontes pedológicos existentes até à faixa de 1 m de profundidade.

**Quadro 1. Características físicas dos horizontes pedológicos dos solos estudados**

Profundidade	Horizonte	Areia	Silte	Argila	Densidade do solo	Densidade dos sólidos	Por. total	Macropor.	Micropor.
m		kg kg <sup>-1</sup>			kg m <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
Latossolo Amarelo distrófico									
0,00-0,12	A	0,21	0,20	0,59	1.100	2.560	0,56	0,14	0,42
0,12-0,45	BA	0,23	0,15	0,62	1.060	2.550	0,58	0,17	0,41
0,45-0,75	Bw1	0,18	0,12	0,69	1.020	2.570	0,59	0,19	0,40
0,75-1,00	Bw2	0,15	0,12	0,73	1.080	2.560	0,57	0,15	0,42
Latossolo Vermelho distroférico típico									
0,00-0,10	Ap	0,15	0,14	0,71	1.310	2.560	0,47	0,11	0,36
0,10-0,40	BA	0,15	0,14	0,71	1.310	2.500	0,51	0,09	0,42
0,40-0,68	Bw1	0,15	0,16	0,69	1.310	2.590	0,52	0,07	0,44
0,68-1,12	Bw2	0,20	0,13	0,67	1.260	2.500	0,53	0,09	0,43

**Quadro 2. Propriedades químicas dos perfis de Latossolos estudados**

Profundidade	Horizonte	pH			MO <sup>(1)</sup>	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	T <sup>(2)</sup>	m <sup>(3)</sup>	V <sup>(4)</sup>
		H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl <sub>2</sub>											
m					g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmolc kg <sup>-1</sup>						%		
Latossolo Amarelo distrófico															
0,00-0,12	A	4,1	3,9	3,5	31,0	12,0	4,6	8,5	6,7	21,2	90,2	19,8	110	52	18,0
0,12-0,45	BA	4,0	3,7	3,5	21,0	4,0	2,3	2,5	2,1	17,6	65,7	6,9	72,6	72	9,5
0,45-0,75	Bw1	4,1	3,9	3,5	11,0	1,0	0,6	1,9	1,3	10,2	37,4	3,8	41,2	73	9,0
0,75-1,00	Bw2	4,2	3,4	3,6	8,0	1,0	0,6	1,5	1,2	8,0	23,6	3,3	26,9	71	12,0
1,00-1,50 <sup>+</sup>	Bw3	4,5	3,7	3,9	5,0	1,0	0,8	1,6	1,0	4,3	19,0	3,4	22,4	56	15,0
Latossolo Vermelho distroférico típico															
0,00-0,10	Ap	6,8	4,7	5,0	36,0	10,0	4,4	34,0	16,0	0,0	84,0	54,4	138,4	0	39,0
0,10-0,40	BA	6,1	4,7	4,7	15,0	4,0	1,3	29,0	13,0	2,0	74,0	43,3	117,3	4	37,0
0,40-0,68	Bw1	6,4	4,8	4,7	28,0	6,0	1,6	32,0	12,0	0,0	108,0	45,6	153,6	0	30,0
0,68-1,12	Bw2	5,8	4,6	4,5	23,0	2,0	1,8	18,0	7,0	2,0	53,0	26,8	79,8	7	33,5
1,12-1,60 <sup>+</sup>	Bw3	5,8	4,3	4,4	28,0	2,0	2,2	18,0	8,0	3,0	98,0	28,2	126,2	10	22,0

<sup>(1)</sup> Matéria orgânica. <sup>(2)</sup> Capacidade de troca de cátions (S + H + Al). <sup>(3)</sup> Saturação por alumínio (Al<sup>3+</sup>/S + Al<sup>3+</sup>), 100. <sup>(4)</sup> Saturação por bases (100, S/T).

**Condutividade hidráulica do solo saturado**

Os valores da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ), obtidos em laboratório pelo método de carga decrescente, são apresentados no quadro 4, como logaritmo dos valores de  $K_0$  expressos em  $\text{cm dia}^{-1}$ .

