

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE UM ALUVIÃO FLUVIAL SOB CONDIÇÕES DE CAMPO*

L.C.U. SAUNDERS**
C. E. BARBOSA***
F. L. PAIVA***
V. M. L. ROCHA***

INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica presta-se para definir e inferir na resolução de problemas ligados à dinâmica da água no solo, tais como irrigação, drenagem, poluição de águas subterrâneas, salinização, balanço hídrico e conservação da água e do solo.

Medidas da condutividade hidráulica no campo têm-se tornado uma norma obrigatória em decorrência das distorções obtidas em laboratório, devido às alterações das amostras coletadas e descontinuidade do perfil do solo. HILLEL *et alii* (2) apresentam um procedimento detalhado para obtenção da condutividade hidráulica não saturada sob condições de campo pelo método do perfil instantâneo. Salientam que esse processo poderá ser empregado até mesmo para solos anisotrópicos e consideram como única limitação do método a presença de um elevado nível do lençol freático. SAUNDERS *et alii* (7), trabalhando com terra roxa estruturada, obteve valores de

condutividade hidráulica de 0,476 a 0,013 cm/dia, para uma variação do conteúdo de água do solo de 0,038 cm³ . cm⁻³ num período de 20 dias de drenagem.

Autores como NIELSEN *et alii* (4), REICHARDT *et alii* (5 e 6) também obtiveram sucesso no emprego da metodologia de HILLEL *et alii* (2). MILLAR *et alii* (3), no estudo de um oxisol nas amplitudes de 0,20 a 0,25 cm³ . cm⁻³ de conteúdo de água do solo na profundidade de 15 a 45 cm e 45 a 75 cm, os valores de K (θ) foram 0,35 a 7,0 cm . dia⁻¹ e para a profundidade de 75 a 105 cm e 105 a 135 cm foram 1,8 cm . dia⁻¹ e 1,5 cm . dia⁻¹, respectivamente. SAUNDERS (8) apresentou uma modificação nessa metodologia, visando à obtenção mais racional de densidade do fluxo, através de um processo de determinação analítica.

MATERIAL E MÉTODO

O trabalho foi instalado na área irrigada da Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Setor de Pesquisa do Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará. O local se encontra a uma altitude

* Trabalho financiado pelo Convênio SUDENE/DNOCS/FCPC.

** Professor do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará - Fortaleza, Ceará, Brasil e Bolsista Pesquisador do CNPq.

*** Professores do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará - Fortaleza, Ceará, Brasil.

de 47 metros e está situado entre os paralelos 3°45' e 4°00' latitude Sul e os meridianos 39°15' e 39°30' a Oeste de Greenwich, no Município de Pentecoste - Ceará.

O solo desta área é um aluvião fluvial de deposição recente, segundo COELHO (1). A parcela experimental de 10 m x 10 m apresenta dimensões suficientemente grandes, a ponto de evitar que os processos de fluxo no seu centro não sejam influenciados pelos seus limites, segundo HILLEL *et alii* (2). A área experimental foi saturada por um período de 48 horas, o qual foi suficiente para se verificar, através das leituras dos tensiômetros, a condição de escoamento permanente em todo o perfil do solo estudado. Na condição de escoamento permanente, cilindros galvanizados de 40 cm de diâmetro foram instalados em quatro locais distintos para a obtenção da condutividade hidráulica saturada.

