

RELAÇÕES ÁGUA-SOLO-PLANTA-ATMOSFERA

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO: PARTE I INFILTRÔMETRO DE ANÉIS VERSUS INFILTRÔMETRO DE ASPERSORES

Rubens Duarte Coelho¹, Jarbas Honorio de Miranda² & Sergio Nascimento Duarte³

RESUMO

O presente experimento teve como objetivo comparar valores de velocidade de infiltração de água no solo, determinados por duas metodologias distintas: infiltrômetro de anéis concêntricos (IANC) e infiltrômetro de aspersores (IAS). Em uma parcela de controle com dimensões de 12 x 12 m obtiveram-se, pela metodologia do IANC, 36 curvas de infiltração de água no solo e a velocidade básica de infiltração de água nesta área, através da metodologia do IAS. Comparando-se os resultados obtidos em ambas as metodologias, constatou-se que a média aritmética dos valores obtidos pela metodologia do IANC superestimou a velocidade de infiltração de água no solo, obtida pela metodologia do IAS, e que somente os valores da média geométrica e da moda obtidas com o IANC se aproximaram da velocidade de infiltração obtida com o IAS.

Palavras-chave: irrigação, aspersão, infiltração, velocidade básica

WATER INFILTRATION IN THE SOIL: PART I CYLINDER INFILTRMETER VERSUS SPRINKLER INFILTRMETER

ABSTRACT

The objective of this paper was to compare values of water infiltration rate in soil, obtained with two distinct methodologies: cylinder infiltrometer and sprinkler infiltrometer. Thirty six infiltration rate curves were obtained using the cylinder infiltrometer methodology and four infiltration rate curves using a sprinkler infiltrometer. It was observed that the arithmetic mean of results from the cylinder infiltrometer methodology obtained overestimated the infiltration rate obtained with sprinkler infiltrometer and that the geometric mean and mode of the results obtained with cylinder infiltrometer approached the velocity of infiltration of water in soil obtained with the sprinkler infiltrometer.

Key words: irrigation, sprinkle, infiltration rate, basic velocity

Recebido em 25/06/1999, Protocolo 069/99

¹ Professor Doutor do Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, CP 09, CEP 13418 - 900, Piracicaba, SP. Fone: (0xx19) 429 4217, Fax: (0xx19) 433 0934. E-mail: rdcoelho@carpa.ciagri.usp.br

² Doutorando em Irrigação e Drenagem, DER-ESALQ/USP, Bolsista CNPq. E-mail: jhmirand@carpa.ciagri.usp.br

³ Professor Doutor, DER-ESALQ/USP. E-mail: snduarte@carpa.ciagri.usp.br

INTRODUÇÃO

A quantificação da velocidade de infiltração da água no solo, em projetos de irrigação por aspersão, tem como objetivo estabelecer a taxa máxima de aplicação de água dos aspersores que serão instalados no campo, para que não ocorram perdas por escoamento superficial. Cuenca (1989) sugere que, para solos de textura argilosa com declividade entre 5 e 8% (similar ao solo testado neste trabalho) a taxa de aplicação máxima de sistemas de irrigação por aspersão esteja entre 3,0 e 6,0 mm h⁻¹.

A infiltração de água no solo pode ser determinada por diversas metodologias, dentre as quais se destacam: o infiltrômetro de anéis concêntricos (IANC) e o infiltrômetro de aspersores (IAS). A escolha da metodologia depende do sistema de irrigação a ser utilizado e, segundo Bower (1986) o infiltrômetro de anéis concêntricos não deve ser utilizado em sistemas de irrigação por aspersão, sendo mais recomendado, neste caso, o infiltrômetro de aspersores. Coelho et al. (1992) estudando a variabilidade espacial das equações de infiltração de água no solo pelo método do IANC, concluíram que esta metodologia, apesar de sua praticidade e portabilidade, poderia comprometer a operação de um sistema de irrigação que viesse a ser dimensionado, levando-se em consideração a elevada velocidade de infiltração básica obtida em alguns ensaios.

Diante deste aspecto é importante o estudo de novas metodologias para a determinação da velocidade de infiltração básica. Vieira (1977) comenta que a metodologia do aspersor de Tovey apresentou uma adequada aproximação da velocidade real de infiltração básica da água no solo, em sistemas de irrigação por aspersão.

