

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DE ÁGUA EM DOIS SOLOS DO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Jefferson Vieira José*

Roberto Rezende**

Patricia Angélica Alves Marques***

Paulo Sérgio Lourenço de Freitas****

Daniel Soares Alves*****

RESUMO: O conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo é de fundamental importância para o dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem. A inadequada definição da velocidade de infiltração básica poderá ocasionar falhas no dimensionamento de estruturas inerentes à irrigação por aspersão. Baseado nesta realidade, este estudo objetivou gerar informações sobre a taxa de infiltração em dois diferentes solos no Estado do Paraná com diferentes teores de argila, em um Nitossolo Vermelho distroférico apresentando 756,8 g kg⁻¹ de argila e um Latossolo Vermelho distrófico com 210 g kg⁻¹ de argila. A velocidade de infiltração de água no solo no campo foi obtida por meio do infiltrômetro de anéis concêntricos de carga constante e os dados foram ajustados pelo modelo de Kostiakov. Cada área de amostragem foi dividida em 36 subparcelas de 2 x 2 m, sendo que no ponto central de cada subparcela realizou-se teste de infiltração de água e foi determinada a densidade do solo e porosidade do solo. A infiltração da água foi observada em função do tempo até que a taxa de infiltração se tornou constante. As taxas de infiltração básica foram de 31,85 e 15,38 mm h⁻¹, para o Nitossolo Vermelho distroférico (76% de argila) e Latossolo Vermelho distrófico (21% de argila). O modelo de Kostiakov foi adequado para estimativa da taxa de infiltração de água nos dois solos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Água no Solo; Infiltrômetro; Modelo de Kostiakov.

* Engenheiro Agrícola, Mestre em Agronomia e Pós-Graduando em Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/USP. Email: jfvieira@usp.br

** Docente do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Email: rrezende@uem.br

*** Docente do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP. Email: paamarques@usp.br

**** Agrônomo, Mestre em Agronomia e Pós-Graduando em Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/USP. Email: danielsoares31@yahoo.com.br

***** Doutorando na Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz - ESALQ/USP.

SPEED OF BASIC INFILTRATION OF WATER IN TWO SOILS IN THE NORTHWESTERN REGION OF THE STATE OF PARANÁ, BRAZIL

ABSTRACT: Knowledge on the speed of water infiltration in soil is relevant for the analysis of irrigation and drainage systems. Inadequate basic infiltration velocity may cause faults in the calculation of structures inherent to irrigation by aspersion. Current analysis produces information on the infiltration rate in two different soils in the state of Paraná, Brazil, with different clay rates. Red Dystroferric Nitossol contains 756.8 g kg⁻¹ clay and Red Dystrophic Latosol contains 210 g kg⁻¹ clay. Water infiltration velocity in soil was obtained by concentric rings infiltrometer at constant discharge, and data were adjusted by Kostiakov's model. Sampling area was divided into thirty-six 2 x 2m sub-parcels. Water infiltration test was undertaken in the central part of each sub-parcel and soil density and porosity was determined. Water infiltration was calculated as a function of time till infiltration rate was constant. Basic infiltration rates were 31.85 and 15.38 mm h⁻¹ for Red Dystroferric Nitossol (76% clay) and Red Dystrophic Latosol (21% clay). Kostiakov's model was adequate for water infiltration rate estimates in the two types of soil under analysis.

KEY WORDS: Water in Soil; Infiltrometer; Kostiakov's Model.

INTRODUÇÃO

O conhecimento do movimento de água no solo é de grande importância para o homem. Além disso, a gestão eficiente dos recursos hídricos exige um maior controle da infiltração, que, por sua vez, ajuda a resolver problemas que vão de inundações, poluição das águas superficiais e do solo e até ineficientes sistemas de irrigação, drenagem e manejo de solo e da água.

A mensuração da taxa de infiltração de água possibilita avaliar a quantidade de água que efetivamente infiltra no solo e o escoamento superficial que possa acontecer (FIORIN, 2008). A quantificação dessa variável em projetos de irrigação por aspersão tem como objetivo estabelecer a taxa máxima de aplicação de água dos aspersores que serão utilizados, para que não ocorram perdas por escoamento superficial (COELHO; MIRANDA; DUARTE, 2000).

