

## Caracterização hidráulica de um Latossolo vermelho associada à caracterização pedológica do perfil

### Hydraulic conductivity of a red Latosol (Rhodic ustox) associated to the soil profile pedologic characterization

Laércio Alves de Carvalho<sup>I</sup> Paulo Leonel Libardi<sup>II</sup> Genécio Crusóé Rocha<sup>III</sup>  
Antônio Carlos Rodrigues Cruz<sup>IV</sup>

#### RESUMO

*Desenvolveu-se um estudo avaliando a função  $K(\theta)$  pelo método do perfil instantâneo com e sem a suposição de gradiente unitário, observando seu comportamento com relação aos horizontes pedogenéticos, em um Latossolo Vermelho Distrófico argissólico A moderado textura média, localizado no campo experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 22° 42' 43,3" S, 47° 37' 10,4" W, 546 m. A determinação da função foi feita usando tensiômetros com manômetro de mercúrio instalados às profundidades de 0,1m; 0,2m; 0,3m; 0,4m; 0,5m; 0,6m; 0,7m; 0,8m; 0,9m; 1,0m; 1,1m e 1,2m e curvas de retenção determinadas para as mesmas profundidades. A análise dos resultados foi feita pelo teste F de análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, testando o paralelismo, a igualdade dos interceptos e a coincidência entre as retas  $\ln K$  versus  $\theta$ , considerando e não considerando a suposição do gradiente unitário. Foram comparadas as profundidades de 0,2m a 1,1m, bem como as correlações entre as profundidades de cada horizonte pedogenético. Com base na análise dos resultados, pode-se dizer que, com os procedimentos utilizados de delimitação da área para inundação e redistribuição da água, podem ser empregados modelos simples que consideram unitário o gradiente de potencial total e que, pela comparação feita entre as profundidades, a separação do perfil do solo em horizontes pedogenéticos parece seguir a separação em camadas com funções  $K(\theta)$  semelhantes, apenas a partir da profundidade de 0,6m.*

**Palavras-chave:** perfil instantâneo, curva de retenção, tensiômetro.

#### ABSTRACT

*A study was developed evaluating the  $K(\theta)$  function by the instantaneous profile method with and without the supposition of unit gradient and with respect to the pedogenetic horizons, in an Oxisol, located at experimental fields of Escola Superior Luiz de Queiroz, University of São Paulo, in Piracicaba (SP) 22° 42' 43,3" S, 47° 37' 10,4" W, 546m. The determination of the function was made using mercury manometer tensiometers installed at the depths of 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0; 1.1 and 1.2m and soil water retention curves determined for the same depths. The result analysis was made using an F-test in order to verify the paralelism, the intercept equality and the coincidence of the  $\ln K$  versus  $\theta$  straight lines, taking and not taking into account the assumption of unit hydraulic gradient. The depths from 0.2m to 1.1m were compared, as well as the correlations among the depths of each pedogenetic horizon. From the results, it was concluded that, with the procedures used to delimit the experimental plots in this experiment to water the soil profile and to follow the water redistribution, the unit gradient approach seemed to be adequate to assess the field  $K(\theta)$  function and also that the pedogenetic horizons seemed to follow the layers of similar  $K(\theta)$  function, only for depths greater than 0.6m.*

**Key words:** instantaneous profile, retention curve, tensiometer.

#### INTRODUÇÃO

A equação que melhor quantifica o movimento de água no solo é a equação de Darcy-

<sup>I</sup>Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). E-mail: lcarvalh@esalq.usp.br.

<sup>II</sup>Departamento de Ciências Exatas. Av. Pádua Dias, 11, CP 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: pllibard@esalq.usp.br. Autor para correspondência.

<sup>III</sup>Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE), Ponta Grossa, PR, Brasil. E-mail: genecio@cescage.com.br.

<sup>IV</sup>Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria do Desenvolvimento Sustentável (SDS), Brasília, DF, Brasil. E-mail: antonio-carlos.cruz@mma.gov.br.

Buckingham. Nela, a constante de proporcionalidade entre a densidade de fluxo e o gradiente de potencial total da água denomina-se condutividade hidráulica do solo. A condutividade hidráulica é, portanto, um parâmetro do solo e traduz a intensidade com que este solo conduz a água, sendo tanto maior quanto mais úmido o solo, atingindo seu valor máximo na saturação (LIBARDI, 2005).