Pela análise estatística dos valores de  $\log K_0$ , percebe-se que, de modo geral, não houve diferença estatística significativa entre as camadas, com

exceção das camadas de 0,80-0,90 e de 0,90-1,00 m do LVdf, que apresentaram diferença entre si. Possivelmente, tal fato pode ser atribuído à menor densidade encontrada na camada de 0,80-0,90 m ( $1,220 \text{ kg m}^{-3}$ ) (Figura 1) e maior macroporosidade ( $0,124 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (Figura 2b). Apesar de a camada de 0,10-0,20 m ter apresentado densidade em torno de  $1,240 \text{ kg m}^{-3}$  (Figura 1), semelhante à da camada de 0,90-1,00 m, não houve reflexo em  $K_0$ , pois a sua macroporosidade foi menor ( $0,119 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

**Quadro 3. Características morfológicas dos solos estudados**

Profundidade m	Horizonte	Textura	Cor úmida	Estrutura <sup>(1)</sup>	Consistência <sup>(2)</sup>	Transição
				Tipo, classe, grau	Seca, úmida, molhada	
Latossolo Amarelo distrófico						
0,00-0,12	A	argilosa	10YR 4/3	bl. sub., pequena e média, moderada	lig. dura, friável, plástica e pegajosa	gradual e horizontal
0,12-0,45	BA	muito argilosa	10YR 7/6	bl sub., pequena e média, fraca	macia, friável, plástica e pegajosa	difusa e horizontal
0,45-0,75	Bw1	muito argilosa	10YR 7/8	bl sub., pequena e média, fraca	macia, friável, plástica e muito pegajosa	difusa e horizontal
0,75-1,00	Bw2	muito argilosa	10YR 7/8	bl sub., pequena, fraca	macia, friável, plástica e muito pegajosa	difusa e horizontal
1,00-1,50+	Bw3	muito argilosa	10YR 8/8	bl. sub., pequena, fraca	macia, friável, plástica e muito pegajosa	difusa e horizontal
Latossolo Vermelho distroférico típico						
0,00-0,10	Ap	muito argilosa	10R 4/3	bl. sub., média e grande, moderada	dura, firme, muito plástica e muito pegajosa	gradual e horizontal
0,10-0,40	BA	muito argilosa	10R 3/4	bl. sub., grande, moderada	dura, firme, muito plástica e muito pegajosa	difusa e horizontal
0,40-0,68	Bw1	muito argilosa	10R 3/6	bl. sub., média e grande, fraca	dura, firme, muito plástica e muito pegajosa	difusa e horizontal
0,68-1,12	Bw2	muito argilosa	10R 3/6	bl. sub., pequena e média, fraca	lig. dura, friável, muito plástica muito pegajosa	difusa e horizontal
1,12-1,60+	Bw3	muito argilosa	10R 3/6	bl. sub., pequena e média, maciço porosa	macia, muito friável, muito plástica e muito pegajosa	difusa e horizontal

<sup>(1)</sup> bl. sub. = bloco subangular. <sup>(2)</sup> lig. = ligeiramente.

**Quadro 4. Valores médios da condutividade hidráulica, nas diferentes profundidades, obtidos pelo método do permeâmetro de carga decrescente em cinco repetições**

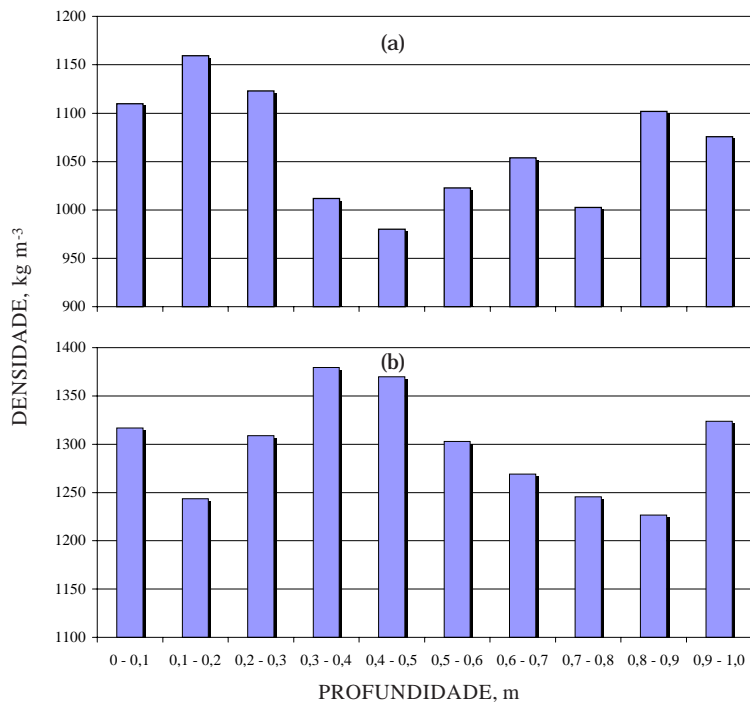
Profundidade m	Latossolo Amarelo	Latossolo Vermelho	Latossolo Amarelo	Latossolo Vermelho
	— $\log K_0$ , $K_0$ em $\text{cm dia}^{-1}$ —		— Coeficiente de variação, % —	
0,00-0,10	2,6240 a <sup>(1)</sup>	2,9120 ab	15,04	14,21
0,10-0,20	2,6549 a	2,5902 ab	26,54	18,76
0,20-0,30	2,5156 a	2,7222 ab	27,03	13,20
0,30-0,40	2,3986 a	2,2102 ab	28,86	13,79
0,40-0,50	2,7798 a	1,9539 ab	28,71	40,80
0,50-0,60	3,0630 a	2,3529 ab	26,55	39,12
0,60-0,70	3,2051 a	2,9826 ab	11,50	24,05
0,70-0,80	3,1725 a	1,9820 ab	8,30	25,86
0,80-0,90	2,5328 a	3,2228 a	26,62	8,31
0,90-1,00	2,2229 a	1,9304 b	25,67	43,94

