

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 anisotrópos 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. cm³ 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* CHANDHOURY (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 a 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.

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.

Agrárias, da Universidade Federal do Ceará. O local se encontra a uma altitude de 47 metros e está situado entre os paralelos 3°45' e 4°00' latitude Sul e os meridianos 39°15' e 39°15' 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, coletou-se amostras de solo com estrutura deformada e indeformada às profundidades acima mencionadas. Após determinação da condutividade hidráulica saturada e ocorrer a 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 propor-

cionalidade e que a densidade do fluxo de água é realacionada 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) [L³.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:

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

obtem-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:

$$\int_0^h \frac{d\theta}{dt} dZ = [K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ}]_0^h$$

Calculando-se os limites, têm-se:

$$\frac{d\theta}{dt} h = [K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ}]_{Z=h} - [K(\theta) \frac{d\Psi}{dZ}]_{Z=0}$$

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

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

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* $\ln t$, isto porque há uma solução analítica entre θ ou W e t .

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

$$W = a - b \ln t \quad (6)$$

Onde W = armazenamento da água do solo [$L^1.L^{-1}$]
 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:

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

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 I. Trata-se de um solo franco-arenoso e homogêneo em profundidade. A Figura I, que apresenta as curvas características da água do solo para as dez profundidades estudadas, mostra também a homogeneidade do perfil do solo.

Na Tabela II 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 II, 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* $\ln t$ se distribuí-

TABELA I
Caracterização Física do solo do experimento. Valores Médios de três repetições.

PROFUNDIDADE cm	DENSIDADE	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	

TABELA II

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) Tempo/Dia	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
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

rem segundo uma reta com alto coeficiente de correlação.

A Tabela III apresenta valores da condutividade hidráulica para a profundidade de 22,5 cm. Seguindo raciocínio análogo, obtêm-se os valores da condutividade hidráulica para as outras profundidades estudadas. Os valores da densidade de fluxo observados na coluna "4" da Tabela III foram obtidos analiticamente, a partir da expressão $q = -b/t$, sendo b o coeficiente angular da curva de 22,5 cm da Figura II 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 III.

A Figura IV 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

TABELA III

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	W	(θ)	-q	$\frac{\Delta\Psi}{\Delta Z}$	K
(dia ⁻¹)	(cm)	(cm ³ . cm ⁻³)	(cm.dia ⁻¹)	(-)	(cm.dia ⁻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

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 semelhante 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 cm³ . 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 cm³ . cm⁻³, o valor de $K(\theta)$ variou de

0,05 a 1,00 cm. dia⁻¹ para todas 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, 1971. 113 p. (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. & CHOUDHURY, E. N. – *A Model to define operational irrigation frequency for maximum yield of crops*. International water resource association (ed.) III World Congress on Water Resource. *México City, México*, 2 : 607–18, 1979.
4. NIELSEN, D. R. *et alii* – *Spatial variability of field measured soil soil-water properties*. *Hilgardia*, 42 : 215–59, 1973.
5. REICHARDT, K. *et alii* – *Unsaturated hydraulic conductivity determination by a scalin technique*. *Soil Sci, Soc. Amer.*, 120 : 165–8, 1975.
6. – *et alii* – *Spatial variability of physical properties of a tropical soil: II soil water retention curves and hydraulic conductivity*. Piracicaba, SP, BT-005, CENA, 1976. 24 p.
7. SAUNDERS, L. C. U. *et alii* – *Condutividade hidráulica 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 hidráulica sob condições de campo*. Piracicaba, SP, ESALQ, 1978. 71 p. (Tese de Doutorado).