

RESUMO

Mediante cilindros infiltrômetros duplos, estudou-se o processo de infiltração, nos estágios seco e úmido, num solo podzólico do Campus Experimental do CCA-UFPb, em Areia, Paraíba.

Verificou-se que o solo apresentou altos valores de infiltração instantânea e acumulada, o que está em acordo com as suas propriedades texturais e estruturais. Tanto em solo seco, quanto molhado, a taxa de infiltração foi bem mais rápida nos minutos iniciais do processo. Com efeito, no solo seco se registrou uma taxa de penetração de água da ordem de 117 e 105 cm h⁻¹ aos 2 e 4 minutos de se ter iniciado o processo, respectivamente seguida de uma queda brusca entre 4 e 9 minutos, atingindo um valor de 63,6 cm h⁻¹ neste último tempo. Em virtude da queda observada ser além da esperada para um solo homogêneo, tentou-se encontrar a explicação para este fenômeno em uma possível variação textural entre a camada superficial do solo (0-15) e aquela que está localizado imediatamente abaixo (15-30 cm). A análise mecânica revelou que existe uma diferença textural entre ambas as camadas, com a primeira apresentando 24,92% de argila, enquanto que a de 15-30 cm exibiu um teor de 28,03% desta fração mineral. A presença deste extrato de textura mais fina significou um rápido descenso na taxa de infiltração no momento em que ela foi atingida pela frente de molhamento. Daí em diante, o processo foi governado pela condutividade saturada desta camada que é menor do que a superficial. Uma tendência similar verificou-se no solo molhado, ainda que menos acentuada.

Palavras-chaves: Infiltração de água no solo, retenção de água do solo.

-
- (1) Trabalho subvencionado pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba
 - (2) Professor, Departamento de Solo e Engenharia Rural do CCA/UFPb, Areia-PB
 - (3) Professor Visitante, Departamento de Solos e Engenharia Rural - CCA/UFPb.

ABSTRACT

SOIL-WATER INFILTRATION AND RETENTION CHARACTERISTICS OF A PODZOLIC SOIL FROM AREIA - PB

The infiltration process, under dry and wet conditions, was studied on a podzol soil from the Experiment Station of Agricultural Science Center (CCA) - Federal University of the State of Paraíba, in Areia, PB., by using the double ring infiltrometer method.

High infiltration rates as well as accumulative infiltrations were found for both dry and wet runs, which was in agreement with the textural and structural properties of the soil. The infiltration rate for the dry run was much higher at the beginning of the process than some time later. In fact, values of 117 and 105 cm h^{-1} were recorded during the early stages of infiltration (2 and 4 minutes, respectively) whereas at time 9 minutes the rate of the entry of water into soil dropped to 63 cm h^{-1} . This rather abrupt fall, which was beyond than other wise be expected, was due mainly to the presence of a layer of finer texture below the soil surface. When the wetting front reached this restricted layer, the infiltration rate was immediately reduced and from then on in was governed by its lower saturated permeability. A similar trend was observed during the wet run, although in was not as pronounced.

Key words: Soil-water infiltration, soil-water retention.

INTRODUÇÃO

Uma fase significativa e vital do ciclo hidrológico é a entrada e movimento de água no perfil de solo. Em condições de campo, a infiltração de água de chuva ou de irrigação é um caso geral de água se movimentando em perfis de solos de conteúdo de água e condutividade hidráulica não uniformes. A base para calcular a taxa de infiltração num perfil estratificado tem sido dada por inúmeros pesquisadores (GREEN e AMPT, 1911; KOSTIAKOV, 1932; HORTON, 1940; PHILIP, 1957; HOLTAN, 1961) os quais têm ajudado numa melhor compreensão do fenômeno. Apesar do muito que no presente se sabe acerca do processo de infiltração, ainda permanece o problema mais crítico, isto é, a chuva, bem como as propriedades e condições do solo, variam não apenas verticalmente mas também horizontalmente (SWARTZENDRUBER e HILLEL, 1973), o que dificulta a análise matemática do processo. Resulta, portanto, que propriedades tais como textura, densidade global, porosidade e condutividade hidráulica, diferem de um para outro local no terreno, tornando-se difícil a caracterização do processo em termos macroscópicos. Ainda mais, fatores tais como cobertura vegetal, sistemas de cultivo, manejo do solo e das culturas e conteúdo inicial de água, têm uma influência decisiva nas variações da infiltração, observadas comumente num solo, como demonstraram PAR e BERTAND (1960), FERNANDEZ e WILKINSON (1965), VERMA e TOOGOOD (1969), DELA LIBERA et

