

INFLUÊNCIA DO MÉTODO NA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO⁽¹⁾

L. T. de L. BRITO⁽²⁾, B. T. LOUREIRO⁽³⁾, W. DENICULI⁽³⁾,
M. M. RAMOS⁽³⁾ & J. M. SOARES⁽⁴⁾

RESUMO

A velocidade de infiltração é uma das mais importantes características do solo a ser considerada em irrigação e em estudos hidrológicos, devido à variabilidade espacial e temporal e à influência do método na sua determinação. Neste estudo, desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, MG, de outubro a dezembro de 1992, foram analisados dois métodos de determinação da velocidade de infiltração, usando infiltrômetros de aspersão e de anel, em condições de solo nu e com cobertura morta. Foi empregado o modelo de regressão não linear para estimar os parâmetros das equações dessa velocidade. As obtidas com o infiltrômetro de anel foram superiores às do infiltrômetro de aspersão. Com esses resultados, procurou-se estabelecer uma correlação entre os dados da velocidade de infiltração obtidos com o infiltrômetro de aspersão e os do infiltrômetro de anel, visando subsidiar um manejo adequado da água de irrigação.

Termos de indexação: infiltrômetros, irrigação por aspersão, simulador de chuva.

SUMMARY: INFLUENCE OF THE METHOD ON THE ESTIMATION OF AVERAGE INFILTRATION RATE

Infiltration rate is one of the most important parameter to be considered in irrigation and in hydrological studies due to variability in time and in space and to the influence of the methodology on its estimation. Methods for estimating infiltration rate were studied using rain simulator and cylinder infiltrometer in uncovered soil and with mulch. The experiment was carried at the Universidade Federal de Viçosa, Brazil, between October and December of 1992. A non-linear regression model was adopted in order to estimate the parameters of the infiltration rate equation. The equations were adjusted and the methods of estimation were correlated. These equations can be used in designing and managing sprinkler irrigation projects.

Index terms: infiltrometers, sprinkler irrigation, surface seal, rain simulator.

INTRODUÇÃO

Conhecer as características de infiltração de um solo é fundamental na definição de práticas hidroló-

gicas e no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação. Naqueles por aspersão, a velocidade de infiltração determina a intensidade de precipitação máxima que pode ser aplicada ao solo.

(1) Parte da tese apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do título "Magister Scientiae" em Engenharia Agrícola. Recebido para publicação em maio de 1995 e aprovado em setembro de 1996.

(2) Engenheiro-Agrícola, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, CPATSA-EMBRAPA, Caixa Postal 23, CEP 56300-000 Petrolina (PE).

(3) Engenheiro-Agrônomo, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, CEP 36570-000 Viçosa (MG).

(4) Engenheiro-Agrônomo, CPATSA-EMBRAPA. Petrolina (PE).

A velocidade de infiltração é uma das características mais importantes que afetam a irrigação em todas as suas fases e, conseqüentemente, o desempenho do sistema. É, também, uma das mais difíceis de medir no campo, por causa de sua variabilidade espacial e temporal, porque não depende apenas das características do solo e da água (Daker, 1970; Skogerboe & Walker, 1987).

Vários são os métodos de determinação da velocidade de infiltração. Sua escolha vai depender, principalmente, do método de irrigação a ser usado. Segundo Parr & Bertrand (1960), os infiltrômetros de anel são os instrumentos mais usados na determinação da velocidade de infiltração, não só por serem os mais simples como, também, pelo seu fácil manuseio no campo. Entretanto, sua eficiência depende de uma série de fatores, que, por sua vez, dependem do seu manuseio.

Chu (1986) enfoca que os infiltrômetros de aspersão raramente são usados na determinação dos parâmetros das equações de infiltração, em virtude da formação de uma camada compactada superficialmente, em conseqüência do impacto da gota de chuva, e do período inicial da chuva, em que toda a água aplicada infiltra.

Diante da grande variabilidade que ocorre na velocidade de infiltração, neste trabalho, procurou-se determinar as velocidades de infiltração, usando um infiltrômetro de aspersão, tipo simulador de chuvas, com diferentes intensidades de precipitação, e um de anel, em solo nu e com cobertura morta, visando auxiliar nas soluções de problemas relativos ao manejo da irrigação e nas práticas conservacionistas de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), em um solo classificado como podzólico vermelho-amarelo, com textura argilosa. Outras características do solo encontram-se no quadro 1. A área com declividade média de 7,8% foi preparada com uma grade de

arrasto e com enxada manual, delimitando-se as parcelas com 2 x 1 m.