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

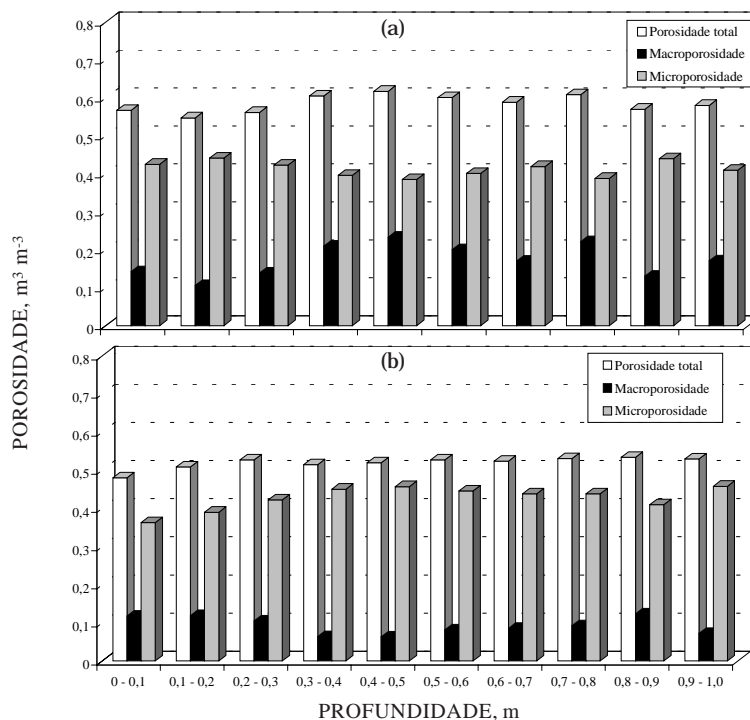
Do ponto de vista da condutividade hidráulica do solo saturado, portanto, não houve variação de  $K_0$ , mesmo quando houve diferenciação de horizontes pedológicos no perfil até 1 m de profundidade (Quadro 3).

### Retenção de água nos solos

Analisando os coeficientes de variação das umidades volumétricas a cada tensão aplicada (Quadros 5 e 6), nota-se que as variações foram



**Figura 1. Densidade do solo para as camadas do Latossolo Amarelo distrófico (a) e do Latossolo Vermelho distroférico típico (b).**



**Figura 2. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do Latossolo Amarelo distrófico (a) e do Latossolo Vermelho distroférico típico (b).**

baixas, indicando pouca variabilidade dos dados e boa precisão. Os valores da umidade volumétrica foram relativamente altos em todos os potenciais mátricos avaliados, apresentando uma suave redução com o aumento da tensão. Uma provável explicação para essa tendência pode estar relacionada com a maior proporção de microporos (41 %-LAd; 42 %-LVdf) e menor de macroporos (17 %-LAd; 6-12 %-LVdf) (Figuras 2a,b). Assim, os poros grandes perdem a água retida por capilaridade a potenciais menos negativos, enquanto os pequenos retêm água até potenciais mais negativos, adsorvida no sistema coloidal, ocasionando uma alta retenção quando existem em maior proporção (Hillel, 1971). Outros trabalhos desenvolvidos com LVdf ainda atribuem a pequena disponibilidade hídrica desses solos à microagregação (Sharma & Uehara, 1968), que tem seu desenvolvimento influenciado pela composição mineralógica da fração argila (Tsuji et al., 1975).