Costa et al. (1999) comparam os resultados obtidos na determinação da capacidade de infiltração de água de um solo Latossolo-Roxo distrófico, na região de Lavras, MG, pelas metodologias do infiltrômetro de anéis concêntricos e simulador de chuvas; a velocidade básica de infiltração na média de três repetições de cada metodologia, indicou valores de 21,90 mm h⁻¹ para o simulador de chuvas e de 47,22 mm h⁻¹ para os anéis de infiltração, concluindo-se que o valor da capacidade de infiltração determinada pelo simulador de chuvas é menor que o obtido com os anéis de infiltração, devido à ação combinada da chuva e do escoamento superficial, sugerindo o emprego do simulador de chuvas para projetos de irrigação por aspersão.

Ante os resultados obtidos pelas metodologias aplicadas, um dos aspectos mais importantes refere-se à representatividade da área em estudo, caso em que a análise estatística é de suma importância para auxiliar na tomada de decisão a respeito do valor mais representativo da área. Sharma et al. (1980) em um estudo conduzido em 26 pontos de uma área de 9,6 ha, concluíram que a média harmônica e a média geométrica dos dados foram os melhores indicadores da velocidade de infiltração real na área. A média aritmética dos valores de infiltração não se apresentou como uma boa estimativa.

Tendo em vista esses aspectos, o objetivo do presente trabalho foi comparar as metodologias de determinação da velocidade de infiltração básica pelos métodos do IANC (com alta densidade de amostragem) e IAS, sob diferentes intensidades de aplicação, visando-se determinar um valor representativo da velocidade de infiltração para aplicação em projetos de irrigação por aspersão.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, em uma parcela com dimensões de 12 x 12 m, localizada em um solo classificado como Terra-Roxa Estruturada, Série "Luiz de Queiroz", freqüentemente explorado com atividades agrícolas tradicionais, apresentando a seguinte composição granulométrica na camada de 0 a 15 cm de profundidade: 40,85% de areia, 11,59% de silte e 47,56% de argila. A superfície do solo apresentava-se isenta de vegetação, em decorrência de uma gradagem leve realizada e da aplicação posterior do herbicida glifosato em bomba costal, na sementeira das ervas daninhas emergentes, com 40 dias de antecedência ao início dos ensaios, período este em que ocorreu a acomodação natural da camada superficial do solo induzida por duas precipitações naturais de baixa intensidade (18 e 29 mm) verificadas no período.

O experimento foi realizado em duas etapas distintas: na primeira, a área experimental foi dividida em 36 subparcelas de 2 x 2 m, sendo que na região central de cada uma realizou-se um teste de infiltração de água no solo, pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos. Visando-se obter maior precisão nas leituras e maior praticidade na condução desses ensaios de campo com o IANC, desenvolveu-se um sistema automático de recarga de água no interior dos anéis, de modo a evitar indesejáveis variações do nível de água e ampliar a escala de leitura da lâmina infiltrada.

O sistema automático de controle do nível de água do IANC, baseou-se em um mecanismo válvula-haste-bóia. Não foi possível obter-se um sistema de controle do nível de água que operasse de maneira eficiente em diversas taxas de infiltração de água no solo; sendo assim, optou-se por um sistema de boa performance em médias e baixas taxas de infiltração, o que diminuiu a precisão das leituras iniciais dos ensaios. O anel interno foi conectado a um recipiente volumétrico de forma cilíndrica, cujo nível se visualizava externamente, sobre uma escala milimétrica. A relação de áreas entre o anel interno e a coluna de água, ampliava a escala de leitura em 4 vezes. O anel externo (bordadura) era abastecido por um sistema similar e, no início de cada teste de infiltração com o IANC, coletaram-se duas amostras de solo próximo ao anel externo (trado de rosca) com a finalidade de quantificar a umidade gravimétrica do solo, nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm.

Com os resultados obtidos no decorrer dos ensaios, da lâmina de água acumulada no solo (I) em função do tempo de ensaio (t) obtiveram-se, por regressão, os parâmetros (k e n) da equação de Kostiaikov ($I = k \cdot t^n$). A taxa de infiltração da água no solo ($VI = k' \cdot t^n$) foi obtida derivando-se a equação da lâmina acumulada em relação ao tempo ($VI = dI/dt$).

Na segunda etapa do experimento determinou-se a velocidade de infiltração de água no solo, pelo infiltrômetro do tipo aspersor, operando-se em diversas taxas de precipitação. A Figura 1 apresenta, esquematicamente, o infiltrômetro tipo aspersor, destacando-se a disposição dos quatro aspersores em cada um dos cantos da área e a localização do coletor de escoamento superficial na posição inferior da mesma. Este sistema possibilitou a determinação da velocidade de infiltração de água no solo pela diferença entre a lâmina útil aplicada pelos aspersores e a lâmina escoada pelo coletor de escoamento superficial.

