

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE CAMPO PARA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA⁽¹⁾

C. A. POTT⁽²⁾ & I. C. DE MARIA⁽³⁾

RESUMO

Vários são os métodos utilizados para determinar a velocidade de infiltração básica (VIB) do solo. Todavia, para utilização dos resultados, é importante conhecer como cada método interage com os atributos do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar quatro métodos de determinação da VIB, considerando o tipo de solo sob sistema plantio direto. Foram realizados três experimentos em solos do estado de São Paulo, em Campinas, Campos Novos Paulista e Pindorama, em Latossolo textura argilosa, Latossolo textura média e Argissolo textura arenosa/média, respectivamente. As determinações foram feitas de setembro a novembro de 2000. Utilizaram-se um infiltrômetro de aspersão, um permeâmetro, um infiltrômetro de tensão e um infiltrômetro de pressão para determinação da VIB. Verificou-se que os métodos comportaram-se diferentemente em relação ao tipo de solo, tendo sido os menores valores de VIB determinados com o infiltrômetro de aspersão. Verificou-se que, no infiltrômetro de pressão e no permeâmetro, o movimento de água foi governado pela estrutura do solo e, no infiltrômetro de aspersão, onde é considerado o impacto das gotas de chuva, o processo de infiltração foi regido principalmente pela taxa de cobertura do solo e pelas suas características granulométricas.

Termos de indexação: permeâmetro, infiltrômetro, propriedades físicas.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, Curso de Pós-Graduação do Instituto Agrônomo – IAC. Projeto financiado com recursos da FAPESP. Recebido para publicação em julho de 2001 e aprovado em outubro de 2002.

⁽²⁾ Professor do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Av. Luiz de Camões 2090, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista da FAPESP. E-mail: cristiano.pott@bol.com.br

⁽³⁾ Pesquisadora Científica, Instituto Agrônomo – IAC. Caixa postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: icdmaria@iac.br

SUMMARY: COMPARISON WITH FIELD METHODS FOR ASSESSING INFILTRATION RATES

There are various methods for assessing data on infiltration rates, but it is important to know how these methods interact with soil properties. The objective of this paper was to analyze four methods for infiltration measurement in different soil types under a no tillage system. Field experiments were performed in Campinas, Campos Novos Paulista and Pindorama, in São Paulo State, on Eutrudox, Hapludox and Hapludult soils, respectively. Infiltration rates were measured from September to November 2000, by the evaluation methods: constant head permeameter, pressure infiltrometer, sprinkler infiltrometer with a single nozzle, and disk permeameter. Results indicated that the methods produced different values for infiltration rates and have a varied behavior according to soil properties. The lowest infiltration rates were measured by the sprinkler infiltrometer. Where permeameter and pressure infiltrometers were used, the water movement into the soil was determined by the soil structure, and when a sprinkler infiltrometer was used, the factors soil cover and particle size controlled the process.

Index terms: permeameter, infiltrometer, physical properties.

INTRODUÇÃO

A infiltração de água é o processo pelo qual ocorre a entrada de água no solo através da sua superfície. A entrada de água no solo decresce com o tempo, dependendo do umedecimento do perfil, e assume um valor constante denominado velocidade de infiltração básica (VIB).

Vários fatores condicionam o movimento da água no solo, os quais têm sido relatados por diversos autores, a saber: a porosidade (Perroux & White, 1988; Everts & Kanwar, 1992), a densidade do solo (Sales et al., 1999), a cobertura do solo (Roth et al. 1985; Sidiras & Roth, 1987), a textura e o grau de agregação do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), o selamento superficial (Reichert et al., 1992; Chaves et al., 1993), a umidade inicial (Araújo Filho & Ribeiro, 1996), a matéria orgânica, a estrutura e a variabilidade espacial do terreno (Klar, 1984).