alii (1977) e REICHARDT (1978), ao analisarem o movimento da água do solo. Segundo GONZALEZ e GAVANDE (1969), REICHARDT et alii (1976), MILLAR e GOMES (1978) e CAVALCANTE (1978) a capacidade de infiltração, retenção, armazenamento total e água disponível às plantas, é variável para cada solo e num mesmo perfil, conforme a heterogeneidade do mesmo, que é representada pela variação dos parâmetros físicos.

Após o fornecimento de água, a capacidade que tem um solo de reter, armazenar e transmitir água, pode ser analisada e avaliada através da curva característica de umidade, que representa o estado energético da água retida pelo solo (HILLEL, 1970) e que, como na infiltração, depende das características físico-hídricas do solo (ROSE, 1971).

O objetivo do presente trabalho foi analisar a variação da capacidade de armazenamento de água no solo após o processo de infiltração e retenção, levando em conta a variabilidade espacial do sistema poroso.

MATERIAL E MÉTODOS

Em três parcelas situadas num solo latossol (oxissol) do Campo Experimental do CCA/UFPA, em Areia, Paraíba, foi estudado o processo de infiltração, nos estágios seco e úmido, utilizando-se cilindros infiltrômetros duplos. A análise dos dados de infiltração foi realizada através da conhecida equação de KOSTIAKOV (1932). Com a finalidade de caracterizar o solo sob consideração, as seguintes determinações complementares foram realizadas: (a) distribuição das partículas pelos seus tamanhos; (b) densidade global; (c) curva de retenção de água; e (d) conteúdo de matéria orgânica do solo, conforme os procedimentos utilizados por LEITE (1979).

RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

No Quadro 1 e nas Figuras 1 e 2, apresentam-se os valores de infiltração instantânea (cm h^{-1}) e acumulada (cm) do solo. Verifica-se que este solo exibe uma rápida penetração de água, isto é, apresenta condições adequadas de drenagem interna, o que concorda com as suas propriedades texturais e estruturais. Observa-se, também, que a infiltração é bem mais rápida nos primeiros 4 minutos (117 cm h^{-1} nos 2 minutos iniciais e 105 cm h^{-1} nos 2 seguintes) e cai bruscamente, entre os 4 e 9 minutos, para $63,6 \text{ cm h}^{-1}$. Normalmente, espera-se que a taxa de infiltração diminua como o tempo devido a um decréscimo do gradiente de potencial matricial à medida que a água penetra no solo. Com o tempo, porém, o efeito do gradiente do potencial matricial chega a ser desprezível e só continua atuando o potencial gravitacional (condições de saturação que tem um gradiente igual a 1, o que significa uma taxa de fluxo constante - infiltração básica). Neste solo, não obstante, produz-se após os 4 minutos iniciais, como já foi expresso, uma mudança acentuada nos valores de infiltração instantânea que vai além da esperada num perfil isotrópico ou homogêneo. Isto está indicando que há outro fator, além da diminuição do gradiente do potencial matricial, responsável pela drástica queda na taxa de infiltração do solo após os primeiros 4 minutos de se ter iniciado o teste. A resposta para este comportamento do solo, durante o processo da infiltração, estaria na camada subsuperficial que possui característi

cas texturais diferentes do extrato superficial.