Na determinação da condutividade hidráulica não saturada instalou-se uma bateria de tensiômetro, bem como abriu-se uma trincheira ao lado do experimento, para coletar amostras de solo com a finalidade de confeccionar as curvas características da água do solo. A bateria de tensiômetro constou de 10 unidades situadas de 15 em 15 cm até a profundidade de 1,50 m. Para confecção das curvas características da água do solo, que relaciona o potencial ou energia com que a água é retida e o conteúdo de água existente no solo, coletaram-se amostras de solo com estrutura deformada e indeformada às profundidades acima mencionadas. Após determinação da condutividade hidráulica saturada e ocorrência da infiltração total da água no solo, revestiu-se toda superfície da parcela com um plástico, para evitar a evaporação, e, a partir deste instante, considerou-se o início do processo de drenagem interna, sob condição de escoamento transiente. A equação de Darcy mostra que a condutividade hidráulica é um fator de proporcionalidade e que a densidade do fluxo de água é relacionada com o gradiente de potencial.

$$q = -K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ} \quad (1)$$

- Onde q = densidade de fluxo ($L.T^{-1}$)
 K = condutividade hidráulica do solo ($L.T^{-1}$) que é função do conteúdo de água do solo (θ) ($L^3.L^{-3}$)
 Ψ = potencial total da água do solo (L)
 Z = coordenada vertical de posição (L)

Substituindo a equação de Darcy na equação da continuidade:

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{dq}{dZ} \quad (2)$$

obtém-se a equação diferencial geral para o fluxo de água do solo na direção vertical.

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dZ} K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ} \quad (3)$$

Integrando a equação (3) em relação a "Z" até a profundidade h obtém-se:

$$\int_0^h \frac{d\theta}{dt} dZ \left\{ K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ} \right\}_0^h$$

Calculando-se os limites tem-se:

$$\frac{d\theta}{dt} h = \left\{ K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ} \right\}_{Z=h} - \left\{ K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ} \right\}_{Z=0} \quad (4)$$

Como a superfície do solo se encontra coberta com plástico, não há fluxo ascendente em $Z = 0$, daí:

$$\frac{d\theta}{dt} h = \left\{ K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ} \right\} \quad (5)$$

O primeiro membro da equação (5) representa a densidade de fluxo (q) que atinge a uma profundidade "h". Sua determinação, segundo SAUNDERS (1978), facilmente será obtida a partir da construção de gráficos de umidade ou armazenamento versus Int , isto porque há uma solução analítica entre θ ou W e t .

O gráfico de armazenamento *versus* Int mostra que a distribuição dos pontos representa uma reta com alto coeficiente de correlação. Assim, a equação da reta será representada por:

$$W = a - b \text{Int} \quad (6)$$

Onde W = armazenamento da água do solo ($L^1 \cdot L^{-1}$)

a = coeficiente linear

b = coeficiente angular

t = tempo

Derivando-se a equação (6) em relação ao tempo obtém-se:

$$\frac{dW}{dt} = - \frac{b}{t} \quad (7)$$

Como dW/dt representa a densidade de fluxo (q), constata-se que seu valor pode ser obtido analiticamente a partir da equação (7)

A determinação do gradiente do potencial total da água do solo foi obtida pela seguinte aproximação de diferenças finitas:

$$\frac{d\Psi}{dZ} \cong \frac{\Delta\Psi}{\Delta Z} = \frac{\Psi_n - \Psi_{n+1}}{15} \quad (8)$$

em que Ψ_n e Ψ_{n+1} representam o potencial total da água do solo a duas profundidades consecutivas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises das características físicas: textura, densidade global e porosidade total de um perfil

aberto a 2 m da parcela experimental se encontram na Tabela 1. Trata-se de um solo franco-arenoso e homogêneo em profundidade. A Figura 1, que apresenta as curvas características da água do solo para as dez profundidades estudadas, mostra também a homogeneidade do perfil do solo.

Na Tabela 2 encontram-se os valores do conteúdo de água do solo, correspondentes a um determinado potencial matricial em função do tempo de drenagem para as profundidades estudadas. Com estes valores construiu-se a Figura 2, que mostra a variação do armazenamento da água do solo em função do tempo de drenagem nas dez profundidades; examinando-se as equações de regressão linear representativas destas curvas de armazenamento, constata-se um valor sempre superior a 0,99 do coeficiente de correlação; isto é fundamental, pois, segundo a metodologia sugerida por SAUNDERS (8), a mesma só terá validade se os pontos do gráfico W *versus* Int se distribuírem segundo uma reta com alto coeficiente de correlação.