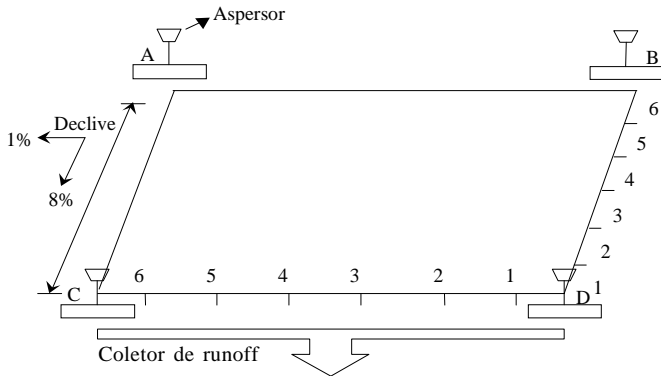


Figura 1. Esquema do infiltrômetro do tipo aspersor

O infiltrômetro tipo aspersor idealizado foi operado com quatro taxas distintas de aplicação de água: 5,69, 11,38, 22,77 e 48,04 mm h⁻¹. Nas quatro taxas de aplicação de água avaliadas, procurou-se manter constante a distribuição dos diâmetros de gotas do jato de água, utilizando-se sempre o mesmo diâmetro de bocal e pressão de operação dos aspersores.

Para variar a taxa de aplicação de água do infiltrômetro tipo aspersor sem ocasionar interferência na distribuição dos diâmetros de gotas, foi necessário utilizar-se aspersores setoriais na área de ensaio. O aspersor escolhido foi, inicialmente, o da marca Asbrasil, modelo ZAS 30, bocal de 3,8 mm, operando a uma pressão de 250 kPa e apresentando alcance de 11,9 m.

As intensidades de precipitação de 5,69, 11,38 e 22,77 mm h⁻¹, foram obtidas com a regulagem setorial do aspersor ZAS 30 em 360, 180 e 90° de abertura respectivamente. A maior taxa de aplicação de água (48,04 mm h⁻¹) somente foi alcançada com a operação simultânea de dois aspersores em cada posição.

Na operação simultânea de dois aspersores com setoriais de 90° de abertura, o mecanismo de reversão do modelo ZAS 30 desviava uma razoável quantidade de água para próximo dos aspersores, o que prejudicava a uniformidade dos ensaios realizados (CUC < 80%). Sendo assim combinou-se, em cada extremidade da parcela experimental, um aspersor ZAS 30 com um aspersor de fabricação israelense, que apresentava o mecanismo de reversão mais eficiente. O aspersor utilizado foi o da marca LEGO, modelo 55, com bocal de 4,0 mm, operando a uma pressão de 250 kPa.

Os ensaios foram realizados seqüencialmente do menor para o maior valor de intensidades de precipitação minimizando, assim, a formação de canais preferenciais de escoamento de água, que viessem a aumentar o deflúvio superficial em baixas intensidades de precipitação. Os ensaios eram iniciados quando a umidade gravimétrica do solo, com base em peso seco determinada em 6 amostras de solo coletado com trado atingia o valor médio de umidade observado nos ensaios com o IANC (0,16 a 0,20 g_{água}/g_{solo}) entre 0 e 40 cm de profundidade. A taxa de escoamento superficial foi quantificado por um recipiente graduado e um cronômetro de precisão, decorridos 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 e 480 min do início do ensaio.

Pelo fato do infiltrômetro de aspersores simular a condição real de precipitação na área estudada, considerou-se a taxa de infiltração estabilizada, assim obtida como sendo a velocidade de infiltração básica no solo (VIB). Em cada intensidade de precipitação ensaiada realizou-se um ensaio de uniformidade de aplicação de água, com coletores espaçados 2 x 2 m, obtendo-se

o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen. A taxa líquida de aplicação de água foi estimada calculando-se a vazão dos aspersores com base na pressão de serviço e considerando-se a eficiência de aplicação de 90%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se as hidrógrafas do escoamento superficial obtidas para as diferentes taxas de aplicação de água no infiltrômetro de aspersores, observou-se que, no tempo acumulado de ensaio de 240 min, todas as taxas de aplicação apresentaram estabilização na taxa de escoamento superficial, indicando que a velocidade de infiltração básica (VIB) foi atingida a partir desse tempo; sendo assim, tomou-se como referência o tempo de 240 min para apresentação dos resultados obtidos. Não foi objetivo deste trabalho a determinação da lâmina total infiltrada na área (integração das hidrógrafas de escoamento superficial) mas somente a quantificação da máxima taxa de aplicação de água compatível com o sistema portátil de aspersão (VIB).