Valores de VIB são fundamentais no dimensionamento de projetos agrícolas de irrigação, drenagem e conservação do solo e da água (Pruski, 1993; Alves Sobrinho, 1997), sendo vários os métodos para sua determinação no campo. Dentre eles, destacam-se os infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva (Roth et al., 1985; Chaves et al., 1993; Alves Sobrinho, 1997), os permeômetros (Elrick et al., 1989; Reynolds et al., 1992), os infiltrômetros de tensão ou permeômetros de disco (Perroux & White, 1988; Reynolds & Elrick, 1991; Cook & Broeren, 1994; Borges et al., 1999) e os infiltrômetros de pressão (Reynolds & Elrick, 1990; Elrick & Reynolds, 1992).

Em condições onde o solo apresenta grande susceptibilidade à erosão hídrica, as medições de infiltração deveriam ser avaliadas sob condições de precipitação (Sidiras & Roth, 1987). Métodos que não consideram o impacto da gota da chuva podem

superestimar a infiltração da água, originando problemas no dimensionamento de projetos de irrigação e drenagem, bem como o subdimensionamento de projetos conservacionistas, gerando problemas de erosão do solo.

Alguns trabalhos têm encontrado menores valores de VIB determinados com infiltrômetros de aspersão, quando comparados com outros métodos (Sidiras & Roth, 1987; Boers et al., 1992; Brito et al., 1996). No entanto, tem-se a necessidade de saber como os diferentes métodos de determinação da VIB atuam de acordo com o tipo de solo no sistema plantio direto, uma vez que os métodos podem interagir diferentemente em relação aos atributos do solo.

Assim, algumas hipóteses foram testadas: (a) o método do infiltrômetro de aspersão determina os menores valores de VIB, mesmo no sistema de plantio onde o solo encontra-se protegido por resíduos culturais; (b) os valores de VIB variam com o tipo de solo, de acordo com seus atributos, tais como: porosidade, estabilidade de agregados e potencial de formação de selamento superficial, e (c) as diferenças entre os valores de VIB determinados por diversos métodos dependem de atributos do solo.

A partir das hipóteses levantadas, os objetivos deste trabalho foram: (a) comparar quatro métodos de avaliação da VIB em diferentes tipos de solo sob plantio direto e (b) verificar relações entre os métodos de determinação da VIB e os atributos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados três experimentos de campo no estado de São Paulo: em Campinas, no Centro

Experimental de Campinas, do Instituto Agronômico (IAC), localizado na latitude 22°09' sul e longitude 47°01' oeste, em Latossolo Vermelho eutrófico típico textura argilosa (Latossolo textura argilosa); em Campos Novos Paulista, em uma propriedade agrícola particular, localizada na latitude 22°35' sul e longitude 50°00' oeste, em Latossolo Vermelho distrófico típico textura média (Latossolo textura média); em Pindorama, na Estação Experimental de Pindorama, do Instituto Agronômico, localizada na latitude 21°13' sul e longitude 48°55' oeste, em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico textura arenosa/média (Argissolo textura arenosa/média). Todas as áreas vêm sendo cultivadas sob sistema plantio direto com culturas anuais há pelo menos cinco anos. Os locais foram escolhidos por causa das diferentes classes texturais.

Os tratamentos foram quatro métodos de determinação da velocidade de infiltração básica (VIB): infiltrômetro de aspersão, permeâmetro, infiltrômetro de tensão e infiltrômetro de pressão.

O infiltrômetro de aspersão portátil utilizado foi desenvolvido no Centro de Mecanização e Automação Agrícola (CMAA) e calibrado no Centro de Solos e Recursos Agroambientais (CSRA), ambos do IAC. Para medir a infiltração, utilizaram-se parcelas de 0,60 x 0,70 m. As chuvas foram aplicadas até o escoamento constante da enxurrada, variando de 60 a 100 min. O mecanismo formador de gotas foi um bico Veejet 80100, com pressão de trabalho de 90 kPa para uma intensidade de 113 mm h⁻¹, semelhante à de Barcelos et al. (1999) e à de Chu (1986), e com coeficiente de uniformidade de Christiansen de 92 %.

O permeâmetro de campo utilizado foi um modelo desenvolvido por Vieira (1995-1998). Este aparelho fornece água ao solo com carga hidráulica controlada. As medições de infiltração de água no solo foram realizadas com carga hidráulica de 6 cm, na profundidade de 10 cm, em orifícios abertos com trado de 6,5 cm de diâmetro.