**Horizontes pedológicos x “horizontes hidráulicos” com base na retenção de água no solo**

A partir das análises estatísticas contidas nos quadros 5 e 6, elaboraram-se as figuras 3 e 4 que são representações comparativas entre os horizontes hidráulicos identificados e a classificação pedológica descrita (Lemos & Santos, 1996). Pela análise dessas figuras, observa-se que a retenção de água não

coincidiu com os horizontes pedológicos. Esse resultado permite inferir que a dinâmica da água nem sempre se altera quando há mudança de horizontes pedológicos. Pela lógica, essa não-coincidência deve ser mais freqüente em solos com grande homogeneidade, como os aqui estudados.

Como os solos em estudo pertencem a uma classe de textura homogênea (Quadro 1) e pouca variação estrutural (Figura 2a,b), em condição de campo, a cor e a consistência foram os principais critérios morfológicos utilizados para identificação dos horizontes. As figuras 3 e 4 demonstram que o emprego apenas desses critérios pode levar a discrepâncias entre a classificação pedológica e o comportamento hidráulico.

Na figura 3 (LAd), percebe-se que somente nas tensões 1,2 e 4 kPa, a variação da umidade na camada de 0,70-0,80 m coincidiu com o horizonte pedológico, sendo sensível à transição Bw1/Bw2, comportamento não observado no LVdf (Figura 4).

Confrontando os dois parâmetros hidráulicos utilizados neste estudo, salienta-se que os resultados de umidade (Quadros 5 e 6) obtidos a partir da retenção de água, em termos comparativos ao longo do perfil a 5 % de probabilidade, foram mais sensíveis às variações morfológicas do que os valores de K<sub>o</sub>.

Chama-se, portanto, a atenção para algumas correlações comumente realizadas envolvendo

**Quadro 5. Médias e coeficientes de variação (C.V., %), obtidos a partir de cinco repetições da umidade volumétrica (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), em diferentes tensões, por camadas, do perfil do Latossolo Amarelo distrófico**