A modelagem deste processo é de suma importância prática, pois a velocidade de infiltração é um dos fatores que mais influência o escoamento superficial e fornece subsídios para o dimensionamento de reservatórios, estrutura de controle de erosão, sistemas de irrigação e drenagem, bem como para seu dimensionamento (LIMA, 2009).

Calheiros et al. (2009) relatam que uma inadequada definição dessa velocidade de infiltração poderá ocasionar falhas no dimensionamento de estruturas inerentes à irrigação por aspersão, diminuir a eficiência do sistema, aumentar os custos de operação, gastos de energia e consumo de água (líquido) e maximizar impactos ambientais, como erosão do solo, lixiviação de nutrientes e salinização, dentre outros.

Apesar disso, a determinação das variáveis hidráulicas do solo, como a infiltração da água no solo, é de difícil obtenção pelo elevado tempo na execução, além da necessidade de equipamentos grandes e pesados. Sendo assim, o entendimento do processo de infiltração e suas relações com as variáveis do solo são de grande importância para o manejo do solo e da água.

A compreensão de variáveis físicas do solo, como a velocidade de infiltração, pode ser importante para o entendimento das causas da variabilidade na produção das culturas. Mesmo de aparência homogêneo, essas variáveis podem apresentar variabilidade no espaço e conseqüentemente na resposta hidrológica das culturas (LIMA; SILANS, 1999). Por isso, a análise estatística é de suma importância para auxiliar na tomada de decisão a respeito do valor mais representativo da área.

Segundo Cecílio et al. (2007), a dispersão espacial é muito grande nos solos, ainda que dentro de áreas pequenas. Como resultado disto e também das variações temporais das variáveis do solo, a infiltração é um processo muito complexo, que pode ser descrito apenas de forma aproximada, por modelos matemáticos.

Assim, considerando a falta de informações que envolvem Nitossolo Vermelho distroférrico e Latossolo Vermelhos distróficos e a variabilidade apresentada pela variável velocidade de infiltração, delineou-se o presente estudo, cujo objetivo é obter a taxa de infiltração básica estimado pelo modelo de Kostiaikov por meio da estatística descritiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREAS AMOSTRADAS

O estudo foi realizado em solos do noroeste do Estado do Paraná, em duas áreas distintas. Os locais foram escolhidos em função das diferentes características dos solos que compõem cada uma das duas áreas.

A área de amostragem 1 foi conduzida no Centro Técnico de Irrigação da Universidade Estadual de Maringá, localizado na latitude 23°23' S e na longitude 51°57' W, com altitude de 504 m, em um Nitossolo Vermelho distroférico com horizonte A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia (EMBRAPA, 2006), com desnível médio de 8%. Os valores para areia, silte e argila são, respectivamente, 122,6; 120,6 e 756,8 g kg⁻¹. Esta área de amostragem foi cultivada sob plantio convencional com culturas de milho e feijão e posteriormente permaneceu por mais de dois anos em pouso.

A área de amostragem 2 foi conduzida na Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá, localizado na latitude 23°21' S e na longitude 52°04' W, com altitude de 561 m, em um Latossolo Vermelho distrófico textura arenosa (EMBRAPA, 2006), com desnível médio de 7%. Os valores para areia, silte e argila são, respectivamente, 710; 80 e 210 g kg⁻¹. Esta área de amostragem foi cultivada sob plantio convencional por aproximadamente dois anos, com culturas de milho e aveia no inverno.

2.2 ESQUEMA DE AMOSTRAGEM PARA A AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Cada área amostrada foi dividida em 36 subparcelas de 2 x 2 m, sendo que no ponto central de cada subparcela realizou-se teste de infiltração de água no solo utilizando o método do infiltrômetro de anéis concêntricos de carga constante. Este método é constituído de dois anéis posicionados de forma concêntrica no solo. O anel interno possui diâmetro de 0,25 m e o externo de 0,50 m e ambos com 0,30 m de altura.

O sistema de controle de nível de água do infiltrômetro de anéis concêntricos baseou-se em um mecanismo válvula-boia para manter uma lâmina de aproximadamente 0,10 m no cilindro interno, dando uma condição de carga hidráulica constante. O anel externo foi abastecido por um sistema similar e mantinha uma altura de lâmina de água semelhante a do anel interno (COELHO; MIRANDA; DUARTE, 2000).