Os tratamentos constaram de três intensidades de precipitação, P1, P2 e P3, aplicadas por um simulador de chuvas, e do método do infiltrômetro de anel. Em ambos, determinaram-se as velocidades de infiltração em condições de solo nu e com cobertura morta, utilizando-se nesta cobertura capim seco (*Melinas minutiflora*), com 0,15 m de altura, correspondendo a 7,5 t ha⁻¹ de capim seco, que foi uniformemente espalhado sobre a superfície.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com arranjo em faixas, com três repetições. O simulador de chuvas foi o modelo da Universidade de Nebraska (EUA), equipado com bocais tipo "Vee-Jet 80100".

No simulador de chuvas foram usados dez bocais abertos, com uma pressão de água e velocidade de rotação constantes de 10 mca e 5 rpm respectivamente. Para ajustar a pressão da água, empregaram-se manômetro de mercúrio e válvula de gaveta.

Antes de cada teste de infiltração, coletaram-se três amostras de solo para determinação da umidade, a 0,20 m das parcelas, nas camadas de 0 a 0,20; 0,20 a 0,40; 0,40 a 0,60 e 0,60 a 0,80 m.

No método do infiltrômetro de aspersão, utilizando-se o simulador de chuvas, a coleta da água escoada foi feita por meio de mangotes conectados às parcelas, em intervalos de tempo de 2, 5, 10 e 15 minutos, com cinco repetições em cada intervalo e, finalmente até que o escoamento superficial se tornasse constante em cada parcela. Simultaneamente aos testes, determinaram-se as intensidades de precipitação, utilizando-se coletores nas extremidades das parcelas.

No método do infiltrômetro de anel, foram usados três conjuntos de infiltrômetros em determinações simultâneas, seguindo-se as recomendações de Bernardo (1989).

A velocidade de infiltração instantânea (VI) foi estimada pela equação 1, a partir da precipitação aplicada pelo simulador de chuvas, convertida em lâmina de água. A velocidade de infiltração foi determinada pelo modelo do tipo de Horton (1940), apresentado pela equação 2.

Quadro 1. Classificação textural, densidade aparente (Da), densidade real (Dr) e porosidade total para o perfil do solo estudado. Média de três repetições

Camada	Horizonte	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Da	Dr	Porosidade total	Classe textural
cm		g kg ⁻¹				— kg dm ⁻³ —		m ³ m ⁻³	
0-20	Ap	390	160	170	280	1,41	2,48	0,43	Franco-argiloso
21-27	A1	170	190	150	490	1,27	2,31	0,45	Argiloso
28-44	Ba	130	190	120	560	1,26	2,42	0,48	Argiloso
45-79	Bt	100	140	110	650	1,14	2,35	0,51	Muito argiloso
80-102	2BC1	200	220	140	440	1,32	2,49	0,47	Argiloso
103-142	3BC2	50	270	200	480	1,10	2,35	0,53	Argiloso

$$VI = P - ES \quad (1)$$

onde:

VI = velocidade de infiltração instantânea, m h⁻¹;

P = precipitação, m h⁻¹;

Es = escoamento superficial, m h⁻¹.

$$VI = (VI_i - VIB) e^{-kt} + VIB \quad (2)$$

onde:

VI_i = velocidade de infiltração inicial, m h⁻¹;

VIB = velocidade de infiltração básica ou final, m h⁻¹;

e = base do logaritmo neperiano;

t = tempo decorrido a partir do início da chuva, h;

k = constante empírica para cada tipo de solo, h⁻¹.

A velocidade de infiltração básica (VIB) foi obtida no final de cada teste, e os parâmetros VI_i e k, estimados pelo método de Gauss-Newton, partindo-se de estimativas desses parâmetros, no processo iterativo, até que a equação 2 se tornasse nula. Foi utilizado o método de regressão não linear do programa computacional SAEG (Sistema de Análises Estatística e Genética). Esse método foi o que apresentou a melhor correlação entre os dados observados e estimados, reportados por Morim & Benyamini (1977), Ben-Hur et al. (1987) e Flanagan et al. (1988).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de infiltração foram realizados com o solo, aproximadamente, com a mesma umidade inicial (Quadro 2), não inferindo, portanto, na sua velocidade de infiltração.