QUADRO 1

VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO, INFILTRAÇÃO ACUMULADA E INFILTRAÇÃO BÁSICA

TEMPO ACUMULADO		INFILTRAÇÃO ACUMULADA		VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO			
				INSTANTÂNEA		BÁSICA	
SECO	ÚMIDO	SECO	ÚMIDO	SECO	ÚMIDO	SECO	ÚMIDO
min		cm		cm/h		cm/h	
0	0	-	-	-	-	-	-
2	2	3,9	3,2	117,0	96,0	-	-
4	4	7,2	5,5	105,0	69,0	-	-
9	9	12,5	9,5	63,6	48,0	-	-
14	14	18,0	12,5	62,0	36,0	-	-
24	24	27,9	18,6	59,4	35,6	-	-
34	34	37,7	24,4	58,8	34,8	44,0	23,0
49	54	51,5	35,5	55,2	33,3	-	-
64	74	64,5	46,3	52,0	32,4	-	-
84	104	81,5	59,7	51,0	26,8	-	-
104	134	97,5	73,2	48,0	27,0	-	-
124	-	114,5	-	46,0	-	-	-
144	-	129,2	-	44,1	-	-	-

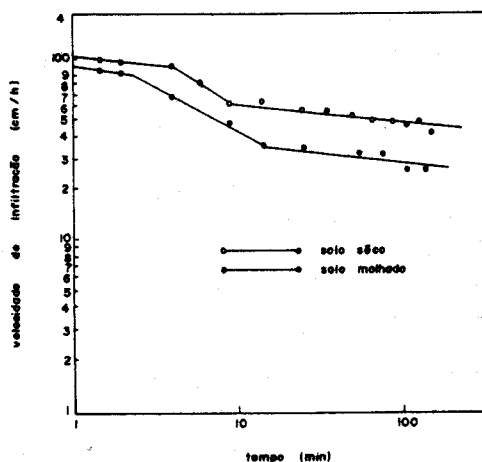


FIGURA 1 - Curvas Representativas da Infiltração Instantânea nos Testes Seco e Úmido

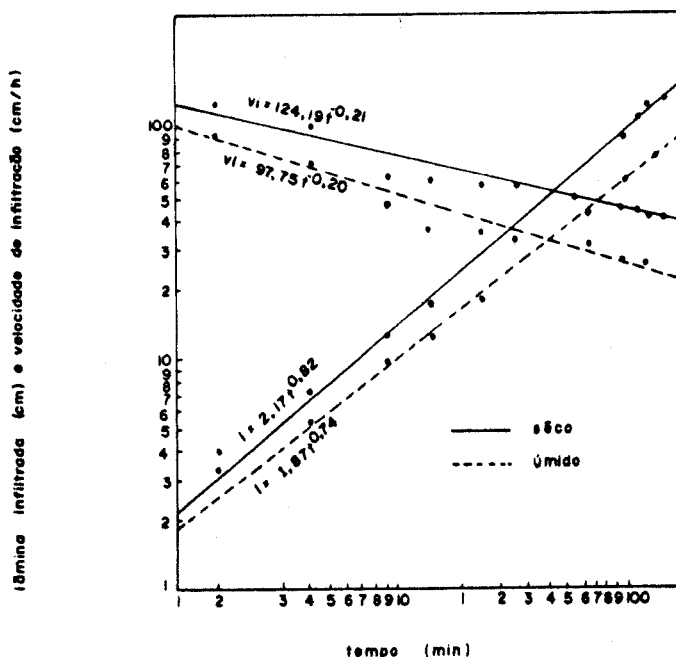


Figura 2 - Distribuição da Infiltração Instantânea (V_i) e Acumulada (I) nos Estados Seco e Úmido

