



I Workshop Internacional de Inovações  
Tecnológicas na Irrigação  
&  
I Conferência sobre Recursos  
Hídricos do Semi-Árido Brasileiro  
26 a 28 de Setembro de 2007  
Sobral - CE

## AVALIAÇÃO DO ENCROSTAMENTO SUPERFICIAL NAS PROPRIEDADES HÍDRICAS EM SOLO CULTIVADO

SOUZA, E. S.<sup>1</sup>; SILVA, J. M.<sup>2</sup>; GOUVEIA NETO G. C.<sup>2</sup>;  
SOUZA, C.<sup>3</sup>; LIMA, J. R. S.<sup>1</sup> & SILVA, I. F.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador Bolsista DCR/CNPq da UFPB/CCA/ DSER. CEP 58397-000, Areia, PB. E-mail: edu\_souza\_pe@yahoo.com.br, romualdo\_solo@yahoo.com.br;

<sup>2</sup>Bolsista PIBIC/CNPq da UFPB/CCA/ DSER. CEP 58397-000, Areia, PB. E-mail: jose\_madson@yahoo.com.br, neto\_gouveia@hotmail.com;

<sup>3</sup>Doutorando PPGA/CCA/UFPB. CEP 58397-000, Areia, PB.

<sup>4</sup>Professor da UFPB/CCA/DSER. E-mail: ivandro@cca.ufpb.br.

**RESUMO** - A infiltração da água no solo pode ser diminuída pelo encrostamento, aumentando desta forma o escoamento superficial das águas chuvas e da irrigação. Foram estimados, a partir de experimentos com infiltrômetros de anel simples, as propriedades hidráulicas de um solo com e sem crosta, cultivado com mamona. O experimento foi realizado com dois tratamentos (com e sem crosta) e sete repetições. Os solos sem crosta foram, em média, quase três vezes mais condutores que os com crosta. O valor médio do raio característico de poros hidraulicamente ativos ( $\lambda_m$ ) foi de 0,16 mm para o solo sem crosta e de 0,19 mm para o com crosta. Apesar de apresentar valor menor de  $\lambda_m$ , os solos sem crosta são mais condutores devido à densidade de poros. Embora o valor de  $\lambda_m$  tenha aumentado nas superfícies com crostas, a quantidade de poros hidraulicamente ativos foi aproximadamente seis vezes menor que a das superfícies sem crosta.

**Palavras chave:** condutividade hidráulica, infiltração da água no solo, raio característico de poros

## EVALUATION OF SUPERFICIAL ENCROSTAMENTO IN THE PROPRIEDADES HÍDRICAS IN CULTIVATED SOIL

**ABSTRACT** - The crusts are responsible for the reduction of water infiltration into the soil and the increase in runoff process from rains and irrigation. From infiltration test using the simple ring infiltrometer, the soil hydraulic properties of a soil, with and without crust, cultivated with castor were estimated and compared. The soils without crust were on average almost three times more conductive than the ones with crust. The mean value of the characteristic mean pore radius ( $\lambda_m$ ) was of 0.16 mm for soils without crust and 0.19 mm with crust. Despite presenting a lesser  $\lambda_m$  value, the surfaces without crust were more conductive due to the density of the pores. Although the  $\lambda_m$  value had increased in the surfaces with crusts, the amount of hydraulically active pores was approximately six times less than in the surfaces without crust.

**Key-words:** hydraulic conductivity, soil water infiltration, characteristic mean pore radius.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de crostas na superfície do solo é uma característica importante de solos em muitas regiões tropicais e subtropicais, visto que este encrostamento pode diminuir a taxa de infiltração de água no solo e aumentar a taxa de escoamento superficial (Valentin & Bresson, 1992).

Como os encrostamentos são tipicamente muito finos, poucos métodos de campo conseguem estimar suas propriedades hidráulicas (Vandervaere et al., 1997); no entanto, alguns métodos baseados no infiltrômetro a disco com pressão controlada (Ankeny et al., 1996; entre outros) ou no infiltrômetro de anel simples permitem realizar medidas no campo para caracterizar os parâmetros fenomenológicos da infiltrabilidade, tais como a condutividade hidráulica e a sorvidade.