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de isovelocidade de infiltração na área experimental, decorridos 240 min do início da aplicação de água, obtidas a partir de 36 ensaios realizados, com base na metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos. Observando-se esta figura, verifica-se que houve acentuada variabilidade espacial da velocidade de infiltração, indicando que em alguns pontos do terreno o valor de VIB era bem superior à média dos pontos vizinhos.

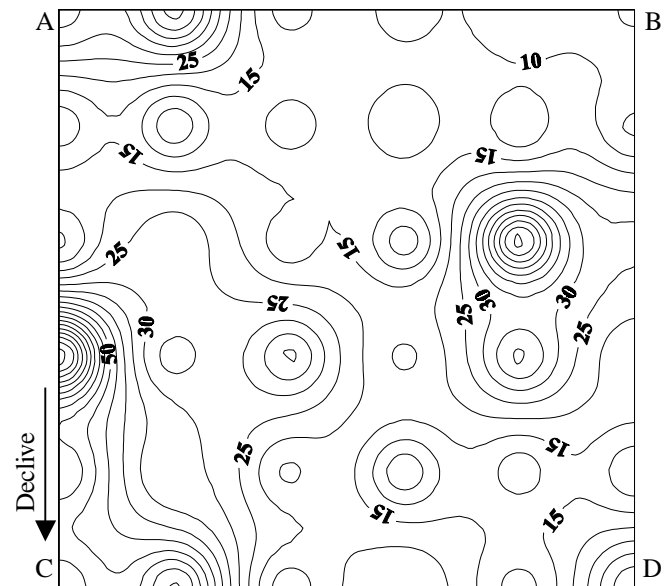


Figura 2. Curvas de isovelocidade de infiltração da água no solo (mm h⁻¹) na área experimental, obtidas com o infiltrômetro de anéis concêntricos (IANC) decorridos 240 min de ensaio

Com os dados obtidos nos 36 ensaios realizados com o IANC obteve-se, para cada um deles, os parâmetros da equação da taxa (velocidade) de infiltração da água no solo ($VI = k' \cdot t^n$) derivando-se a equação da lâmina acumulada em relação ao tempo. Na Tabela 1 são apresentados os coeficientes obtidos nas diferentes coordenadas amostradas, juntamente com os valores de umidade gravimétrica inicial do solo e com as taxas de infiltração nos tempos de 30, 60 e 240 min de ensaio. Os valores

Tabela 1. Coordenadas cartesianas dos pontos amostrados no terreno com a metodologia do IANC, umidade gravimétrica inicial do solo, parâmetros da equação de Kostiakov e taxas de infiltração nos tempos de 30, 60 e 240 min de ensaio