O infiltrômetro de tensão utilizado foi o modelo de Perroux & White (1988), com diâmetro da base de 25 cm. Este infiltrômetro tem um mecanismo capaz de realizar medições de infiltração de água sob potencial negativo, permitindo o estudo do movimento da água em solos não saturados. No entanto, para fins de comparações de VIB entre os métodos, utilizou-se o potencial de tensão igual a zero, em que a água flui por todos os poros do solo.

O infiltrômetro de pressão é o mesmo permeâmetro descrito anteriormente, com medições de VIB na superfície do solo. Para tanto, foram utilizados um anel cilíndrico de 16,5 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo 5 cm enterrados no solo, e uma carga hidráulica de 3 cm.

Nos métodos do permeâmetro, do infiltrômetro de tensão e do infiltrômetro de pressão, foram feitas

três determinações de VIB por parcela experimental, enquanto, no infiltrômetro de aspersão, foi realizada somente uma avaliação por parcela.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e dez repetições em cada área experimental, com parcelas de 1,25 m² para cada tratamento. As avaliações de VIB foram realizadas no período de setembro a novembro de 2000, antes do plantio das culturas de verão. Foi aberta um trincheira de 50 x 50 x 50 cm no centro de cada bloco, entre duas parcelas, para coleta de amostras deformadas e indeformadas, para avaliação das propriedades do solo. Foram coletadas amostras em três profundidades, 0-15, 15-30 e 30-45 cm, com três repetições. Determinaram-se os seguintes atributos do solo: densidade do solo, densidade de partícula, porosidade, granulometria, argila dispersa em água e matéria orgânica, pelo método de Camargo et al. (1986); estabilidade de agregados em água, de acordo com Kemper & Chepil (1965), e cobertura do solo, pelo método fotográfico, proposto por Jorge et al. (1996).

Com vistas em comparar os métodos e o efeito de interação entre métodos e tipos de solo, foram utilizadas as análises de variância e conjunta dos experimentos e, para comparar as médias, o teste de Tukey. Para diminuir a amplitude das variâncias, realizou-se transformação logarítmica dos dados de velocidade de infiltração básica. Para verificar a vinculação entre os valores de VIB e os atributos do solo, realizaram-se análises de correlação.

Cálculo dos valores de velocidade de infiltração básica (VIB)

Para determinar os valores de VIB (mm h⁻¹), utilizaram-se as seguintes equações para os respectivos equipamentos:

Infiltrômetro de aspersão:

$$VIB = P - \left[\frac{60 \times \left(\frac{E}{1000} \right)}{A} \right] \quad (1)$$

em que P é a precipitação do infiltrômetro de aspersão, mm h⁻¹; E é o escoamento superficial, mL min⁻¹; A é a área da parcela do infiltrômetro de aspersão, m².

Permeâmetro:

$$VIB = q \times 60 \times \left(\frac{D_p^2}{D_o^2 + (4 \times D_o \times H)} \right) \quad (2)$$

em que q é o fluxo constante de água do permeâmetro, mm min⁻¹; D_p é o diâmetro do permeâmetro, mm; D_o é o diâmetro do orifício, mm; H é a carga hidráulica, mm.

Infiltrômetro de tensão:

$$VIB = q \times 60 \times \left(\frac{Dt^2}{Db^2} \right) \quad (3)$$

em que q é o fluxo constante de água do infiltrômetro de tensão, mm min^{-1} ; Dt é o diâmetro do tubo do infiltrômetro de tensão, mm ; Db é o diâmetro da base do infiltrômetro de tensão, mm .