Uma análise da distribuição percentual dos tamanhos das partículas do perfil deste solo, que se mostram no Quadro 2, permite apreciar que existem diferenças na composição granulométrica entre a camada superficial (0 - 15 cm). Com efeito, o conteúdo percentual de areia, limo e argila da primeira é de 69,89%, 5,19% e 24,92%, respectivamente, e na segunda esses teores são, na mesma ordem, de 66,68%; 5,29% e 28,03%. Este último extrato seria, portanto, responsável pela brusca queda na infiltração instantânea apresentada por este solo após os 4 minutos iniciais do processo de infiltração. Este argumento está em perfeito acordo com o encontrado por MILLER e GARDNER (1962) ao demonstrarem que tanto uma camada mais fina quanto uma mais grossa, imediatamente abaixo do extrato superficial, reduz a taxa de infiltração do perfil no instante em que ela é atingida pela frente de molhamento. A diferença entre uma e outra reflete-se nas taxas de infiltração subsequentes. Assim, no caso de frente de molhamento encontrar uma camada arenosa, produz-se uma imediata redução na infiltração mas, rapidamente, quando o potencial matricial cresce com o aumento do conteúdo de água e, conseqüentemente, mais poros se enchem com água, aumenta a permeabilidade e a taxa de infiltração. Quando a camada é de textura mais fina, a infiltração tam

bem cai bruscamente, mas não se recupera como no caso anterior, isto é, continua baixa.

QUADRO 2

VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE GLOBAL, DENSIDADE DAS PARTÍCULAS, MATÉRIA ORGÂNICA, POROSIDADE TOTAL, ARGILA, LIMO E AREIA

PROF. (cm)	DENSIDADE GLOBAL g/cm ³	DENS. PARTÍCULAS g/cm ³	POROSIDADE TOTAL - %	MAT. ORGÂNICA %	ARGILA %	LIMO %	AREIA %
0 - 15	1,48	2,61	43,29	3,56	24,92	5,19	69,89
15 - 30	1,39	2,56	45,70	3,11	28,03	5,29	66,68

Na Figura 1 plotou-se, em escala logarítmica, a velocidade de infiltração em função do tempo, para os testes seco e úmido. Verifica-se que, em ambos os casos, há uma diminuição na taxa de infiltração após os 4 primeiros minutos de se ter iniciado o processo que, apesar de não ser tão rápida nem tão acentuada como a apresentada por MILLER e GARDNER (1962) é produto da existência de um extrato de textura mais fina, como já foi demonstrado, à profundidade de 15 - 30 cm. Aprecia-se, também, que não há uma recuperação visível na taxa de infiltração após a frente de molhamento ter penetrado nessa zona do perfil, o que está indicando que a partir dos 4 minutos o processo é governado pela condutividade hidráulica saturada desse extrato, que é mais baixa que a do solo superficial. O fato da frente de molhamento ter atingido tão rapidamente o extrato de textura mais fina, deve-se à alta permeabilidade do solo superficial, determinada por suas características texturais e estruturais e ao seu baixo conteúdo inicial de umidade (15,24%).

Na Figura 2 mostrou-se as variações da velocidade da infiltração, e da lâmina infiltrada, em função do tempo. A análise dos dados de campo foi feita através da equação de KOSTIAKOV (1932). A partir da tangente da curva de velocidade de infiltração em solo molhado, calculou-se a infiltração básica ou final. Caberia salientar, porém, que, devido à heterogeneidade do solo, como já foi demonstrado, nem a equação da reta nem o valor da infiltração básica reproduz estes parâmetros tal como ocorre no terreno. Com efeito, a primeira corresponde a uma reta que compensa matematicamente pontos que estão distribuídos em três níveis, como se observa na Figura 1, pelo que qualquer valor de infiltração calculado pela equação, como a infiltração básica, estará submetido a uma maior ou menor margem de erros, que dependerá da dispersão dos pontos em torno da reta.