O método do perfil instantâneo é um método de campo que foi inicialmente desenvolvido por WATSON (1966), aperfeiçoado por HILLEL et al. (1972) e simplificado por LIBARDI et al. (1980). Dentre as vantagens, pode-se citar a obtenção de medidas diretas no campo ou local de estudo, apresentando uma maior precisão dos valores de condutividade hidráulica, quando comparados com os de laboratório. Em contrapartida, é um método trabalhoso, com um consumo elevado de tempo e principalmente mão-de-obra, desde a instalação até a manutenção, o que pode ser dificultado ainda mais se o solo apresentar algum tipo de impedimento físico (JONG VAN LIER & LIBARDI, 1999).

Procurando relacionar propriedades hidráulicas com horizontes pedogenéticos de dois Latossolos, MARQUES et al. (2002) observaram a não coincidência entre valores de  $K_0$  e os horizontes pedogenéticos. Segundo os autores, esse fato se deve principalmente à homogeneidade textural e estrutural dos solos. Isso, segundo os autores, permite inferir que a dinâmica da água nem sempre se altera quando há mudança de horizontes pedogenéticos.

Considerando todos os aspectos citados anteriormente, desenvolveu-se um estudo com o objetivo de avaliar o comportamento da condutividade hidráulica em função da umidade do solo em relação aos horizontes pedogenéticos do solo. Além disso, avaliou-se também o método de determinação dessa função pelo método do perfil instantâneo com e sem a suposição do gradiente unitário.

#### Teoria do método do perfil instantâneo

Com o método do perfil instantâneo, procura-se uma solução para a equação de Richards (equação 1, a seguir), na direção vertical, durante o processo de redistribuição da água, após a saturação de um perfil de solo e a prevenção do fluxo de água através de sua superfície. Obtém-se o seguinte problema de valor de contorno, considerando a origem do sistema de coordenadas cartesianas coincidente com a superfície do solo:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \right] \quad (1)$$

$$t = 0 \quad z < 0 \quad \theta = \theta(z)$$

$$t > 0 \quad L = -\infty \quad \theta = \theta_i \quad (2)$$

$$t > 0 \quad z = 0 \quad K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z}$$

em que  $\theta$  = umidade volumétrica do solo,  $t$  = tempo de redistribuição,  $z$  = coordenada vertical de posição,  $\phi_t$  = potencial total da água no solo,  $\theta_i$  = umidade inicial do solo,  $K(\theta)$  função condutividade hidráulica  $K$  em função da umidade  $\theta$ . Integrando-se a equação de Richards (1) com relação à profundidade  $L$ , obtém-se

$$\int_0^L \frac{\partial \theta}{\partial t} dL = \int_0^L \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \right] dL \quad (3)$$

Como  $dL = -dz$ , então,

$$\int_0^L \frac{\partial \theta}{\partial t} dL = - \int_0^L \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \right] dz \quad (4)$$

e, conseqüentemente, sendo a densidade de fluxo em  $L = 0$  nula,

$$\int_0^L \frac{\partial \theta}{\partial t} dL = -K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \Big|_L = q_L = - \frac{L \partial \bar{\theta}}{\partial t} \quad (5)$$

pelo que

$$K(\theta) \Big|_L = \frac{-L \partial \bar{\theta}}{\frac{\partial \phi_t}{\partial z} \Big|_L} \quad (6)$$

sendo que  $\bar{\theta}$  a umidade média da camada  $0 - L$  de solo.

Dessa maneira, por meio de medidas simultâneas de umidade e de potencial total da água ao longo do perfil do solo, durante o período de redistribuição da água, determinam-se ambos o numerador e o denominador da equação (6), que correspondem o primeiro à densidade de fluxo de água na profundidade  $L$  e o segundo ao gradiente de potencial total da água na mesma profundidade. Esse é o método do perfil instantâneo.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O local da instalação foi o campo experimental do Departamento de Produção vegetal, Campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. Suas coordenadas geográficas são: 22° 42' 43,3" de latitude

sul, 47° 37' 10,4" de longitude oeste, a 546 m de altitude acima do nível do mar. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico argissólico A moderado textura média (EMBRAPA, 1999).

Foram realizadas as seguintes determinações: análise granulométrica - no laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciências Exatas - determinação química e de óxidos por ataque sulfúrico. Os valores de argila, silte e areia, classe textural, para as profundidades de interesse, são apresentados na tabela 1.