Infiltrômetro de pressão:

$$\text{VIB} = q \times 60 \times \left(\frac{\text{Dip}^2}{\text{Da}^2} \right) \quad (4)$$

em que q é o fluxo constante de água do infiltrômetro de pressão, mm min^{-1} ; Dip é o diâmetro do infiltrômetro de pressão, mm ; Da é o diâmetro do anel cilíndrico, mm .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de velocidade de infiltração básica (VIB) determinados com infiltrômetro de aspersão, permeâmetro, infiltrômetro de tensão e infiltrômetro de pressão em Latossolo textura argilosa, Latossolo textura média e Argissolo textura arenosa/média estão relacionados no quadro 1. Encontrou-se diferença significativa entre os valores de VIB obtidos por meio de cada método de determinação nos três solos estudados. O infiltrômetro de aspersão determinou os menores valores de VIB, enquanto o infiltrômetro de pressão determinou os maiores valores. Sidiras & Roth (1987) também já haviam verificado menores valores de infiltração de água no solo, utilizando um infiltrômetro de aspersão.

No Latossolo textura argilosa, o infiltrômetro de pressão determinou valor de VIB 7,2 vezes maior que o encontrado com o infiltrômetro de aspersão. Nos outros solos, essa diferença foi menor, com valores de VIB de 2,4 e 3,0 vezes maior no infiltrômetro de pressão em relação ao infiltrômetro de aspersão, no Latossolo textura média e no Argissolo textura arenosa/média, respectivamente. O permeâmetro e o infiltrômetro de tensão apresentaram valores intermediários de VIB, quando

comparados com o infiltrômetro de aspersão e de pressão. No Latossolo textura média, o infiltrômetro de tensão determinou valores de VIB maiores que os do permeâmetro, mas, no Argissolo textura arenosa/média, os valores de VIB determinados com o infiltrômetro de tensão foram menores que os do permeâmetro. Com esses resultados pode-se afirmar que o método de avaliação determina diferentes valores para a VIB.

Por meio da análise conjunta dos experimentos, verificou-se interação entre os métodos e os solos. As VIBs no Latossolo textura argilosa e no Argissolo textura arenosa/média foram semelhantes quando avaliadas pelo método do infiltrômetro de aspersão, porém muito diferentes quando avaliadas pelo método do infiltrômetro de pressão. Essa interação entre métodos e solos pode ser explicada pela relação entre os métodos e os atributos do solo, discutida a seguir.

No quadro 2, são apresentados os valores médios de densidade, porosidade, granulometria, matéria orgânica e argila dispersa em água, nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm, nos três solos estudados. O Latossolo textura argilosa apresentou os menores valores de densidade do solo e os maiores valores de porosidade total, quando comparados com os de outros solos. A microporosidade nesse solo foi superior a 50 % em relação aos demais solos. Embora mais argiloso, o Latossolo textura argilosa apresentou maior porosidade e microporosidade e menor densidade em razão da estrutura característica desses solos, associada ao maior teor de matéria orgânica.

Em todos os solos, houve diminuição da densidade e aumento da porosidade total com o aumento da profundidade. A maior densidade e a menor porosidade na superfície podem ser atribuídas ao sistema de manejo adotado nas áreas. Em sistema plantio direto, existe tendência de aumento da densidade na superfície do solo, conforme verificado por alguns autores (Anjos et al., 1994; Tormena et al., 1998; Silva et al., 2000).

Quadro 1. Valores de velocidade de infiltração básica (VIB) obtidos por quatro métodos em três tipos de solo

| Método | Latossolo textura argilosa ⁽¹⁾ | Latossolo textura média ⁽²⁾ | Argissolo textura arenosa/média ⁽³⁾ |
|---------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| | mm h ⁻¹ | | |
| Infiltrômetro de aspersão | 61,2 cB ⁽⁴⁾ | 85,8 cA | 61,4 cB |
| Permeâmetro | 170,9 bA | 129,6 bAB | 112,2 bB |
| Infiltrômetro de tensão | 175,6 bA | 200,4 aA | 72,8 cB |
| Infiltrômetro de pressão | 442,2 aA | 211,6 aB | 185,2 aB |

⁽¹⁾ Campinas (SP). ⁽²⁾ Campos Novos Paulista (SP). ⁽³⁾ Pindorama (SP). ⁽⁴⁾ Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($P = 0,05$).