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do encrostamento superficial nas propriedades hidráulicas de um solo cultivado com mamona.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados na Fazenda Experimental Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFPB, no município de Areia (6°58'12" S e 35°42'15" O), estado da Paraíba. O solo é caracterizado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2006). Os dados da análise granulométrica e da densidade do solo da área experimental, são apresentados na Tabela 1. A precipitação média anual no município de Areia é de 1400 mm, a temperatura média anual é de 24,5 °C e a umidade relativa média é 80 %. O período mais chuvoso é de abril a julho o qual representa 62% do total médio anual.

Os ensaios de infiltração consistiram em se anotar o tempo que volumes constantes de água (100 mL), adicionados continuamente no anel (20 vezes), levaram para serem infiltrados.

Esses ensaios fornecem a infiltração tridimensional em função do tempo  $I_3(t)$ . Durante cada ensaio também foram coletadas amostras indeformadas para determinação da densidade do solo e das umidades inicial  $\theta_0$  e final  $\theta_s$ . O cilindro foi posicionado na superfície do solo e inserido a uma profundidade de aproximadamente 1 cm, para prevenir perdas laterais de água durante o processo de infiltração de água na superfície do solo. Nos ensaios foi utilizado um infiltrômetro com 150 mm de diâmetro.

Os experimentos de infiltração foram realizados entre plantas, em 14 pontos escolhidos aleatoriamente na parcela: sete pontos com a ausência de crosta na superfície e sete com sua presença, próximo a colheita da cultura.

### Método de Haverkamp et al. (1994)

Uma equação analítica para a infiltração transitória tridimensional é usada para obter a condutividade hidráulica saturada,  $K_s$  [ $LT^{-1}$ ], e a sorvidade,  $S$  [ $LT^{-1/2}$ ], de um solo não saturado (Haverkamp et al., 1994) equação 1 e o fluxo de infiltração estacionário equação 2.



$$I(t) = \left[ K_s + \frac{\gamma S^2}{r_d(\theta_s - \theta_0)} \right] t + \frac{S^2}{2(K_s - K_0)(1 - \beta)} \ln \left[ \frac{1}{\beta} \right] \quad (1)$$

$$q_\infty = K_s + \frac{\gamma S^2}{r_d(\theta_s - \theta_0)} t \quad (2)$$

sendo  $r_d$  o raio do disco (L),  $K_0$  a condutividade hidráulica correspondente a umidade volumétrica inicial  $[L\ T^{-1}]$   $\theta_0$   $[L^3\ L^{-3}]$ ,  $\theta_s$  a umidade volumétrica final  $[L^3\ L^{-3}]$ ,  $\beta$  uma constante no intervalo ( $0 < \beta < 1$ ), cujo valor é 0,6 (Haverkamp et al., 1994), e  $\gamma$  é uma constante teórica, cujo valor é igual a 0,75 (Smettem et al., 1994).

### Escalas características

A escala de comprimento capilar,  $\lambda_c$  [L] (White & Sully, 1987) equação 3, e o raio característico de poros hidraulicamente ativos,  $\lambda_m$  [L] (Philip, 1987) equação 4.

$$\lambda_c = \frac{bS^2}{(\theta_{fin} - \theta_{inic})K_s} \quad (3)$$

$$\lambda_m = \frac{\sigma}{\rho_a g \lambda_c} \quad (4)$$

nas quais,  $\sigma$  é a tensão superficial da água ( $0,0719\ N\ m^{-1}$ , para  $T \approx 20^\circ C$ ),  $\rho_a$  é a massa específica da água ( $10^3\ kg\ m^{-3}$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81\ m\ s^{-2}$ ).

O raio característico de poros (Eq.4) define a dimensão média dos poros que participam do processo de infiltração.