Quadro 2. Umidade média do solo no início dos testes de infiltração

Camada	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
cm	kg kg ⁻¹				
0-20	0,2855	0,2424	0,3014	0,3016	0,2827
20-40	0,3037	0,2926	0,2873	0,2935	0,2943
40-60	0,2925	0,3024	0,3091	0,2936	0,2994
60-80	0,3017	0,3124	0,3143	0,2936	0,3055

As intensidades de precipitação médias, obtidas com o simulador de chuvas para as parcelas em condições de solo nu foram 76,8, 57,4 e 34,5 mm h⁻¹, e com cobertura morta foram 90,2, 66,2 e 44,8 mm h⁻¹, observando-se grandes variações nas intensidades de precipitação. Essas variações também foram detectadas por Valente (1975), estudando uniformidade de distribuição em condições de chuva simulada.

O tempo de início de escoamento, em cada parcela, foi muito variável, até mesmo entre as repetições, por causa da variabilidade da intensidade de precipitação, e, também, devido às diferenças de retenção de água na superfície. Logo, os volumes escoados em cada duas repetições foram defasados, em relação à repetição que teve o maior tempo, desde o início da chuva ao início do escoamento, permitindo, assim, um volume médio escoado para cada tratamento.

Para a infiltração determinada pelo simulador, o tempo de início da chuva é muito importante, pois, já a partir deste momento começa o processo de infiltração, visto que, nesse período, toda a água precipitada se infiltra (Chu, 1986). Além disso, por ser uma função exponencial do tempo, a velocidade de infiltração não começa com um valor constante, correspondendo à precipitação. Com base nessas considerações, as curvas de velocidade de infiltração foram determinadas, a partir do início do escoamento superficial.

Valores da velocidade de infiltração obtidos com o simulador de chuvas e com o infiltrômetro de anel, sob condições de solo nu e de solo com cobertura morta, mostram que ocorreram variações na velocidade de infiltração básica (VIB), com os métodos estudados. Isso se deve, provavelmente, à variação espacial das parcelas, como observado por Skogerboe & Walker (1987) e Flanagan et al. (1988). Mesmo assim, nos dois métodos, os coeficientes de determinação (R²) foram elevados, significando um bom ajustamento entre os dados observados e estimados (Figuras 1 e 2).

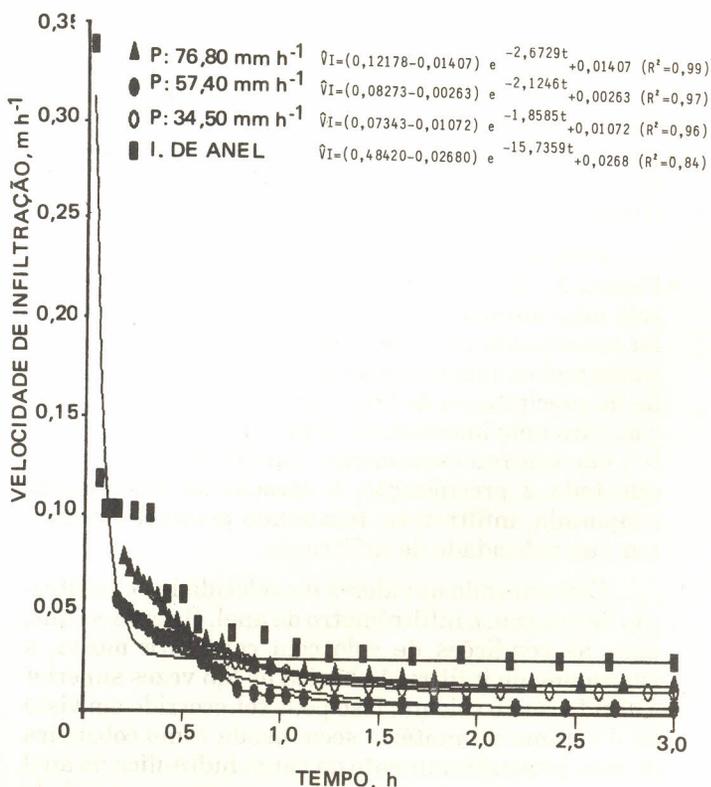


Figura 1. Curvas de velocidade de infiltração (m h⁻¹), obtidas com o simulador de chuvas, para diferentes precipitações (mm h⁻¹) e infiltrômetro de anel para solo nu, em função do tempo.