Os valores de água retida a diferentes tensões (0,1 - 15 bar) mostram-se no Quadro 3. As curvas características, que relacionam potencial matricial (Ψ_m) e conteúdo de água, para ambas as profundidades do perfil do solo, apresentam-se na Figura 3. Observa-se que, apesar de exibir uma pequena variação em relação a $\Psi_m - \theta$, ambos seguem uma tendência semelhante, isto é, altos teores de água reti

da a potenciais matriciais entre -0,1 e -1,0 bar, que determinam uma ligeira inclinação da curva nessa faixa, e variações bem mais acentuadas entre -1 e -15 bar. Isto estaria assinalando, mais uma vez, que a maior parte da água retida pelo solo e a potenciais matriciais compreendidos entre -0,1 e -1 bar. Logo de pois, quando se analisa a quantidade de água armazenada entre -0,3 e -15 bar, conclui-se que o solo apresenta, em ambas as profundidades, uma relativa baixa quantidade de água disponível para as plantas, que está limitada principalmente pelos altos valores de umidade a -15 bar (aproximadamente 20%).

QUADRO 3

VALORES DA UMIDADE DO SOLO OBTIDOS EM DIFERENTES TENSÕES

PROF. (cm)	UMIDADE ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)								
	0,10	0,20	0,30	0,50	1,00	3,00	5,00	10,0	15,0
0 - 15	0,331	0,295	0,272	0,258	0,251	0,240	0,235	0,212	0,195
15 - 30	0,401	0,354	0,331	0,293	0,281	0,261	0,252	0,224	0,202

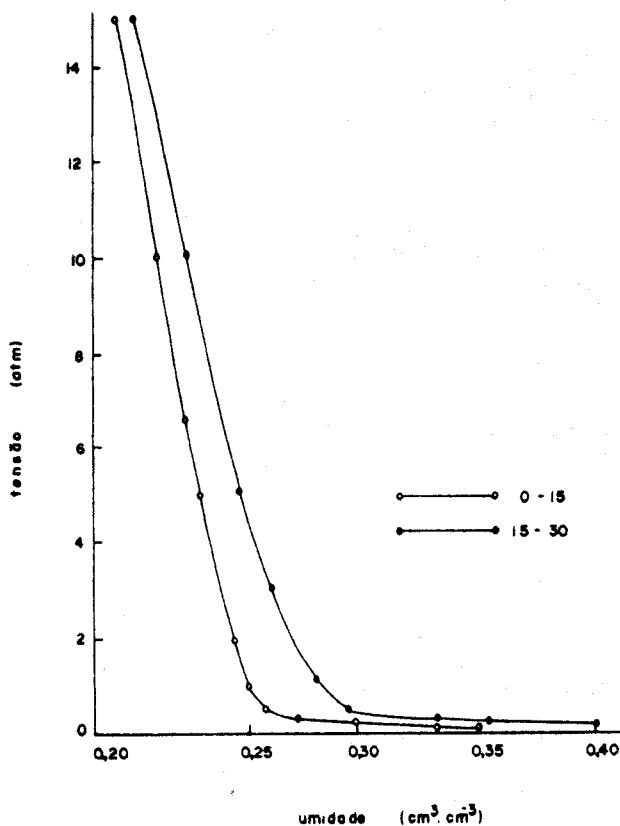


Figura 3 - Curvas de Retenção de Água do Solo nas Profundidades 0 - 15 e 15 - 30 cm

A luz do analisado precedentemente, este solo possuiria uma relativamente alta porosidade gravitacional a altos conteúdos de água que resulta numa rápida movimentação de água, como o demonstra sua alta taxa de infiltração, e uma adequada microporosidade que determinaria, por sua vez, uma alta capacidade de retenção de água. As diferenças observadas entre profundidades são pequenas sendo que o solo sub-superficial apresentou um maior conteúdo de umidade, a todas as pressões aplicadas, o que se deve ao seu maior teor de argila e menor teor de areia, como já foi discutido.