O ensaio foi realizado até que a velocidade de infiltração observada no anel interno tornou-se constante com o tempo. A velocidade de infiltração foi considerada constante quando o valor da leitura da lâmina infiltrada no anel interno se repete pelo menos três vezes.

2.3 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS DO SOLO

Ao final do teste de infiltração foram retiradas as amostras de solos na profundidade de 0,25 m para análise física. Na profundidade mencionada, foi utilizado um amostrador de anéis e, por meio da pressão mecânica, introduziu-se o mesmo para coletar a amostra. Foram retiradas três amostras não deformadas de solo, por meio de um anel de 0,05 m de diâmetro por 0,05 m de altura.

Os atributos mensurados foram os seguintes; densidade do solo (D_s), determinada pelo método da proveta, densidade de partícula (D_p) por meio do método do balão volumétrico, macroporosidade e microporosidade pelo método da mesa de tensão. A tensão de -60 kPa foi adotada como referente à microporosidade. A porosidade total do solo (P_{total}) foi obtida pela a equação $P_{total} = \{-1 * (D_s/D_p)\}$. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia da Embrapa (1997).

2.4 CÁLCULO DO VALOR DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA (VIB)

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 ($I = k t^n$).

A velocidade de infiltração da água no solo foi obtida derivando-se a equação da lâmina acumulada em relação ao tempo ($V_i = dI dt^{-1}$), obtendo a equação:

$$Ti = k.\alpha.t^{\alpha-1} \quad (1)$$

O modelo de Kostiakov (função potencial) mostra um decréscimo da velocidade de infiltração ao longo tempo, com valores próximos de zero para tempos finitos, não representando, assim, o fenômeno real da infiltração de água no solo, cuja V_i decresce a um valor estável. Para contornar essa problemática, atribui-se a um limite no eixo dos tempos para uma declividade da reta tangente do ângulo β igual a 1° . Este limite foi considerado o valor estável correspondente a VIB, critério adotado por alguns autores conforme Costa et al. (1999) e Stürmer et al. (2009). Assim, a derivada da Equação de Kostiakov no ponto $t = \Delta t$, é igual numericamente à tangente do ângulo β :

$$\frac{dVi}{dt} = k.\alpha.t^{\alpha-2} .(\alpha - 1) = \tan \beta \quad (2)$$

colocando o termo t em evidência:

$$t = \left(\frac{\tan \beta}{k.\alpha.(\alpha - 1)} \right)^{\frac{1}{\alpha-2}} \quad (3)$$

assim a equação 1 foi reescrita na equação 3:

$$Vi = k.\alpha \left[\frac{\tan \beta}{k.\alpha.(\alpha - 1)} \right]^{\frac{\alpha-1}{\alpha-2}} \quad (4)$$

Para se obter o valor da VIB atribui-se o valor de $-0,01 \text{ cm h}^{-1} \text{ min}^{-1}$ correspondente à tangente de β igual a 1° :

$$VIB = k.\alpha \left[\frac{-0,01}{k.\alpha.(\alpha - 1)} \right]^{\frac{\alpha-1}{\alpha-2}} \quad (5)$$

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O conjunto de dados, velocidade de infiltração básica, densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo obtidos nas áreas de amostragem

foram submetidos à análise estatística descritiva, composta do resumo estatístico, análise exploratória e teste de normalidade. Para isso fez-se uso do teste W, Shapiro e Wilk (1965). Foi utilizado para construção de gráficos de superfícies de valores o software Surfer 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

Conforme o teste de normalidade verificou-se também a necessidade de transformar os dados e de avaliar as hipóteses de homogeneidade da média e independência da variância (LIBARDI et al., 1996). Para análise da estatística descritiva foi utilizado o software Statistica (STATSOFT INC., 2007).