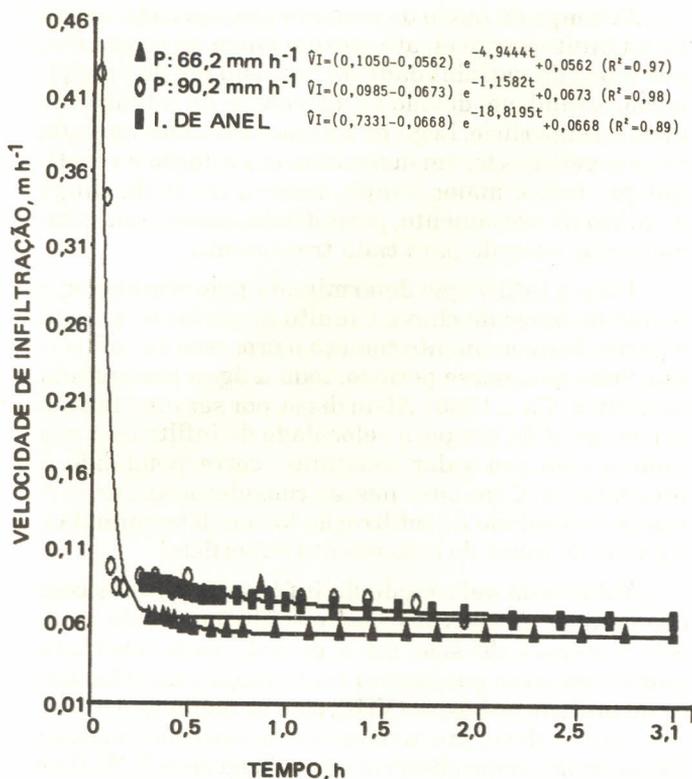


Figura 2. Curvas de velocidade de infiltração (m h⁻¹), obtidas com o simulador de chuvas, para diferentes precipitações (mm h⁻¹) e infilômetro de anel para solo com cobertura morta, em função do tempo.

Com relação ao método do simulador de chuvas, os valores da VIB, obtidos sob condições de solo nu, foram próximos uns dos outros e sempre inferiores aos do infilômetro de anel (Figura 1), corroborando com os resultados encontrados por Musgrave & Holtan (1964), Franco (1980) e Ben-Hur et al. (1987).

Para as condições de solo com cobertura morta-Figura 2 - a velocidade de infiltração básica, obtida com uma intensidade de precipitação de 90,2 mm h⁻¹, foi semelhante ao valor com o infilômetro de anel, sendo ambos superiores ao obtido com uma intensidade de precipitação de 66,2 mm h⁻¹. Na mesma condição, para uma intensidade de precipitação de 44,8 mm h⁻¹, não ocorreu escoamento superficial, significando que toda a precipitação, à exceção da componente evaporada, infiltrou-se, não sendo possível determinar sua velocidade de infiltração.

Comparando os valores da velocidade de infiltração básica com o infilômetro de anel, observa-se que, para as condições de solo com cobertura morta, a velocidade de infiltração básica foi 2,5 vezes superior à obtida com o solo nu. Isso pode ter ocorrido em vista de o volume da matéria seca, usada como cobertura do solo, provocar aumento da carga hidráulica no anel interno, e, conseqüentemente, aumentar a velocidade de infiltração, como afirmado por Daker (1970).

Observa-se, nas figuras 1 e 2, que a intensidade de precipitação influenciou a velocidade de infiltração,

provavelmente porque maiores precipitações tenham causado desagregações na microestrutura do solo estudado, influenciando na velocidade de infiltração. Resultados semelhantes foram encontrados por Moldenhauer et al. (1961) e Hawkins (1982).

Para obtenção de valores de velocidade de infiltração mais coerentes com o método de irrigação por aspersão, visando a um manejo racional da água de irrigação, estabeleceram-se correlações dos valores obtidos, a partir das equações ajustadas, do infilômetro de anel (VIBa), considerada variável independente, com os valores obtidos com o simulador de chuvas (VIBs), como variável dependente. O modelo de regressão que apresentou a melhor correlação foi o logarítmico. O quadro 3 apresenta as equações com seus respectivos coeficientes de correlação.

Neste sentido, também se correlacionaram os valores da velocidade de infiltração em condições de solo nu (VIBn), como variável independente, e em solo com cobertura morta (VIBc), como variável dependente. Esses resultados se encontram no quadro 4 (VIBc), com seus respectivos coeficientes de correlação.