Quadro 2. Valores médios de densidade do solo (Ds), densidade de partícula (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro), matéria orgânica (MO), argila (ARG), silte (SIL), areia grossa (AG), areia fina (AF), areia total (AT), argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão da argila (GD), nos três tipos de solo, nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm

| Profundidade | Densidade | | Porosidade | | | MO | Granulometria | | | | | ADA | GD |
|------------------------------------------------|------------------------|------|--------------------------------|-------|-------|--------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Ds | Dp | PT | Macro | Micro | | ARG | SIL | AG | AF | AT | | |
| cm | — Mg m ⁻³ — | | m ³ m ⁻³ | | | g kg ⁻¹ | | | | | % | | |
| Latossolo textura argilosa ⁽¹⁾ | | | | | | | | | | | | | |
| 0-15 | 1,30 | 2,71 | 0,521 | 0,150 | 0,371 | 27,77 | 587,6 | 133,1 | 165,6 | 114,0 | 241,0 | 403,4 | 68,64 |
| 15-30 | 1,22 | 2,74 | 0,552 | 0,176 | 0,376 | 21,38 | 631,2 | 130,9 | 138,6 | 99,2 | 238,4 | 240,3 | 39,77 |
| 30-45 | 1,17 | 2,74 | 0,573 | 0,192 | 0,381 | 26,21 | 669,2 | 123,8 | 116,8 | 90,3 | 206,9 | 83,7 | 12,43 |
| Latossolo textura média ⁽²⁾ | | | | | | | | | | | | | |
| 0-15 | 1,55 | 2,53 | 0,389 | 0,156 | 0,233 | 16,70 | 201,3 | 56,6 | 356,8 | 385,2 | 742,0 | 171,9 | 85,46 |
| 15-30 | 1,54 | 2,58 | 0,401 | 0,156 | 0,245 | 12,84 | 220,2 | 44,1 | 352,3 | 383,6 | 735,8 | 193,8 | 87,93 |
| 30-45 | 1,45 | 2,56 | 0,432 | 0,171 | 0,261 | 10,90 | 247,6 | 48,1 | 320,8 | 383,7 | 704,3 | 220,8 | 89,10 |
| Argissolo textura arenosa/média ⁽³⁾ | | | | | | | | | | | | | |
| 0-15 | 1,53 | 2,42 | 0,368 | 0,133 | 0,235 | 17,79 | 139,0 | 78,4 | 330,0 | 452,4 | 782,3 | 87,5 | 63,24 |
| 15-30 | 1,51 | 2,44 | 0,380 | 0,146 | 0,234 | 11,47 | 171,8 | 86,3 | 300,8 | 441,1 | 741,8 | 134,3 | 78,30 |
| 30-45 | 1,40 | 2,44 | 0,424 | 0,184 | 0,240 | 9,64 | 189,2 | 78,6 | 292,9 | 439,6 | 732,2 | 153,9 | 81,35 |

⁽¹⁾ Campinas (SP). ⁽²⁾ Campos Novos Paulista (SP). ⁽³⁾ Pindorama (SP).

No quadro 3, encontram-se os valores de cobertura do solo medidos na parcela do infiltrômetro de aspersão e os valores de distribuição dos agregados obtidos pelo método do peneiramento em água.

A maior taxa de cobertura do solo foi encontrada no Latossolo textura média que apresentava grande quantidade de resíduos culturais de milho, cultivado no outono. Já o Latossolo textura argilosa e o Argissolo textura arenosa/média mantinham resíduos culturais de leguminosas, soja e feijão, respectivamente.

Maiores valores de percentagem de agregados nas classes de 4-2, 2-1 e 1-0,5 mm foram constatados no Latossolo textura argilosa. Esta maior quantidade de agregados nessas classes, conseqüentemente, produziu maior valor do diâmetro médio ponderado dos agregados nesse solo. Os outros solos apresentaram mais de 90 % dos agregados com diâmetro menor que 0,5 mm, ou seja, um baixo índice de agregação, em decorrência dos altos teores de areia.

Os quadros 4 e 5 apresentam os valores de correlação entre os atributos do solo e os valores de VIB determinados pelos diferentes métodos.