A concentração de raio característico de poros,  $C_{\lambda_m}$  (número de poros  $m^{-2}$ ), é estimada usando-se a lei de Poiseuille para fluxo em um tubo capilar, a partir da seguinte expressão:

$$C_{\lambda_m} = \frac{8\mu K_s}{\rho_a g \pi \lambda_m^4} \quad (5)$$

sendo  $\mu$  a viscosidade dinâmica da água ( $0,00089\ kg\ m^{-1}\ s^{-1}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de infiltração (Figura 1) estão agrupados de acordo com os tratamentos. As comparações das lâminas de água medidas nas duas situações, demonstram diferenças qualitativas dos efeitos estruturais no fluxo de água.

A duração das infiltrações nas superfícies sem a presença de crosta variou de 470 a 720 s para aproximadamente 11,3 cm de lâmina total de água infiltrada (Figura 1A). Enquanto que, para a mesma lâmina de água infiltrada, nas superfícies com a presença de crosta, a duração variou de 1250 a 2900 s (Figura 1B). Dessa forma, para as superfícies com crosta, constata-se que a infiltração é lenta e que é possível observar uma variabilidade mais significativa dos fluxos de infiltração.

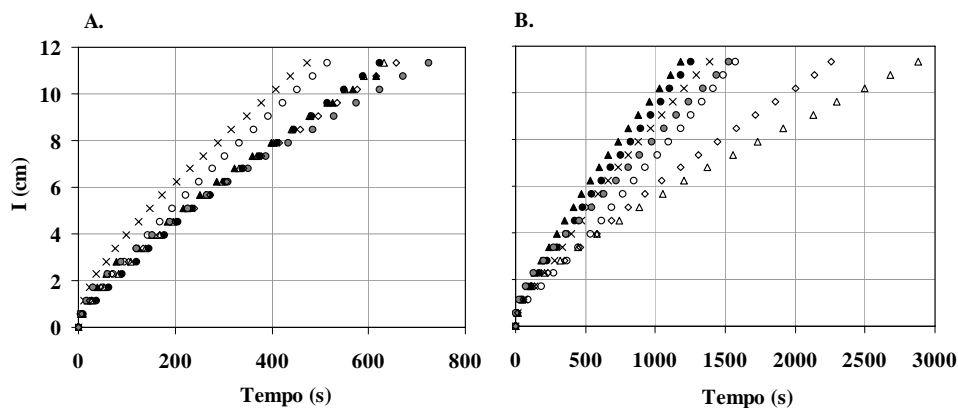


Figura 1. Curvas de infiltração acumulada  $I$ (mm) para as superfícies sem crosta (A) e com crosta (B).

Os intervalos de tempo de aplicação da equação ao longo do tempo foram estabelecidos de tal forma que os intervalos de tempo de ajustamento das equações fossem o maior possível. Os parâmetros hidrodinâmicos foram então obtidos pelo ajuste da equação (1) aos dados de infiltração, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,999. O intervalo de tempo de validade foi definido a partir das diferentes escalas de tempos característicos representativas do processo de infiltração (Souza et al., 2006).

Na Figura 2 são apresentados os valores médios de  $K_s$ ,  $\theta_0$  e  $\theta_s$ . Os valores da condutividade hidráulica foram maiores para as superfícies sem crostas que para as superfícies com crosta, estando em acordo com as diferenças observadas nas lâminas infiltradas (Figura 2C) enquanto os valores de  $\theta_0$  e de  $\theta_s$  foram menores para as superfícies sem crostas que para as superfícies com crostas (Figuras 2A e B).