Foram coletadas amostras com estrutura indeformada ao longo do perfil, em uma trincheira localizada ao lado da parcela experimental. Cada anel de coleta apresentava 0,05m de altura e 0,048m de diâmetro. Foram retiradas 15 amostras de cada uma das seguintes profundidades: 0,1m; 0,2m; 0,3m; 0,4m; 0,5m; 0,6m; 0,7m; 0,8m; 0,9m; 1,0m; 1,10m e 1,20m, perfazendo um total de 180 amostras. O amostrador utilizado foi do tipo Uhland, conforme MORAES (1991).

Para determinação da curva de retenção da água no solo, no presente trabalho, foram utilizados funis de Haines para as tensões de 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; e 10kPa, e câmaras de pressão de Richards para as tensões de 33, 50 e 100kPa (LIBARDI, 2005). Os dados das curvas de retenção, para cada profundidade do solo, foram ajustados pelo modelo apresentado por VAN GENUCHTEN (1980).

Para aplicar o método do perfil instantâneo no campo (WATSON, 1966), foi utilizada uma estrutura de chapa galvanizada (2mm de espessura) de 1m de altura e 2,5m de raio, que foi introduzida no solo até 0,8m de profundidade a fim de evitar qualquer fluxo de água lateralmente quando da inundação e durante a redistribuição.

Em seguida, foi colocado um plástico para evitar evaporação, sendo que esse momento foi considerado o tempo zero de redistribuição. Depois

das leituras dos tensiômetros em  $t = 0$ , durante os primeiros dias, essas leituras foram feitas a cada seis horas e, a partir daí, diariamente, até quando a drenagem praticamente cessou. De posse dos resultados, o método foi aplicado utilizando a equação (6), seguindo procedimento descrito por LIBARDI (2005).

Foram ajustados modelos de regressão linear para  $\ln K$  versus  $\theta$ , nas profundidades 0,2m a 1,1m, com e sem a suposição de gradiente unitário, testando o paralelismo, a igualdade dos interceptos e a coincidência de tais retas pelo teste F de análise de variância ao nível de 5% de probabilidade (SEBER, 1977). O mesmo teste F foi usado na comparação da função  $K(\theta)$  entre as profundidades de solo estudadas. Utilizou-se o programa SAS for windows v.6.11 (SAS, 1987) para o processamento dos dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das equações representativas das curvas de ajuste da umidade volumétrica média em função do tempo e das curvas de ajuste do potencial total da água em função da coordenada vertical de posição  $z$ , determinaram-se as funções  $K(\theta)$  pela equação (6) para as profundidades de 0,2m a 1,1m, considerando e não considerando o gradiente de potencial total obtido no campo; os parâmetros dessa função podem ser visualizados nas tabelas 2 e 3.

Pode-se observar, pelas respectivas equações da tabela 2, que há uma tendência de os valores de condutividade hidráulica do solo aumentarem com a profundidade do solo. Resultado semelhante foi obtido por CARVALHO et al. (1996) num Latossolo Roxo Distrófico e por ARAGÃO JÚNIOR et al. (1983) num Podzólico Vermelho-Amarelo. Em seu estudo num Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, CADIMA et al. (1980) concluíram que a variabilidade

Tabela 1 - Granulometria (areia, silte e argila) e classe textural dos horizontes pedogenéticos.

Horizontes Pedogenéticos	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Classe textural
Ap (0 – 0,05m)	760	80	160	Franco – arenosa
A <sub>2</sub> (0,05 – 0,22m)	760	80	160	Franco – arenosa
Bw <sub>1</sub> (0,22 – 0,48m)	680	60	260	Franco – argilo – arenosa
Bw <sub>2</sub> (0,48 – 0,72m)	680	60	260	Franco – argilo – arenosa
Bw <sub>3</sub> (0,74 – 1,0m)	720	40	240	Franco – argilo – arenosa
Bw <sub>4</sub> (1,01 – 1,35m)	740	40	220	Franco – argilo – arenosa
Bw <sub>5</sub> (1,35m +)	740	40	220	Franco – argilo – arenosa

Tabela 2 - Parâmetros da equação  $K = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)}$  utilizados para expressar a condutividade hidráulica em cada profundidade do solo estudado, levando-se em conta o valor do gradiente de potencial total.