A Tabela 3 apresenta valores da condutividade hidráulica para a profundidade de 22,5 cm. Seguindo raciocínio análogo, obtém-se os valores da condutividade hidráulica para as outras profundidades estudadas. Os valores da densidade de fluxo observados na coluna "4" da Tabela 3 foram obtidos analiticamente, a partir da expressão $q = - b/t$, sendo b o coeficiente angular da curva de 22,5 cm da Figura 2 e igual a 0,661 e t o tempo em dias. A coluna "4", que representa variação do gradiente de potencial total da água do solo com o tempo, foi obtida a partir da Figura 3.

A Figura 4 mostra os valores da condutividade hidráulica em função do conteúdo de água do solo para as profundidades correspondentes estudadas. Um estudo detalhado desta Figura mostra que uma pequena variação do conteúdo de água implica numa grande variação da condutividade hidráulica, pois a variação desta com a umidade do solo é exponencial, ou seja, $K = K_0 \exp$

$\beta\theta$. Nesta figura representou-se a curva $K(\theta)$ com a condutividade hidráulica saturada e também sem este parâmetro. De uma maneira geral, as duas curvas, praticamente, apresentaram-se semelhantes para a mesma profundidade, exceção para as curvas de 22,5 e 82,5 cm, isto dentro do domínio do valor de umidade determinado durante o procedimento de campo, o qual variou em média de 0,350 a 0,450 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. Deve-se ressaltar

que os coeficientes de correlação, para as curvas de $K(\theta)$ com ou sem a condutividade hidráulica saturada, foram sempre superiores a 0,90; exceção para a curva de 22,5 cm sem a condutividade hidráulica saturada, onde o valor de "r" foi 0,86. Em média, na amplitude de 0,050 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, o valor de $K(\theta)$ variou de 0,05 a 1,00 cm dia^{-1} para todas as profundidades estudadas.

TABELA 1

Caracterização Física do solo do Experimento. Valores médios de três repetições.

PROFUNDIDADE cm	DENSIDADE GLOBAL	POROSIDADE %	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA			CLASSE TEXTURAL
			AREIA %	SILTE %	ARG. %	
15	1.57	41.00	68.3	20.3	11.4	Fr. Arenosa
30	1.56	41.00	68.3	20.3	11.4	Fr. Arenosa
45	1.59	40.00	68.3	20.3	11.4	Fr. Arenosa
60	1.50	43.00	63.6	23.3	13.1	Fr. Arenosa
75	1.62	39.00	63.6	23.3	13.1	Fr. Arenosa
90	1.59	40.00	57.4	27.5	15.1	Fr. Arenosa
105	1.65	38.00	57.4	27.5	15.1	Fr. Arenosa
120	1.70	36.00	57.4	27.5	15.1	Fr. Arenosa
135	1.63	39.00	39.6	36.8	23.6	Franca
150	1.59	40.00	39.6	36.8	23.6	Franca