Os coeficientes do modelo de Kostiakov foram obtidos por análise de regressão linear em que se utilizou o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010). Os coeficientes k e α foram obtidos para as duas áreas amostradas, que totalizaram 72 testes de infiltração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentadas a estatística descritiva para os valores de densidade, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade do solo para os dados coletados em 36 pontos. Verificou-se que os valores médios de macroporosidade do Latossolo ($0,069 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foram inferiores aos do Nitossolo ($0,152 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), os quais podem ser considerados inadequados para o movimento de água no solo, reduzindo a velocidade de infiltração. De acordo com Culley, Larson e Randal (1987), para um rápido fluxo de ar e de água no solo a porosidade de aeração deve situar-se acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Tabela 1. Estatística descritiva para densidade do solo (Ds), porosidade total do solo (Ptotal), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi).

(continua)

	Nitossolo Vermelho distroférico			
	Ds (Mg m^{-3})	Ptotal ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	Ma ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	Mi ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
Média	1,447	0,542	0,152	0,391
Mediana	1,449	0,542	0,160	0,384

(conclusão)

Nitossolo Vermelho distroférico				
	Ds (Mg m ⁻³)	Ptotal (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)
Mínimo	1,263	0,494	0,071	0,314
Máximo	1,601	0,601	0,238	0,499
Desvio-padrão	0,075	0,023	0,039	0,045
Cv (%)	5,164	4,340	25,760	11,531
Erro padrão da média	0,012	0,003	0,006	0,007
Latossolo Vermelho distrófico				
Média	1,755	0,306	0,069	0,238
Mediana	1,755	0,306	0,070	0,238
Mínimo	1,616	0,225	0,005	0,150
Máximo	1,960	0,362	0,144	0,333
Desvio-padrão	0,071	0,028	0,029	0,028
Cv (%)	4,025	9,104	42,78	11,761
Erro padrão da média	0,012	0,005	0,005	0,005

O valor médio de densidade do solo (1,75 Mg m⁻³) pode estar associado ao efeito cumulativo de tráfego de máquinas. Tormena et al. (2002) atribuíram valores altos de densidade em um Latossolo Vermelho ao efeito cumulativo de tráfego de máquinas, da ausência de mobilização mecânica do solo, da ineficiência das forças naturais (ciclos de secagem e umedecimento) em reduzir a densidade do solo.

Rocha et al. (2007) estudaram a variável densidade do solo em um Latossolo Vermelho distrófico (16% de argila), e encontraram valores de 1,75 Mg m⁻³. Blanski et al. (2008) encontraram valores de densidade em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico (17% de argila) de 1,75 Mg m⁻³.

Blanski et al. (2009) realizaram medições em um Nitossolo Vermelho distroférico, em área adjacente na área de amostragem 1, e observaram para densidade do solo valores semelhantes de 1,36 Mg m⁻³.

Com o propósito de possibilitar a visualização da distribuição dos valores da VIB para os dois solos estudados, foram construídas as superfícies de valores,

apresentadas na figura 1. Os valores estimados para VIB (equação 5) foram utilizados para a interpolação segundo o método do inverso do quadrado das distâncias, em malha regular de 6 linhas por 6 colunas. Os valores obtidos permitiram o traçado dos mapas de contorno.

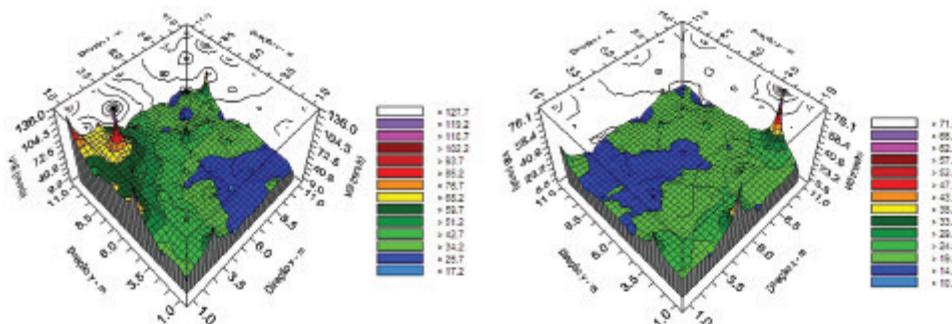


Figura 1. Distribuição espacial da variável velocidade de infiltração básica, nas áreas amostrais: (a) Nitossolo Vermelho distroférrico e (b) Latossolo Vermelho distrófico.