Profundidades (m)	Parâmetros teóricos			
	$\theta_0$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$K_0$ (m h <sup>-1</sup> )	$\gamma$	R <sup>2</sup>
0,2	0,302	0,0045	82,07	0,977
0,3	0,334	0,1858	101,68	0,966
0,4	0,343	0,9390	80,99	0,998
0,5	0,332	0,0420	64,70	0,998
0,6	0,334	0,3080	70,24	0,999
0,7	0,371	4,5680	70,51	0,999
0,8	0,347	1,1040	63,41	0,999
0,9	0,368	0,6470	54,31	0,998
1,0	0,370	0,8570	47,45	0,995
1,1	0,375	0,2500	41,49	0,996

do parâmetro condutividade hidráulica no sentido vertical foi muito pronunciada, salientando-se que o uso de valores médios pode trazer erros consideráveis na estimativa de fluxo de água nesse solo. Porém, os mesmos autores atribuem a menor variabilidade em profundidades maiores à maior homogeneidade das camadas mais profundas.

À semelhança do que ocorreu para o caso em que se levou em conta o gradiente de potencial total medido (Tabela 2), no caso em que isso não foi feito, isto é, considerando o gradiente igual a 1 (Tabela 3), o mesmo comportamento exponencial da função  $K(\theta)$  foi obtido com coeficientes de correlações maiores que 0,97. A partir dos dados originais de condutividade hidráulica em função da umidade com e sem a simplificação de gradiente de potencial total unitário, procedeu-se à comparação das retas de  $\ln K$  versus  $\theta$  testando o paralelismo entre elas, a igualdade de seus

interceptos e o grau de coincidência das retas pelos valores do teste F, conforme mostra a tabela 4.

O teste F, conforme mostra a tabela 4, evidencia que, para todas as profundidades, tanto para o paralelismo, como para o intercepto e a coincidência, o valor de p foi sempre maior que 0,05, revelando, portanto, que há 95% de probabilidade de que os valores de condutividade calculados pelos dois métodos (com e sem a suposição do gradiente unitário) sejam iguais.

Um ponto importante, que também pode ser extraído dos resultados da tabela 4, é o de que, apesar de não haver, estatisticamente, diferença entre os dois modelos comparados, percebe-se, pelos valores de p, que se o gradiente vier a ter uma influência significativa, esta será tanto no intercepto quanto na inclinação da reta. Para NETTO et al. (2000) e DAMÉ & ROBAINA

Tabela 3 - Parâmetros da equação  $K = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)}$  utilizados para expressar a condutividade hidráulica em cada profundidade do solo estudado, considerando unitário o gradiente de potencial total.

Profundidades (m)	Parâmetros teóricos			
	$\theta_0$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$K_0$ (m h <sup>-1</sup> )	$\gamma$	R <sup>2</sup>
0,2	0,302	0,0066	82,84	0,976
0,3	0,334	0,2460	101,26	0,963
0,4	0,343	1,0776	79,70	0,996
0,5	0,332	0,0464	62,87	0,998
0,6	0,334	0,2834	67,37	0,999
0,7	0,371	3,4250	66,70	0,999
0,8	0,347	0,7356	59,16	0,990
0,9	0,368	0,3824	49,69	0,998
1,0	0,370	0,4231	42,50	0,995
1,1	0,375	0,1213	36,26	0,997

Tabela 4 - Comparação das retas de regressão apresentadas nas tabelas 2 e 3 pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Paralelismo		Intercepto		Coincidência	
	F observado	Valor P	F observado	Valor P	F observado	Valor P
0,2	1,856	0,176	1,629	0,204	1,382	0,255
0,3	1,387	0,241	1,257	0,264	1,088	0,34
0,4	1,518	0,22	1,303	0,256	1,124	0,329
0,5	1,14	0,288	0,939	0,334	0,852	0,429
0,6	1,517	0,219	1,252	0,264	1,116	0,33
0,7	0,129	0,719	0,101	0,75	0,113	0,892
0,8	0,01	0,967	0,002	0,959	0,003	0,996
0,9	0,207	0,649	0,177	0,674	0,12	0,886
1	1,007	0,317	0,795	0,374	0,62	0,539
1,1	1,823	0,18	1,371	0,244	1,209	0,302

(1992), este fato parece ter ocorrido apenas para o intercepto.

A fim de se ter uma análise mais definida, fez-se a análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade entre as profundidades de 0,3m e 0,4m; 0,5m, 0,6m e 0,7m; 0,8m e 0,9m; e 1,0 e 1,1m, que pertencem aos horizontes pedogenéticos,  $Bw_1$ ,  $Bw_2$ ,  $Bw_3$  e  $Bw_4$ , respectivamente, e também entre as profundidades de 0,7m e 0,8m; e 0,9m e 1,0m. Os resultados estão na tabela (5).