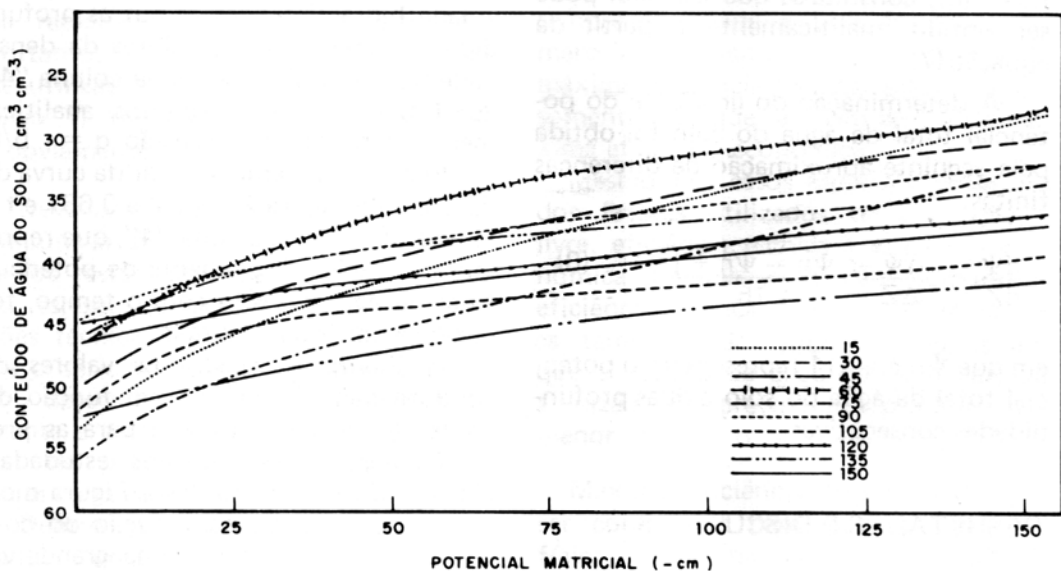


Fig. 1 — Curva Característica da Água do Solo. Valores Correspondentes às Profundidades Estudadas.

TABELA 2

Valores do conteúdo de água do solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) correspondentes a um determinado Potencial Matricial em função do Tempo de Drenagem.

Prof. (cm)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Tempo/Dia										
0	0,468	0,405	0,491	0,367	0,468	0,417	0,442	0,435	0,436	0,457
1	0,428	0,385	0,470	0,356	0,448	0,386	0,438	0,424	0,415	0,443
2	0,412	0,376	0,457	0,350	0,441	0,387	0,435	0,418	0,407	0,437
3	0,400	0,370	0,454	0,347	0,438	0,379	0,432	0,415	0,402	0,434
4	0,390	0,367	0,452	0,345	0,436	0,379	0,430	0,413	0,399	0,433
5	0,383	0,365	0,450	0,345	0,435	0,378	0,429	0,411	0,397	0,432
7	0,370	0,362	0,449	0,343	0,433	0,377	0,427	0,411	0,395	0,430
8	0,365	0,361	0,449	0,342	0,433	0,377	0,427	0,411	0,395	0,429
10	0,357	0,359	0,447	0,340	0,431	0,376	0,426	0,411	0,393	0,427
15	0,346	0,354	0,445	0,337	0,427	0,374	0,425	0,410	0,390	0,424
20	0,340	0,350	0,442	0,333	0,423	0,371	0,425	0,410	0,390	0,422
25	0,335	0,346	0,440	0,331	0,418	0,369	0,425	0,409	0,389	0,420
30	0,332	0,342	0,440	0,328	0,413	0,366	0,425	0,409	0,388	0,419
35	0,329	0,338	0,440	0,326	0,411	0,364	0,425	0,408	0,388	0,418