Coordenadas do Ponto m (x, y)	Umidade Inicial do Solo (g g ⁻¹)		Parâmetros da Equação: VI = k' . t ^{n'}			Taxa de Infiltração (mm h ⁻¹)		
	0 – 20 cm	20 – 40 cm	n' (VI)	k' (VI)	R ²	30 min	60 min	240 min
(1,1)	0,13	0,18	-0,073	59,12	0,992	46,09	43,81	39,58
(1,3)	0,14	0,18	-0,210	27,84	0,989	13,62	11,77	8,79
(1,5)	0,14	0,17	-0,307	138,41	0,994	48,71	39,37	25,73
(1,7)	0,15	0,19	-0,406	119,85	0,984	30,11	22,72	12,94
(1,9)	0,16	0,18	-0,084	104,61	0,995	78,61	74,16	66,00
(1,11)	0,15	0,21	-0,111	109,87	0,993	75,20	69,61	59,64
(3,1)	0,15	0,20	-0,147	14,34	0,982	8,70	7,86	6,41
(3,3)	0,13	0,19	-0,280	36,77	0,997	14,19	11,69	7,93
(3,5)	0,14	0,17	-0,665	50,83	0,939	5,28	3,33	1,32
(3,7)	0,15	0,18	-0,191	42,58	0,997	22,20	19,44	14,91
(3,9)	0,15	0,18	-0,300	158,78	0,993	57,28	46,49	30,67
(3,11)	0,14	0,15	-0,048	78,65	0,997	66,60	64,38	60,16
(5,1)	0,15	0,19	-0,220	54,65	0,986	25,82	22,16	16,33
(5,3)	0,11	0,18	-0,056	56,83	0,995	46,97	45,16	41,80
(5,5)	0,12	0,19	-0,226	46,25	0,999	22,83	19,52	14,27
(5,7)	0,17	0,21	-0,122	80,42	0,997	52,96	48,64	41,03
(5,9)	0,14	0,20	-0,233	85,21	0,998	38,47	32,72	23,66
(5,11)	0,15	0,19	-0,204	302,64	0,997	150,91	130,95	98,61
(7,1)	0,14	0,17	-0,400	240,78	0,972	61,77	46,81	26,89
(7,3)	0,13	0,16	-0,023	76,26	0,981	70,48	69,35	67,16
(7,5)	0,12	0,18	-0,443	28,46	0,996	6,30	4,64	2,51
(7,7)	0,17	0,20	-0,357	85,72	0,978	25,38	19,80	12,05
(7,9)	0,17	0,20	-0,135	61,47	0,991	39,82	35,35	29,30
(7,11)	0,18	0,20	-0,363	67,31	0,984	19,52	15,17	9,16
(9,1)	0,18	0,20	-0,467	56,41	0,971	11,52	8,33	4,36
(9,3)	0,16	0,18	-0,446	70,10	0,994	15,34	11,26	6,06
(9,5)	0,20	0,25	-0,351	37,82	0,974	11,43	8,96	5,50
(9,7)	0,18	0,20	-0,001	7,83	0,969	7,80	7,79	7,78
(9,9)	0,18	0,19	-0,233	5,58	0,919	2,53	2,15	1,56
(9,11)	0,15	0,17	-0,341	50,48	0,997	15,79	12,46	7,76
(11,1)	0,14	0,20	-0,455	58,06	0,974	12,33	8,99	4,78
(11,3)	0,14	0,17	-0,140	11,83	0,981	7,34	6,66	5,48
(11,5)	0,15	0,16	-0,225	29,04	0,995	13,47	11,52	8,42
(11,7)	0,17	0,19	-0,339	51,47	0,966	16,23	12,83	8,02
(11,9)	0,13	0,17	-0,269	229,61	0,980	91,85	76,21	52,46
(11,11)	0,17	0,22	-0,221	123,82	0,968	58,83	50,55	37,32

Tabela 2. Valores de média aritmética, média geométrica, moda e desvio-padrão (σ) da velocidade de infiltração (VI) da água no solo, obtidos com a metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos (IANC) decorridos diferentes tempos de ensaio

	Velocidade de Infiltração – VI (mm h ⁻¹)									
	Tempo Acumulado (min)									
	30	60	90	120	180	240	300	360	420	480
Média Aritmética	35,87	31,18	28,83	27,30	25,34	24,07	23,14	22,42	21,84	21,35
Média Geométrica	24,42	20,49	18,50	17,20	15,52	14,43	13,64	13,03	12,53	12,11
Moda	22,83	19,52	17,81	16,69	14,54	12,94	11,82	10,98	10,31	9,77
σ	31,53	28,30	26,71	25,70	24,42	23,59	23,00	22,53	22,16	21,85

calculados de média aritmética, média geométrica, moda e desvio-padrão para a velocidade de infiltração, quando decorridos diferentes tempos de ensaio, encontram-se na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta as taxas de aplicação bruta e líquida (perdas por evaporação e deriva estimadas em 10%) e os valores da velocidade de infiltração da água no solo, determinada pelo infiltrômetro de aspersores. Em todas as intensidades de precipitações analisadas verificou-se escoamento superficial sobre o terreno e, nas intensidades de 5,69 e 11,38 mm h⁻¹, observaram-se escoamentos superficiais de 1,40 e 0,49 mm h⁻¹, respectivamente; notou-se, também, que, embora tenha ocorrido escoamento superficial em tais intensidades de aplicação, não

se constatou erosão no terreno (arraste de partículas), e a experiência prática na condução de experimentos nessa área evidencia que a presença de vegetação na superfície do solo (culturas) inibe completamente esses pequenos escoamentos superficiais, até uma taxa de aplicação máxima de 15 mm h⁻¹.