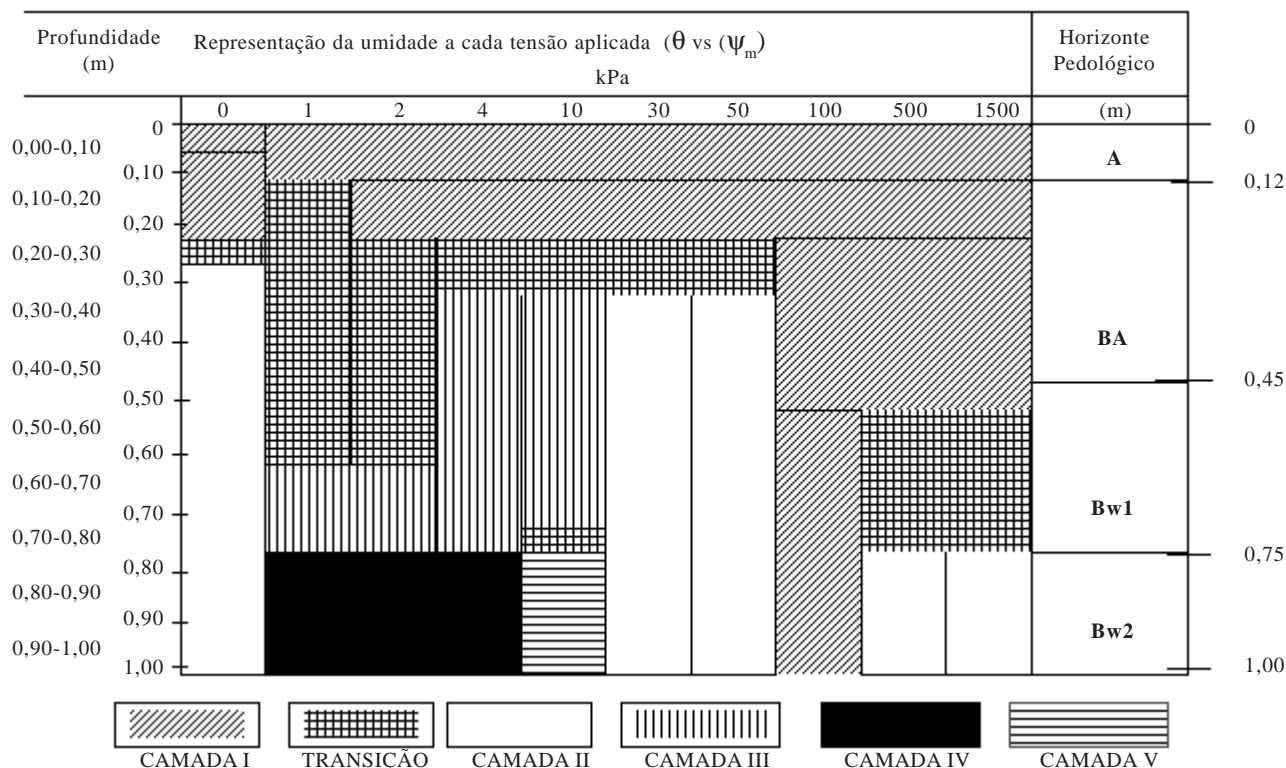
Profundidade	Tensão, kPa									
	0	1	2	4	10	30	50	100	500	1.500
m										
0,0-0,1	média 0,566 ab <sup>(1)</sup> C.V. 4,936	0,492 a 4,599	0,466 ab 4,732	0,443 abc 5,329	0,424 abc 4,168	0,399 ab 5,737	0,391 ab 5,601	0,381 a 5,644	0,277 c 5,674	0,273 c 5,763
0,1-0,2	média 0,547 b C.V. 5,084	0,478 ab 1,477	0,466 ab 2,781	0,449 ab 4,791	0,441 a 5,616	0,417 a 6,586	0,410 a 7,350	0,400 a 7,733	0,303 abc 6,781	0,299 abc 6,016
0,2-0,3	média 0,561 ab C.V. 4,989	0,460 ab 5,005	0,442 abc 4,214	0,427 abc 5,146	0,422 abc 4,671	0,410 ab 6,378	0,405 ab 6,284	0,391 a 4,651	0,310 abc 6,415	0,306 abc 6,484
0,3-0,4	média 0,604 a C.V. 5,322	0,455 ab 14,649	0,431 abc 10,796	0,402 bc 7,875	0,395 abc 8,670	0,376 ab 8,611	0,371 ab 9,151	0,364 a 9,358	0,293 bc 8,352	0,286 bc 9,371
0,4-0,5	média 0,617 a C.V. 4,089	0,438 ab 4,866	0,421 bc 5,171	0,393 c 5,965	0,384 c 6,398	0,358 b 6,419	0,353 b 6,714	0,346 a 7,321	0,282 c 6,245	0,278 bc 6,353
0,5-0,6	média 0,600 ab C.V. 1,804	0,440 ab 1,606	0,423 abc 1,868	0,405 abc 2,780	0,400 abc 2,284	0,381 ab 2,567	0,376 ab 3,091	0,369 a 3,616	0,303 abc 2,713	0,297 abc 3,013
0,6-0,7	média 0,588 ab C.V. 1,591	0,487 ab 3,305	0,455 abc 4,775	0,428 abc 3,018	0,418 abc 3,523	0,387 ab 1,227	0,380 ab 1,744	0,371 a 0,779	0,316 abc 1,252	0,309 abc 2,248
0,7-0,8	média 0,608 a C.V. 4,774	0,428 b 4,957	0,412 c 5,100	0,394 c 5,890	0,387 bc 6,491	0,367 ab 6,638	0,360 ab 6,652	0,353 a 6,450	0,308 abc 7,166	0,297 abc 7,119
0,8-0,9	média 0,569 ab C.V. 6,557	0,489 a 6,256	0,474 a 7,189	0,453 a 7,680	0,439 ab 8,839	0,412 ab 10,781	0,405 ab 10,549	0,393 a 10,413	0,342 a 9,545	0,332 a 9,067
0,9-1,0	média 0,579 ab C.V. 4,809	0,478 ab 3,901	0,456 abc 4,105	0,429 abc 4,797	0,409 abc 5,712	0,379 ab 6,262	0,373 ab 6,440	0,365 a 6,420	0,327 ab 7,383	0,319 ab 6,664

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

**Quadro 6. Médias e coeficientes de variação (C.V., %), obtidos a partir de cinco repetições da umidade volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ ), em diferentes tensões, por camadas, do perfil do Latossolo Vermelho distroférico típico**