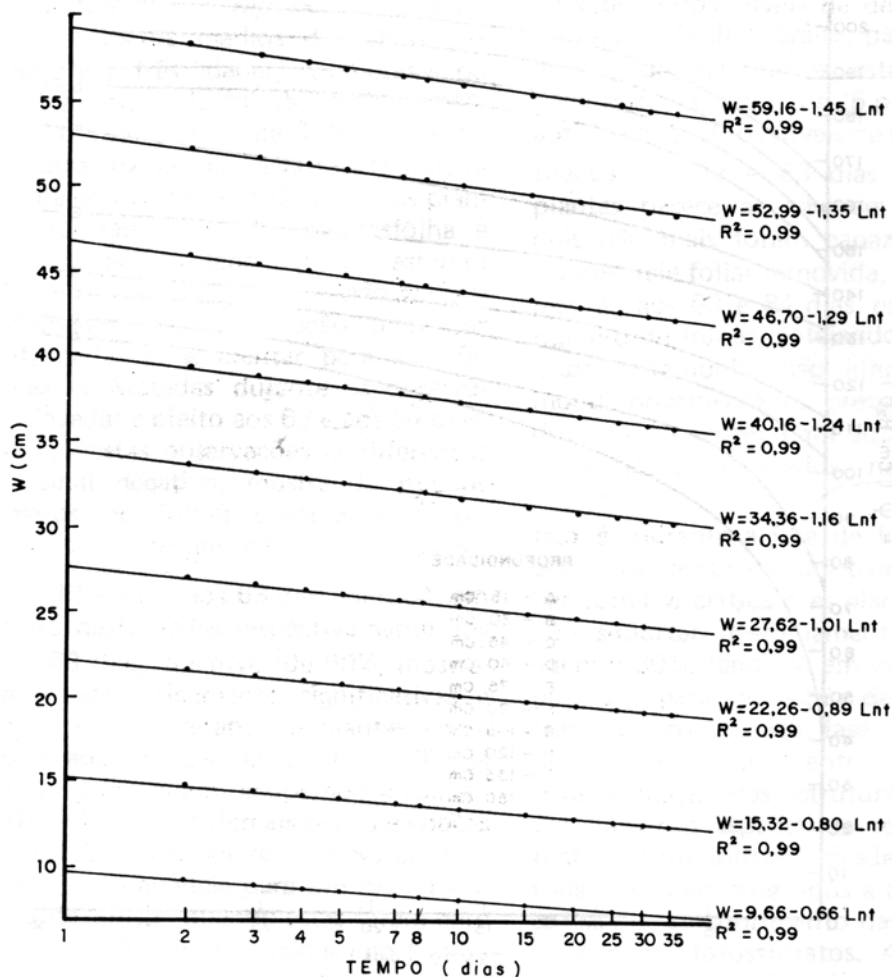


Fig. 2 - Armazenamento da Água do Solo durante o Processo de Drenagem Interna.

TABELA 3

Condutividade Hidráulica em Função do armazenamento de água do solo para a profundidade de 22,5 cm.
A Densidade de Fluxo foi calculada analiticamente pela expressão $q = -b/t$, onde $b = 0,661$.

TEMPO (dia ⁻¹)	W (cm)	(θ) (cm ³ . cm ⁻³)	-q (cm . dia ⁻¹)	$-\frac{\Delta\Psi}{\Delta Z}$ (-)	K (cm . dia ⁻¹)
1	9,63	0,385	0,661	2,31	0,2861
2	9,27	0,376	0,331	1,69	0,1959
3	9,00	0,370	0,320	1,41	0,1560
4	8,77	0,367	0,165	1,25	0,1320
5	8,62	0,365	0,132	1,10	0,1200
7	8,32	0,362	0,094	0,87	0,1080
8	8,21	0,361	0,083	0,81	0,1025
10	8,00	0,359	0,060	0,67	0,0985
15	7,78	0,354	0,044	0,47	0,0936
20	7,65	0,350	0,033	0,37	0,0891
25	7,53	0,346	0,026	0,33	0,0788
30	7,47	0,342	0,022	0,29	0,0759
35	7,40	0,338	0,019	0,24	0,0791