Verifica-se que, para o horizonte  $Bw_1$ , aceita-se o paralelismo e o intercepto comum entre as retas, mas não se aceita a coincidência entre elas; portanto, hidraulicamente, a profundidade 0,3m é diferente da profundidade 0,4m (Tabela 5). Resultado semelhante é observado no horizonte  $Bw_2$  entre as profundidades 0,5m e 0,6m; para as profundidades 0,5m e 0,7m, entretanto, nem o paralelismo nem o intercepto são aceitos, o que evidencia uma diferença muito grande

entre essas profundidades, mesmo elas pertencendo ao mesmo horizonte pedogenético. Já para as profundidades 0,6m e 0,7m, aceita-se coincidência entre as retas e igualmente para as profundidades dos outros horizontes  $Bw_3$  (0,8m e 0,9m) e  $Bw_4$  (1,0m e 1,1m).

Essa semelhança entre os horizontes pedogenéticos e hidráulicos, que neste trabalho ocorreu para  $z > 0,6m$ , não ocorreu no estudo com dois Latossolos, para a curva de retenção da água no solo e para a condutividade hidráulica do solo saturado, desenvolvido por MARQUES et al. (2002).

## CONCLUSÕES

Utilizando o método do perfil instantâneo de redistribuição de água após a saturação do perfil, podem ser empregados os modelos simples, que consideram unitário o gradiente de potencial total para determinação da função  $K(\theta)$ . Para profundidades do perfil maiores que 0,6m, as características de condução da água no solo coincidiram com a delimitação dos horizontes pedogenéticos.

Tabela 5 - Comparação das retas de regressão apresentadas na tabela 2 entre as profundidades de cada horizonte pedogenético pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Paralelismo		Intercepto		Coincidência	
	F observado	Valor P	F observado	Valor P	F observado	Valor P
$Bw_1$ (0,3 x 0,4)	0,044	0,833	0,114	0,736	17,008	0
$Bw_2$ (0,5 x 0,6)	2,527	0,115	1,304	0,256	7,209	0,001
$Bw_2$ (0,6 x 0,7)	1,157	0,284	0,979	0,324	0,78	0,46
$Bw_2$ (0,5 x 0,7)	6,205	0,014	3,973	0,049	10,312	0
0,7 x 0,8	2,147	0,146	1,01	0,317	6,34	0,003
$Bw_3$ (0,8 x 0,9)	0,053	0,816	0,153	0,696	0,569	0,567
0,9 x 1,0	0,884	0,349	0,131	0,718	5,405	0,006
$Bw_4$ (1,0 x 1,1)	0,052	0,816	0,201	0,654	0,656	0,521

**REFERÊNCIAS**

- ARAGÃO JÚNIOR, T.C.A. et al. Determinação da condutividade hidráulica em um solo podzólico-Vermelho-Amarelo em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.7, p.805-810, 1983.
- CADIMA, Z.A. et al. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.63-66, 1980.
- CARVALHO, L.G. de. et al. Determinação da condutividade hidráulica *in situ* de um Latossolo Roxo Distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, n.7, p.1-97, 1996.
- DAMÉ, R.C.F.; ROBAINA, A.D. Condutividade hidráulica em solo não saturado: método do perfil instantâneo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DO CONE SUL, 1992, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1992. V.2, p.389-397.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- HILLEL, D. et al. Procedure an test of na internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**, Baltimore, v.114, p.395-400, 1972.
- JONG VAN LIER, Q.; LIBARDI, P.L. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.1005-1014, 1999.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.
- LIBARDI, P.L. et al. Simple field methods for estimating hydraulic conductivity. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.3-7, 1980.
- MARQUES, J.D. et al. Relação entre horizontes pedológicos e propriedades hidráulicas em dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.567-577, 2002.
- MORAES, S.O. **Heterogeneidade hidráulica de uma terra roxa estruturada**. 1991. 141f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- NETTO, A.M. et al. Condutividade hidráulica não saturada de um Podzólico Amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1221-1228, 2000.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT Guide for personal computers**: version 6. Cary, 1987. 1028p.
- SEBER, G.A.F. **Linear regression analysis**. New York: Jonh Willey, 1977. 465p.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.
- WATSON, K.K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. **Water Resources Research**, Washington, v.2, p.709-715, 1966.