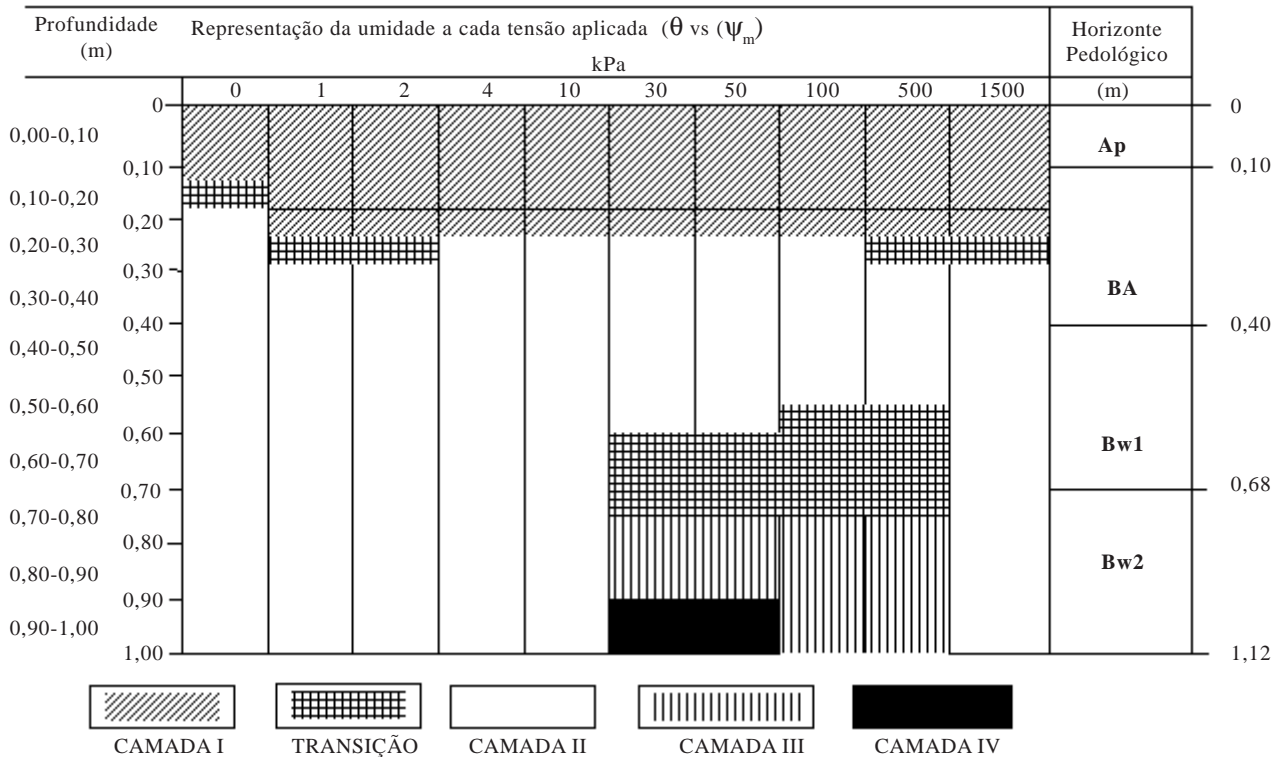
Profundidade		Tensão, kPa										
		0	1	2	4	10	30	50	100	500	1.500	
m												
0,0-0,1	média	0,479 b <sup>(1)</sup>	0,437 c	0,416 c	0,389 c	0,362 c	0,341 d	0,330 d	0,319 c	0,267 c		
	CV	5,580	3,246	3,483	3,707	3,783	3,935	4,508	5,124	6,464	6,823	
0,1-0,2	média	0,508 ab	0,451 bc	0,435 bc	0,412 bc	0,389 bc	0,369 bcd	0,360 bcd	0,349 bc	0,263 c	0,250 c	
	CV	4,582	2,951	3,017	2,397	2,579	4,173	3,938	4,961	6,530	6,714	
0,2-0,3	média	0,526 a	0,467 abc	0,458 abc	0,442 ab	0,421 ab	0,403 abc	0,393 abc	0,382 ab	0,291 abc	0,279 abc	
	CV	2,995	5,856	6,515	7,216	7,919	7,200	7,029	7,455	6,785	7,800	
0,3-0,4	média	0,514 ab	0,486 ab	0,482 ab	0,470 a	0,450 a	0,429 a	0,423 a	0,409 a	0,314 a	0,295 a	
	CV	5,020	4,346	5,203	6,438	6,453	7,353	7,034	7,904	4,899	4,686	
0,4-0,5	média	0,519 ab	0,487 ab	0,484 ab	0,476 a	0,456 a	0,435 a	0,428 a	0,417 a	0,311 a	0,289 ab	
	CV	3,008	2,959	3,017	2,860	3,577	4,394	4,504	5,262	1,606	2,365	
0,5-0,6	média	0,526 a	0,496 a	0,493 a	0,477 a	0,445 a	0,417 ab	0,404 ab	0,393 ab	0,304 ab	0,288 ab	
	CV	3,796	0,889	0,990	3,330	4,141	3,846	4,667	6,619	3,637	3,553	
0,6-0,7	média	0,523 a	0,502 a	0,491 a	0,471 a	0,438 ab	0,397 abc	0,388 abc	0,375 abc	0,294 abc	0,282 abc	
	CV	2,048	3,030	2,361	3,744	6,243	6,627	6,956	7,096	7,282	7,513	
0,7-0,8	média	0,530 a	0,507 a	0,496 a	0,477 a	0,438 ab	0,386 abcd	0,378 abcd	0,367 abc	0,281 abc	0,271 abc	
	CV	2,510	2,387	3,739	3,458	3,666	4,149	4,479	4,345	7,131	8,214	
0,8-0,9	média	0,533 a	0,488 ab	0,475 ab	0,454 ab	0,409 abc	0,356 cd	0,349 cd	0,336 bc	0,272 bc	0,260 abc	
	CV	3,520	9,126	10,483	11,330	11,866	13,430	14,464	15,541	8,285	9,479	
0,9-1,0	média	0,529 a	0,500 a	0,496 a	0,486 a	0,457 a	0,413 ab	0,403 ab	0,390 ab	0,304 ab	0,292 a	
	CV	4,347	3,770	3,800	3,144	1,892	3,706	2,402	3,989	2,398	2,330	