Quadro 3. Equações de regressão e coeficientes de correlação (r) estimados entre velocidades de infiltração em m h⁻¹, obtidos com simulador de chuvas (VIBs) e com infilômetro de anel (VIBa) para solo nu e solo com cobertura morta

Precipitação	Equações	r
mm h ⁻¹ Solo nu		
76,8	VIBs = 0,18 + 0,04 lnVIBa	0,88
57,4	VIBs = 0,13 + 0,03 lnVIBa	0,86
34,5	VIBs = 0,21 + 0,03 lnVIBa	0,84
Solo com cobertura morta		
90,2	VIBs = 0,21 + 0,04 lnVIBa	0,71
66,2	VIBs = 0,12 + 0,02 lnVIBa	0,94

Quadro 4. Equações de regressão e coeficientes de correlação (r) estimados entre velocidades de infiltração obtidas em solo com cobertura morta (VIBc), e em solo nu (VIBn), a partir do simulador e do infilômetro de anel

Precipitação		Equações	r
Solo com cobertura morta	Solo nu		
mm h ⁻¹		m h ⁻¹	
Simulador de chuvas			
90,2	76,8	VIBc = 66,9086 + 0,3945 VIBn	0,99
	57,4	VIBc = 70,0535 + 0,4652 VIBn	0,97
	34,5	VIBc = 64,5429 + 0,5596 VIBn	0,99
66,2	76,8	VIBc = 52,1620 + 0,2134 VIBn	0,89
	57,4	VIBc = 54,0075 + 0,2487 VIBn	0,81
	34,5	VIBc = 51,2735 + 0,2914 VIBn	0,92
Infilômetro de anel		VIBc = 8,5706 + 1,0206 VIBn	0,92

CONCLUSÕES

1. Os valores da velocidade de infiltração obtidos com o infiltrômetro de aspersão foram inferiores aos do infiltrômetro de anel.

2. A partir da velocidade de infiltração básica, determinada com infiltrômetro de anel, pôde-se estimá-la para condições de irrigação por aspersão.

3. A partir da velocidade de infiltração básica, determinada em condições de solo nu, pode-se estimá-la para as condições de solo com cobertura.

LITERATURA CITADA

- BEN-HUR, M.; SHAINBERG, I. & MORIN, J. Variability of infiltration in a field with surface-sealed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51(5):1299-1302, 1987.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5.ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596p.
- CHU, S. T. Determination of Green-Ampt parameters using a sprinkler infiltrometer. *Trans. ASAE*, Michigan, 29(2):501-504, 1986.
- DAKER, A. A água na agricultura: irrigação e drenagem. 3.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1970. v. 3, 453p.
- FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R. & MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. *Trans. ASAE*, Michigan, 31(2):414-420, 1988.
- FRANCO, M.R. Estudos de correlação entre determinação da capacidade de infiltração de solos, com auxílio de um simulador-de-chuva-infiltrômetro e infiltrômetro de anéis concêntricos. Piracicaba, ESALQ, 1980. 102p. (Tese de Mestrado)
- HAWKINS, R. H. Interpretations of source area variability in rainfall-runoff relations. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RAINFALL-RUNOFF MODELING, Mississippi, 1981, Proceedings. Littleton, Colorado, Water Resources, 1982. p.303-321.
- HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Morgantown, 5:399-417, 1940.
- MOLDENHAUER, W. C.; BURROWS, W.C. & SWARTZEN-DRUBER, D. Influence of rainstorm characteristics on infiltration measurements. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7., 1960, Madison, Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v. 1, p.426-432.
- MORIM, J. & BENYAMINI, Y. Rainfall infiltration into bare soils. *Water Resour. Res.*, Washington, 13(5):813-817, 1977.
- MUSGRAVE, G.W. & HOLTAN, H.N. Infiltration. Handbook of applied hydrology. In: CHOW, W.T., ed. New York, McGraw-Hill, 1964. p.12-30.
- PARR, J. F. & BERTRAND, A. R. Water infiltration into soils. *Adv. Agron.*, New York, 12:311-342, 1960.
- SKOGERBOE, G. V. & WALKER, W. R. Teoría y práctica del riego por superficie. Logan, International Irrigation Center, 1987. 459p.
- VALENTE, O. F. Intensidades e uniformidades de distribuição de precipitações produzidas por um simulador de chuvas rotativo. Viçosa, UFV, 1975. 36p. (Tese de Mestrado)