LITERATURA CITADA

- CAVALCANTE, L.F. Determinação da condutividade hidráulica do solo durante a redistribuição de água. Piracicaba - SP., Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1978. (Tese apresentada à ESALQ para obtenção do grau de Mestre)
- DELLA LIBERA, C.L.F.; CORSINI, P.C. & PERECIN, D. Variações na penetrabilidade da água em três perfis de solos. Científica, nº especial: 11-16. 1977.
- FERNANDEZ, B.M. & WILKINSON, G.E. Effect of crop culture on the infiltration of water into a chesnut soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29(6): 784-752. 1965.
- GONZALEZ, M.A. & GAVANDE, S.A. Propriedades físicas de algunos suelos dedicados al cultivo de la caña de azucar em Costa Rica. Revista Interamericana de Ciências Agrícolas. Agricultura Técnica. Turrialba, 19(2): 235-245. 1969.
- GONDIM, A.W.A. Caracterização física do solo do plano piloto de irrigação do Centro de Ciências da Universidade Federal da Paraíba, Areia - PB. C. Grande PB., Universidade Federal da Paraíba, 1978 (Tese apresentada ao CCT/UFPb para obtenção do grau de Mestre).
- GREEN, N.H. & AMPT, G.A. Studies on soil physics: 1. Flow of air water thought soils. J. Agr. Sci., 4: 1-24, 1911.
- HILLEL, D. Solo e água. Fenômenos e princípios físicos. Traduzido pelo convênio UFRS-USAID/WISCONSIN. Publicado pelo Departamento de Solos. UFRS - Porto Alegre. 231 p. 1970.
- HOLTAN, H.N. A concept for irrigation estimates in watershed engineering. U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Serv. Publ. p. 41-51, 1961.
- HORTON, R.E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 5: 399-417, 1940.
- KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of coefficient of water-percolation in soils and on the necessity of studying in from a dynamus point of view for porpuses of amelioratin. Moscow: Trans. 6th Com. Int. Soc. Soil. Sci. Part. A. p. 17-21, 1932.
- LEITE, J.A. Características físicas e fator de erodibilidade de quatro solos representativos do município de S. Mamede - PB. (Tese apresentada ao Centro de Ciências Agrárias da UFPb, para obtenção do grau de Mestre). 1979.
- MILLAR, A.A. & GOMES, D.C.F. Determinação das propriedades hidráulicas de solos aluviais através de descargas de drenos subterrâneos. Revista Brasileira de

Ciência do Solo. 2(2): 90-94, 1978.

- MILLER, D.E. & GARDNER, W.H. Water infiltration into stratified soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26: 115-119, 1962.
- PAR, J.F. & BERTRAND, A.R. Water infiltration into soils. Adv. Agron. 12:311 - 365, 1960.
- PHILLIP, J.R. The theory of infiltration. 1: The infiltration equation and its significance. Soil Soc. Sol. Amer. Proc. 8: 345-357, 1957.
- REICHARDT, K. A água na produção agrícola. Ed. MACGRAW-HILL do Brasil Ltda. 1ª edição 119 p. 1978.
- REICHARDT, K.; GROHMAN, F.; LIBARDI, P.L. & QUEIROZ, S.V. Spatial variability of physical properties of a tropical soil: 1 - Geometric properties. BT - 004 CENA - PIRACICABA - SP. 1976.
- ROSE, D.A. Water movement in dry soils. II. Analyses of hysteresis. J. Soil Sci., 22(4): 490-507, 1971.
- SWARTZENDRUBER, D. & D. HILLEL. The physics of infiltration. in: Physical of soil water and salts in Ecosistens. Ed: A. HADAS et alii. Springer - Verlag, Berlin. Heidelberg - New York. pp. 3-15 (Ecological studies 4) 1973.
- VERMA, T.R. & J.A. TOGOOD. Infiltration rates into soils of the Edmont area and rainfall intensities, Canadian Journal of Soil Science. 49(1): 103 - 109, 1969.