Pode-se observar na figura 1b que a superfície da área amostral do Latossolo foi mais suave, apresentando em predominância valores entre 14 e 24 mm h⁻¹. Diferentemente, na figura 1a observa-se uma variabilidade nos dados, apresentando picos de valores, mas com uma predominância entre valores de 25,7 a 34,2 mm h⁻¹.

Embora o método de interpolação utilizado neste trabalho não seja o mais adequado para permitir a avaliação da variabilidade espacial da velocidade de infiltração, esta constatação corrobora para discussão da necessidade da escolha de um valor representativo das áreas de estudo. Portanto, esta escolha para descrever o conjunto de dados deve ser feita criteriosamente por um momento estatístico representativo.

A estatística descritiva para os valores da VIB nos 36 pontos estimados pelo modelo de Kostikov, seus valores após a remoção dos pontos localmente atípicos (outliers) e valores transformados para função logarítmica (log VIB) são apresentados na tabela 2, e na figura 2 o histograma desses valores. Os valores atípicos foram considerados, como prováveis dados discrepantes, valores menores que a diferença do quartil inferior e 1,5 vez a amplitude interquartílica ou maior que a soma do quartil superior com 1,5 vez a amplitude interquartílica.

Tabela 2. Estatística descritiva para os valores da VIB, VIB após a remoção dos valores atípicos e os valores transformados da VIB (log VIB), nas áreas amostrais.

Momento estatístico	Nitossolo Vermelho distroférico			Latossolo Vermelho distrófico	
	VIB	VIB*	Log VIB	VIB	VIB *
n	36	34	34	36	32
Média (mm h ⁻¹)	40,54	36,09	1,45	19,45	15,38
Média geométrica (mm h ⁻¹)	30,86	28,55	1,42	16,41	14,25
Média harmônica (mm h ⁻¹)	23,70	22,64	1,39	14,06	12,91
Mediana (mm h ⁻¹)	34,08	31,85	1,50	16,29	14,90
Moda (mm h ⁻¹)	24,95	24,95	-	9,97	13,94
Mínimo (mm h ⁻¹)	7,43	7,43	0,87	4,25	4,25
Máximo (mm h ⁻¹)	125,42	115,55	2,06	64,90	26,25
Quartil Inferior	15,42	14,70	1,16	15,22	11,64
Quartil Superior	50,91	49,72	1,69	12,55	18,78
Desvio-padrão	30,97	25,40	0,30	20,16	5,58
Assimetria	1,27	1,25	0,03	13,43	0,17
Curtose	1,05	1,49	-0,95	5,30	-0,20
CV (%)	76,38	70,37	21,06	69,05	30,30
Erro padrão da media	5,16	4,36	0,05	3,36	0,99
Teste de Shapiro-Wilk					
W	0,858	0,881	0,970	0,741	0,973
Probabilidade	< 0,0003	< 0,015	< 0,473	< 0,0001	< 0,605

*VIB após a remoção dos valores atípicos.

Observa-se na tabela 2 para o Nitossolo, que os valores das medidas de tendência central, (média, mediana e moda) para VIB não são semelhantes, o que identifica uma distribuição assimétrica, e, pela não normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilk (S-W), optou-se pela transformação logarítmica e nova análise descritiva foi efetuada.

Para o Latossolo os valores das medidas de tendência central da VIB são semelhantes, o que identifica uma distribuição simétrica comprovada também pelo teste de S-W ($p = 0,605$), ou seja, os dados seguem uma distribuição de probabilidade normal, desse modo não há necessidade de transformação (log normal) dos dados, diferentemente dos obtidos da área amostragem do Nitossolo. Os resultados contidos na figura 2a indicam que ocorreu uma concentração de valores no extremo esquerdo do histograma, que correspondem às menores infiltrações básicas.

Depois de efetuada a transformação logarítmica dos dados da VIB, pelo teste de Shapiro-Wilk pode-se observar na figura 2c a nova distribuição, o que indica evidências de distribuição de probabilidade normal para os dados. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por vários autores dentre eles, Vieira, Nielsen e Biggar (1981), Cichota, Jong van Lier e Leguizamón Rojas (2003) e Paz González et al. (2003).