Nas intensidades de 48,04 e 22,77 mm h⁻¹ observou-se considerável deflúvio superficial e conseqüente erosão do terreno. A velocidade de infiltração da água no solo variou, nestas circunstâncias, entre 13,26 e 14,85 mm h⁻¹; já na intensidade de aplicação de 48,04 mm h⁻¹, observou-se redução da velocidade de infiltração na área (13,26 mm h⁻¹) em comparação com a intensidade de 22,77 mm h⁻¹ (14,85 mm h⁻¹) o que pode ser explicado pelos

Tabela 3. Resultados obtidos com o infiltrômetro de aspersores para o tempo de 240 min de ensaio, após estabilização da hidrógrafa de escoamento superficial (média de três repetições)

Taxa Bruta de Aplicação do IAS (mm h ⁻¹)	Taxa Líquida de Aplicação do IAS (mm h ⁻¹)	Taxa de Escoamento Superficial t = 240 min. (mm h ⁻¹)	Velocidade de Infiltração Básica t = 240 min. (mm h ⁻¹)	Uniformidade Equipamento de Irrigação CUC (%)
48,04	43,23	29,97	13,26	81,35
22,77	20,49	5,64	14,85	88,64
11,38	10,24	1,40	8,84	90,10
5,69	5,12	0,49	4,63	87,66

seguintes motivos: selamento superficial do solo devido à maior intensidade de precipitação na área e diminuição da uniformidade de aplicação de água dos aspersores (CUC = 81,35%) em decorrência de uma interferência maior do mecanismo de reversão dos aspersores setoriais nessa taxa de aplicação.

Comparando-se os valores de velocidade de infiltração das Tabelas 2 e 3 (240 min) nota-se que os valores da média geométrica (14,43 mm h⁻¹) e da moda (12,94 mm h⁻¹) obtidos com o infiltrômetro de anéis, aproximaram-se dos valores de infiltração determinados pelo infiltrômetro de aspersores (14,85 e 13,26 mm h⁻¹) não se levando em consideração os valores de infiltração básica (4,63 e 8,84 mm h⁻¹) obtidos nas intensidades de aplicação 5,69 e 11,38 mm h⁻¹, por não representarem adequadamente a máxima capacidade de infiltração do solo, conforme discutido anteriormente.

Sharma et al. (1980) obtiveram resultados semelhantes em um ensaio realizado em campo. Os valores da moda e da média geométrica não são muito influenciados por elevadíssimas velocidades de infiltração obtidas em alguns ensaios (10 a 30 vezes maior que a VIB), decorrentes da presença de fendas e canais biológicos no solo (Vieira, 1977) que alteram significativamente o valor da média aritmética dos ensaios.

Tendo em vista os resultados obtidos, sugere-se que a metodologia do infiltrômetro de anéis não deva ser utilizada de maneira indiscriminada em projetos de irrigação por aspersão, salvo em casos particulares, onde seja possível a realização de um número elevado de ensaios e calculados os valores de média geométrica e moda dos resultados obtidos.

CONCLUSÕES

1. A média aritmética dos valores de velocidade de infiltração da água no solo, obtida pela metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos, superestimou a velocidade de infiltração no terreno, obtida por infiltrômetro de aspersores.

2. A média geométrica e a moda dos valores de velocidade de infiltração da água no solo, obtidas pela metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos com alta densidade de amostragem, aproximaram-se da velocidade de infiltração de água obtida pelo infiltrômetro de aspersão.

3. O emprego da metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos na determinação da velocidade de infiltração de água no solo requer um número razoável de repetições, para o estabelecimento de um valor confiável de velocidade de infiltração básica (VIB) que possa ser utilizado no dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWER, H. Intake rate: cylinder infiltrometer. In: Klute A., ed. *Methods of Soil Analysis*. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1986. cap. 32, p.825-844.
- COELHO, R.D.; VICCINO, J.R.; SILVA V.M. da. Infiltrômetro de anéis e variabilidade espacial das equações de infiltração de água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21. Santa Maria, 1992, Anais... Santa Maria: UFSM, 1992.
- COSTA, E.L.; SILVA, A.M. da; COLOMBO, A.; ABREU, A.R. de. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.3, n.2, p.131-134, 1999.
- CUENCA, R.H. *Irrigation system design*. New Jersey: Prentice Hall, 1989, 551p.
- SHARMA, M.L.; GANDER, G.A.; HUNT, C.G. Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology*, Baltimore, v.45, p.101-122, 1980.
- VIEIRA, H.A. Comportamento de quatro infiltrômetros na determinação da velocidade de infiltração básica da água no solo. Viçosa: UFV, 1977. 52p. Dissertação Mestrado