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %.



**Figura 3. Diagrama comparativo entre horizontes hidráulicos e pedológicos identificados no Latossolo Amarelo distrófico.**





**Figura 4. Diagrama comparativo entre horizontes hidráulicos e pedológico identificados no Latossolo Vermelho distroférrico típico.**

propriedades hidráulicas e pedológicas, salientando que, apesar de ser a identificação de horizontes pedológicos um procedimento fundamental utilizado na classificação de solos, é preciso ter cuidado quanto à sua aplicação em estudos hidráulicos em perfil de solo.

Vários estudos que relacionam propriedades morfológicas do solo com o movimento da água (Anderson & Bouma, 1973; Mckeague et al., 1982; Wosten & van Genuchten, 1988; Lin et al., 1999) utilizaram horizontes heterogêneos do ponto de vista textural e estrutural, abordando, de forma específica, a influência desses atributos nas propriedades hidráulicas do solo. Nesse caso, é esperado que haja mudança na umidade em determinada tensão quando se altera o horizonte.

Percebe-se que, quando os solos apresentam feições morfológicas homogêneas ao longo do perfil, torna-se mais difícil caracterizá-los hidraulicamente (Figuras 3 e 4). Prevedello (1987), estudando o regime de fluxo de água em solos saturados, salienta que, em meios porosos aproximadamente homogêneos, o critério morfológico para identificação dessas camadas nem sempre leva a resultados satisfatórios.

Embora o critério de divisão do perfil em horizontes demonstre não ser rigorosamente seguido pelas propriedades hidráulicas, surge a partir das

colocações anteriores um importante questionamento: “No caso dos solos estudados, qual seria a melhor maneira de avaliá-los hidraulicamente”? Analisando as figuras 3 e 4, nota-se que para os referidos solos a coleta de amostras para fins de determinação hidráulica não deveria seguir os horizontes identificados pedologicamente.

Seguindo o critério utilizado e considerando o comportamento da umidade nas tensões avaliadas, verifica-se que o LAd (Figura 3) pode ser caracterizado quanto à dinâmica da água no perfil, pela retirada de amostras nas seguintes camadas hidráulicas identificadas: 0,20-0,30 m, representando a camada de 0-0,30; 0,30-0,40; 0,50-0,60 m, representando a camada de 0,40-0,60; 0,60-0,70; 0,70-0,80 e 0,90-1,00 m.

Quanto ao LVdf (Figura 4), têm-se as seguintes camadas: 0,20-0,30 m, representando a camada de 0-0,30; 0,50-0,60 m, representando a camada de 0,30-0,60; 0,70-0,80 m, representando a camada de 0,60-0,80; 0,80-0,90 e 0,90-1,00 m.

Observa-se que as amostragens podem ser feitas em pontos específicos dentro de cada perfil analisado (Figuras 3 e 4). Entretanto, identificar quais camadas devem ser amostradas para posterior caracterização hidráulica não é tarefa fácil, ainda mais em solos com grande homogeneidade morfológica. Nesse caso, embora a coleta de amostras a cada 0,10 m de

profundidade seja um trabalho desgastante e que leva tempo, parece ser a melhor alternativa para avaliar em termos hidráulicos solos com essa característica. Em condições de campo, a partir de determinada profundidade, a própria identificação pedológica torna-se mais subjetiva, já que a transição de horizontes é difusa. Percebe-se que é necessário realizar mais estudos que possibilitem desenvolver um método para melhor caracterizar o comportamento hidráulico de solos que apresentam dificuldade quanto à separação de horizontes pedológicos.