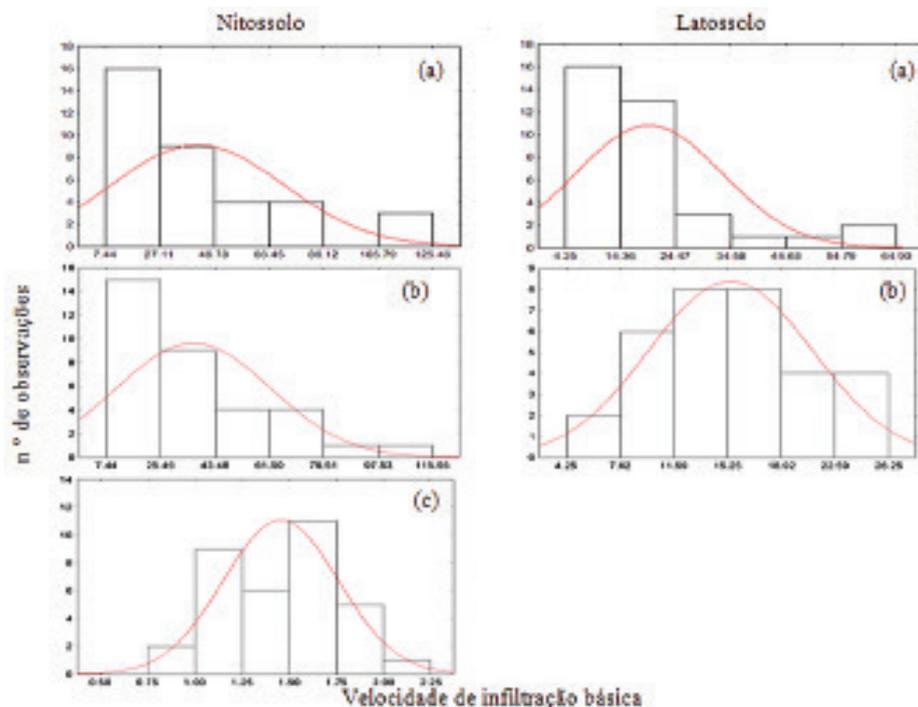


Figura 2. Histograma dos valores da VIB (a) e VIB após a remoção dos valores atípicos (b) e sua respectiva transformação logarítmica (c).

Calheiros et al. (2009) estudaram a velocidade de infiltração básica para projetos de irrigação por aspersão e concluíram que a mediana se mostrou a mais recomendada para a definição da VIB, quando os dados apresentam distribuição assimétrica, baseado nesta recomendação o momento estatístico que representa a VIB no Nitossolo foi a mediana (31,85 mm h⁻¹).

Os resultados obtidos para a VIB do Latossolo evidenciam homogeneidade da área em estudo. Com base no resultado, definiu-se o valor da VIB para o Latossolo Vermelho distrófico como sendo a média (15,38 mm h⁻¹). Este momento estatístico representou bem a distribuição dos valores da VIB.

Observa-se que o Nitossolo tem maior velocidade de infiltração. Tal fenômeno pode ser explicado pelo maior volume de macroporos e menor valor de densidade. O mesmo foi observado por Bertol et al. (2001), o que explica, em parte, a sua maior velocidade de infiltração.

Pott (2001) avaliou a infiltração de água em diferentes solos com infiltrômetro de anéis concêntricos e verificou que o Latossolo de textura argilosa produziu valores de infiltração 2,3 vezes superior ao Argissolo textura arenosa.

A área de amostragem 1 (Nitossolo) tem as características, relativamente, maior porosidade que resulta numa rápida movimentação de água, como pode demonstrar alta taxa de infiltração, em relação a área de amostragem 2 (Latosolo) e uma adequada microporosidade que determinaria, por sua vez, a alta capacidade de retenção de água.