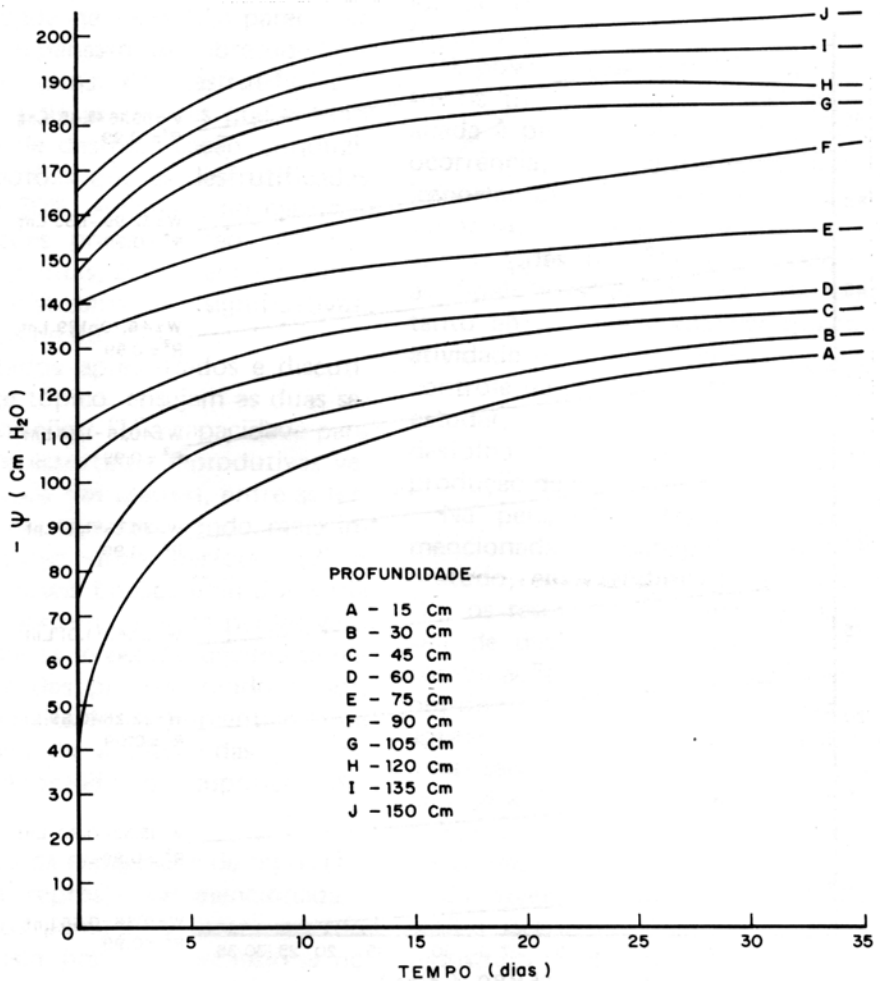


Fig. 3 - Valores do Potencial Total da Água do Solo para um determinado Conteúdo de Água do Solo durante o Tempo de Drenagem.