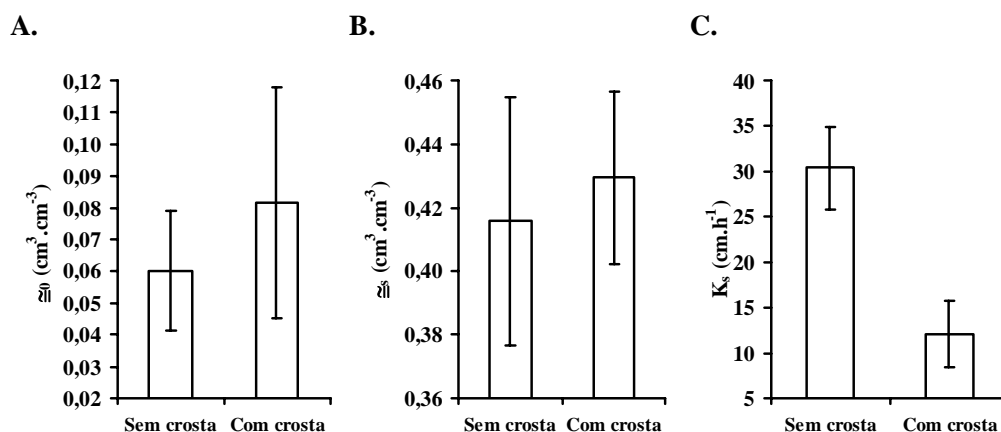


Figura 2. Valores médios de  $\theta_0$  (A),  $\theta_s$  (B) e  $K_s$  (C).



Os valores de  $\lambda_m$  e  $C\lambda_m$  foram calculados a partir das médias de  $S$ ,  $K_s$ ,  $\theta_{mic}$  e  $\theta_{fin}$ . O raio característico de poros hidraulicamente funcionais (Eq. 4) aumentou ligeiramente com o encrostamento. O valor médio de  $\lambda_m$  foi de 0,16 mm para a superfície sem crosta e 0,19 mm para a superfície com crosta. Estes valores estão de acordo com os valores reportados em outros trabalhos (Souza et al., 2006). Apesar de apresentar um menor valor de  $\lambda_m$ , as superfícies sem crosta são mais condutoras devido a densidade de poros,  $C\lambda_m$  (quantidade de poros hidraulicamente ativos por unidade de área) ( $3,06 \times 10^4$  N° de poros  $m^{-2}$ ). Assim, embora o valor de  $\lambda_m$  tenha aumentado nas superfícies com crostas, a quantidade de poros hidraulicamente ativos ( $0,54 \times 10^4$  N° de poros  $m^{-2}$ ) foi aproximadamente 6 vezes menor que a das superfícies sem crosta.

## CONCLUSÕES

Os solos sem crosta foram em média quase 3 vezes mais condutores que os com crosta.

Apesar de apresentar um menor valor de  $\lambda_m$ , os solos sem crosta são mais condutores em virtude da densidade de poros. Nos solos com crostas, a quantidade de poros hidraulicamente ativos foi aproximadamente 6 vezes menor que a dos solos sem crosta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ankeny, M.D.; Ahmed, M.; Kaspar, T.C.; Horton, R. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Sc. Soc. of Am. Jour.**, Madison, v.55, p.467-470, 1996.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA solos, 2006. 306p.
- Haverkamp, R.; Ross, P.J.; Smettem, K.R.J.; Parlange, J.Y. Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. 2. Physically based infiltration equation. **Wat. Res. Res.**, Washington, v.30, p.2931-2935, 1994.
- Philip, J.R. The quasi-linear analysis, the scattering analog, and other aspects of infiltration and seepage. In: Fok, Y.S. (ed.). **Infiltration development and application**. Honolulu: **Wat. Res. Res. Center**, 1987, p.1-27.
- Smettem, K.R.J.; Parlange, J.Y.; Ross, P.J.; Haverkamp, R. Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. 1. A capillary-based theory. *Water Resources Research*, Washington, v.30, p.2925-2929, 1994.
- Souza, E.S.; Antonino, A.C.D.; Netto, A.M.; Cabral, J.J.S.P.; Angulo-Jaramillo, R.; Roulier, S. Análise do Regime transitório da infiltração tridimensional sob sucção controlada. **Rev. Bras. Rec. Híd.**, Porto Alegre, v.11, n.1, p.5-13, 2006.
- Valentin, C.; Bresson, L.M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.55, p.225-245, 1992.
- Vandervaere, J.-P.; Peugeot, C.; Vauclin, M.; Angulo-Jaramillo, R.; Lebel, T. Estimating hydraulic conductivity of crusted soils using disc infiltrometers and minitensiometers. **Jour. Hyd.**, Amsterdam, v.188-189, p.203-223, 1997.