O Nitossolo é muito argiloso (cerca de 76% de argila), o que seria fator limitante à capacidade de infiltração (AZEVEDO; PEDRON; DALMOLIN, 2007); no entanto, isto não aconteceu. A estrutura granular deste solo favorece o processo de infiltração (ALVES SOBRINHO; FERREIRA; PRUSKI, 2003; STÜRMER et al., 2009). A porosidade total apresentada por este solo, de 0,54 m³ m⁻³ com adequada proporção de macroporos, cerca de 0,15 m³ m⁻³, proporcionou valor da VIB muito alto, segundo Mantovani, Bernardo e Palaretti (2007).

O elevado valor da VIB no Nitossolo pode ser explicado também pelo fato de a camada superficial não ter sido revolvida por mais de dois anos, podendo influenciar na microporosidade do solo pela ação de raízes e microfauna presentes no solo, que favorecem a infiltração de água no mesmo. A presença da fauna do solo foi observada ao longo das amostragens.

O menor valor da VIB no Latossolo pode ser explicado pelo sistema de plantio convencional adotado, baseada no manejo de solo, tais como aração, gradagens e subsolagens, podendo contribuir para o aparecimento de horizontes do solo com problemas de compactação, proveniente do trânsito de máquinas sobre o solo, que, segundo Cunha et al. (2009), este fenômeno dificulta a penetração de água, diminuindo a velocidade de infiltração básica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas áreas estudadas os valores obtidos para velocidade de infiltração básica apresentaram, como tendência central, a mediana $31,85 \pm 4,36 \text{ mm h}^{-1}$ para o Nitossolo Vermelho distroférico e média aritmética de $15,38 \pm 0,99 \text{ mm h}^{-1}$ para o Latossolo Vermelho distrófico. A média aritmética simples nas condições do estudo se caracteriza como aconselhável para o Latossolo Vermelho distrófico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

REFERÊNCIAS

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v. 6, n. 2, p. 337-344, 2003.

AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D. A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, v. 5, p. 1-48.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BLAINSKI, E. et al. Intervalo hídrico ótimo num nitossolo vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 273-281, 2009.

_____. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.

CECÍLIO, R. A. et al. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007.

CICHOTA, R.; JONG VAN LIER, Q.; LEGUIZAMÓN ROJAS, C. A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 789-798, 2003.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: Parte II, Acúmulo de água sobre a superfície do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 142-145, 2000.

COSTA, E. L. et al. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.

CULLEY, J. L. B.; LARSON, W. E.; RANDALL, G. W. Physical properties of a typic Haplaquoll under conventional and no-tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 1587-1593, 1987.

CUNHA, J. L. X. L. et al. Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 199-205, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2006.

_____. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa - CNPS, 1997. 212p. (Embrapa - CNPS. Documentos, 1).

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. 116f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa, Programa de Pós-Graduação, 2008.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows. Version 7.0**: Software de geração de mapas de contorno e superfícies contínuas. Colorado: Golden Software, 1999.

LIBARDI, P. L. et al. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 1-12, 1996.

LIMA, C. A. G.; SILANS, A. P. de. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2311-2320, 1999.

LIMA, V. C. G. R. **Análise experimental e numérica de trincheiras de infiltração em meio saturado**. 2009. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós- Graduação em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, 2009.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2007.

PAZ GONZÁLEZ, A. et al. Variabilidad espacial de La infiltración em uma ladera determinada com permeámetro de Guelph e infiltrómetro de tension. In: LÓPEZ, J. J.; QUEMADA, M. **Temas de investigation em zona no saturado**. [S.l.: s.n.], 2003.

POTT C. A. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo.** 2001. 77f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)- Instituto Agronômico, Pós-Graduação do Instituto Agronômico, 2001.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R. A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

ROCHA, E. L. et al. Velocidade de infiltração de água em um latossolo vermelho distrófico sob diferentes manejos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Campina Grande: SBEA, 2007. 1 CD-ROM.

SHAPIRO, S. S; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

STATSOFT INC. **Statistica (data analysis software system). Version 8.0.** [S.l.]: Statsoft Inc, 2007

STÜRMER, S. L. et al. Relação da granulometria do solo e morfologia do aprotolo com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2057-2064, 2009.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 795-801, 2002.

VIEIRA, S.R; NIELSEN D.R; BIGGAR, J.W. Spatial variability of fiels-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, p. 1040-1048, 1981.

Recebido em: 13 de janeiro de 2012.

Aceito em: 18 de agosto de 2012.