### CONCLUSÕES

1. De modo geral, os horizontes pedológicos identificados não coincidiram com as camadas hidráulicas obtidas a partir da retenção de água e da condutividade hidráulica do solo saturado.

2. Nem sempre as propriedades hidráulicas sofrem variações à medida que ocorre transição nos horizontes pedológicos no perfil.

3. Os atributos morfológicos, como cor e consistência, utilizados na identificação dos horizontes pedológicos do solo, não são eficientes quando o objetivo é caracterizar o solo hidráulicamente.

### LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.L. & BOUMA, J. Relationship between saturated hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:408-413, 1973.
- BEVEN, K. & GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. *Water Res. Res.*, 18:1311-1325, 1982.
- BOUMA, J.; JONGERIUS, A. & SCHOONDERBEEK, D. Calculation of saturated hydraulic conductivity of some pedal clay soils using micromorphometric data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:261-264, 1979.
- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. Soil Sci.*, 9:177-213, 1989.
- BOUMA, J.; JONGMANS, A.G.; STEIN, A. & PEEK, G. Characterizing spatially variable hydraulic properties of a boulder clay deposit in the Netherlands. *Geoderma*, 45:19-29, 1989.
- BULLOCK, P. & MCKEAGUE, J.A. Estimating air-water properties of a soil. C.R. colloque fonctionnement hydrique et comportement des sols. Dijon, AFES, 1984. p.55-76.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- GERMANN, P. & BEVEN, K. Water flow in soil macropores. I. An experimental approach. *J. Soil Sci.*, 32:1-13, 1981.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.C. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis, I. Physical and mineralogical methods*. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.
- GUEHL, J.M. Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. *Ann. Sci. For.*, 41:195-236, 1984a.
- GUEHL, J.M. Utilisation des méthodes tenseurioniques pour l'étude des transferts hydriques dans le sol en milieu ferrallitique guyanais. *Sci. Sol*, 1:35-50, 1984b.
- HENDRICKX, J.M.H. Determination of hydraulic soil properties. In: ANDERSON, M.G. & BURT, T.P., eds. *Process studies in hillslope hydrology*. England, 1990. p.43-92.
- HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. New York, Academic Press, 1982. 365p.
- HILLEL, D. *Soil and water. Physical principles and processes*. New York, Academic Press, 1971. 288p.
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996, 83p.
- LIN, H.S.; MCINNES, K.J.; WILDING, L.P. & HALLMARK, C.T. Effects of soil morphology on hydraulic properties: I Quantification of soil morphology. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:948-954, 1999.
- MARQUES, J.D. Horizontes pedológicos e sua relação com os horizontes hidráulicos do solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 120p. (Tese de Mestrado)
- MCKEAGUE, J.A.; WANG, C. & TOPP, G.C. Estimating saturated hydraulic conductivity from soil morphology. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1239-1244, 1982.
- MORAES, S.O. Heterogeneidade hidráulica de uma terra roxa estruturada. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1991. 141p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, L.B. Correlação entre a umidade a 1/3 de atmosfera e o equivalente de umidade em solos do nordeste do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:125-129, 1982.
- PREVEDELLO, C.L. Teoria do fluxo da água em solos não saturados: novos conceitos e aplicações. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987. 263p. (Tese de Doutorado)
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. *Soil Sci.*, 56:395-404, 1943.
- RIVERS, E.D. & SHIPP, R.F. Soil water retention as related to particle size in selected sands and loamy sands. *Soil Sci.*, 126:94-100, 1978.
- SHARMA, M.L. & UEHARA, G. Influence of soil structure on water relations in Low Humic Latosols. I. Water retention. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:765-774, 1968.

- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Glossary of soil science terms. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1997.
- TSUJI, G.Y.; WATANABE, R.T. & SAKAI, W.S. Influence of soil microstructure on water characteristics of selected Hawaiian soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:28-33, 1975.
- YOUNGS, E.G. Hydraulic conductivity of saturated soils. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E., eds. Soil analysis: physical methods. New York, Marcel Dekker, 1991. p.161-207.
- WOSTEN, J.H.M. & van GENUCHTEN, M.T. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:1762-1770, 1988.