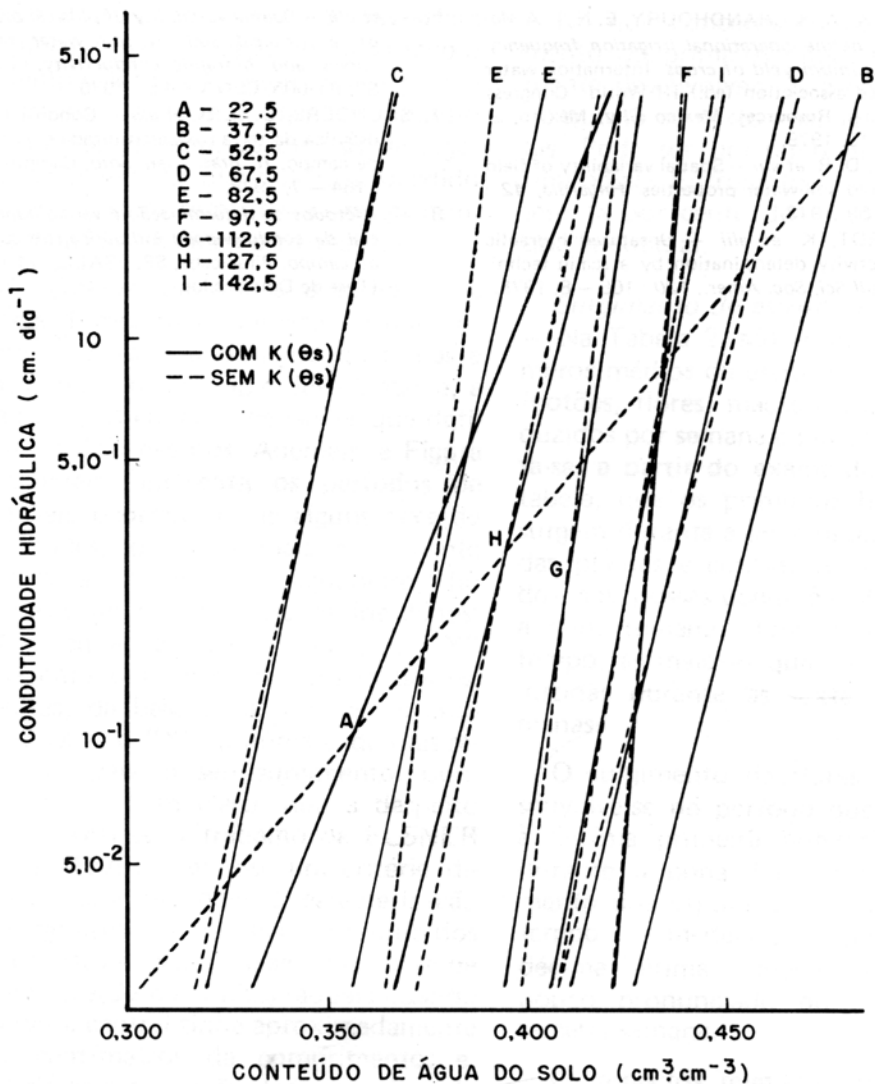


Fig. 4 – Valores da Condutividade Hidráulica do Aluvião Fluvial em Função do Conteúdo de Água do Solo para as Profundidades Estudadas.

SUMMARY

Hydraulic Conductivity is an extremely important parameter in porous media flow studies. Its determination is also essential for irrigation and drainage design. In this study soil Hydraulic Conductivity was determined for a fluvial alluvium according to the instantaneous profile method as described by Hillel et alii (1972) and modified by Saunders (1978). Soil water potential obtained by means of a battery of tensiometers buried in the soil at different

depths, and soil water content, based on soil water retention curves, are also presented.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COELHO, M. A. — *Características de unidade de alguns solos de aluvião: normais sódicos e sódi-co-salino*. Rio de Janeiro, UFRRJ, 113 p. 1971. (Tese de Mestrado)
2. HILLEL, D. et alii — Procedure and test of internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics *in situ*. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 114 (5): 395 — 400, 1972.

3. MILLAR, A. A. & CHANDHOURY, E. N. — A Model to define operational irrigation frequency for maximum yield of crops. Internation water resource association (ed.) III World Congress on Water Resources. México City, México, 2: 607 — 18, 1979.

4. NIELSEN, D. R. *et alii* — Spatial variability of field measured soil-water properties. *Hilgardia*, 42 : 215 — 59, 1973.

5. REICHARDT, K. *et alii* — Unsaturated hidraulic conductivity determination by a scalin technique. *Soil Sci, Soc. Amer.*, 120 : 165 — 8, 1975.

6. — *et alii* — Spatial variability of phisical properties of a tropical soil: II soil water retention curves and hidraulic conductivity. Piracicaba, SP, BT-005, CENA, 24 p. 1976.

7. SAUNDERS, L. C. U. *et alii* — Condutividade hidrúlica da terra roxa estruturada em condições de campo. *R. Bras. Cien. Solo*, Campinas, 2 (3) : 164 — 7, 1978.

8. — *Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidrúlica sob condições de campo.* Piracicaba, SP, ESALQ, 71 p. 1978. (Tese de Doutorado).