A VIB determinada com o infiltrômetro de aspersão correlacionou-se positivamente com a percentagem de cobertura do solo. Esta correlação, que apresentou um valor de 0,701 (Quadro 5), reflete a importância da cobertura no controle do impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Sidiras & Roth (1987) e Roth et al. (1988) já

constatarem essa relação com os valores de cobertura do solo, estudando diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. Para Eltz et al. (1984), o efeito da cobertura do solo é evitar o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, impedindo a desagregação e a formação de crostas superficiais. Debarba & Amado (1997) acrescentam que, além do potencial em dissipar a energia cinética das gotas da chuva, os restos culturais representam uma barreira física ao livre escoamento da água, aumentando a velocidade de infiltração com o aumento da cobertura do solo.

Os valores de VIB determinados com o infiltrômetro de aspersão também tiveram correlação negativa com os teores de silte e positiva com os teores de areia grossa (Quadro 4). Estas duas frações de partículas do solo podem estar relacionadas com o potencial de formação de selamento superficial. Bosch & Onstad (1988) verificaram que partículas de silte estavam diretamente relacionadas com o desenvolvimento do selamento. Para Reichert et al. (1992), altos teores de areia e baixos teores de argila possivelmente formam um selo superficial mais poroso e com menor resistência. Ao contrário, tanto o método do permeômetro quanto o método do infiltrômetro de pressão tiveram correlação positiva com teores de argila e silte e negativa com as frações de areia. A relação entre as frações de partículas do solo e a formação de selamento superficial se evidencia quando a água é aplicada no solo sob a forma de precipitação (Bosch & Onstad, 1988; Reichert et al., 1992).

Quadro 3. Valores médios da cobertura do solo, classe de agregados e diâmetro médio ponderado (DMP), avaliados na profundidade de 0-15 cm, nos três tipos de solo

| Cobertura do solo | Classe de agregado | | | | | | DMP |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------|--------|--------|----------|----------|-------|
| | 7,93-6,35 mm | 6,35-4 mm | 4-2 mm | 2-1 mm | 1-0,5 mm | < 0,5 mm | |
| | % | | | | | | mm |
| | Latossolo textura argilosa ⁽¹⁾ | | | | | | |
| 57,70 | 0,3 | 0,7 | 5,1 | 16,1 | 17,5 | 60,3 | 0,738 |
| | Latossolo textura média ⁽²⁾ | | | | | | |
| 74,84 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,6 | 2,6 | 96,6 | 0,275 |
| | Argissolo textura arenosa/média ⁽³⁾ | | | | | | |
| 60,98 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 98,4 | 0,304 |

⁽¹⁾ Campinas (SP). ⁽²⁾ Campos Novos Paulista (SP). ⁽³⁾ Pindorama (SP).

Quadro 4. Correlações (r) entre os valores de VIB obtidos pelos diferentes métodos e os valores de densidade do solo (Ds), densidade de partícula (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro), matéria orgânica (MO), argila (ARG), silte (SIL), areia grossa (AG), areia fina (AF), areia total (AT), argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão da argila (GD), avaliados nos três tipos de solo, nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm

| Profundidade | Densidade | | Porosidade | | | MO | Granulometria | | | | | ADA | GD |
|--------------|---------------------------|--------|------------------------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ds | Dp | PT | Macro | Micro | | ARG | SIL | AG | AF | AT | | |
| cm | — Mg m ⁻³ — | | — m ³ m ⁻³ — | | | | — g kg ⁻¹ — | | | | | | % |
| | Infiltrômetro de aspersão | | | | | | | | | | | | |
| 0-15 | 0,428 | -0,070 | -0,300 | -0,069 | -0,290 | -0,310 | -0,261 | -0,525 | 0,412 | 0,236 | 0,307 | -0,168 | 0,656 |
| 15-30 | 0,371 | 0,009 | -0,243 | 0,087 | -0,330 | -0,207 | -0,294 | -0,531 | 0,463 | 0,251 | 0,340 | -0,040 | 0,299 |
| 30-45 | 0,314 | -0,033 | -0,218 | 0,044 | -0,275 | -0,185 | -0,266 | -0,530 | 0,392 | 0,255 | 0,312 | 0,512 | 0,460 |
| | Permeâmetro | | | | | | | | | | | | |
| 0-15 | -0,437 | 0,439 | 0,469 | -0,068 | 0,473 | 0,350 | 0,522 | 0,525 | -0,509 | -0,531 | -0,533 | 0,544 | -0,020 |
| 15-30 | -0,496 | 0,480 | 0,517 | 0,180 | 0,539 | 0,505 | 0,503 | 0,446 | -0,470 | -0,513 | -0,508 | 0,299 | -0,278 |
| 30-45 | -0,526 | 0,358 | 0,504 | 0,147 | 0,491 | 0,467 | 0,501 | 0,403 | -0,497 | -0,489 | -0,502 | -0,395 | -0,530 |
| | Infiltrômetro de tensão | | | | | | | | | | | | |
| 0-15 | -0,305 | 0,475 | 0,405 | 0,439 | 0,225 | 0,248 | 0,363 | 0,051 | -0,197 | -0,387 | -0,322 | 0,457 | 0,545 |
| 15-30 | -0,158 | 0,571 | 0,322 | 0,057 | 0,361 | 0,404 | 0,332 | -0,128 | -0,081 | -0,376 | -0,269 | 0,300 | -0,054 |
| 30-45 | -0,100 | 0,489 | 0,260 | -0,089 | 0,349 | 0,292 | 0,331 | 0,005 | -0,186 | -0,351 | -0,294 | -0,067 | -0,233 |
| | Infiltrômetro de pressão | | | | | | | | | | | | |
| 0-15 | -0,695 | 0,667 | 0,725 | 0,020 | 0,773 | 0,823 | 0,781 | 0,743 | -0,778 | -0,775 | -0,791 | 0,784 | -0,106 |
| 15-30 | -0,706 | 0,724 | 0,749 | 0,283 | 0,772 | 0,842 | 0,750 | 0,662 | -0,676 | -0,782 | -0,760 | 0,413 | -0,422 |
| 30-45 | 0,630 | 0,619 | 0,670 | -0,056 | 0,799 | 0,714 | 0,782 | 0,709 | -0,764 | -0,790 | -0,795 | 0,160 | -0,646 |

r > 0,361 é significativo a 5 % e r > 0,463 é significativo a 1 %.

De modo geral, o permeâmetro e o infiltrômetro de pressão apresentaram comportamento semelhante quanto às correlações entre VIB e as propriedades do solo (Quadros 4 e 5), porém com

valores de correlação mais altos no infiltrômetro de pressão. Esses valores de correlação mais altos podem estar associados à menor mobilização do solo quando utilizado este método. No permeâmetro, a

abertura de um orifício com um trado pode levar a uma descaracterização da estrutura do solo nas paredes do orifício. Verificou-se correlação negativa com densidade do solo e positiva com a porosidade total, quando utilizados o permeâmetro e o infiltrômetro de pressão para determinação da VIB. Tal correlação era esperada uma vez que, havendo maior espaço poroso, o volume de água que penetra no solo por unidade de tempo pode ser maior. O mesmo foi observado por Sales et al. (1999) trabalhando com um infiltrômetro de pressão com anéis concêntricos.

O permeâmetro e o infiltrômetro de pressão apresentaram, também, correlação positiva com os teores de argila e silte (Quadro 4). Isto pode ser explicado pelas relações observadas entre: densidade do solo e argila ($r = -0,888$, $P \leq 0,01$), porosidade total e argila ($r = 0,953$, $P \leq 0,01$), densidade do solo e silte ($r = -0,799$, $P \leq 0,01$), porosidade total e silte ($r = 0,791$, $P \leq 0,01$), densidade do solo e areia total ($r = 0,893$, $P \leq 0,01$) e porosidade total e areia total ($r = -0,948$, $P \leq 0,01$). As frações granulométricas mais finas estão associadas à maior porosidade e à menor densidade do solo. Jones (1983) também verificou um decréscimo na densidade do solo com o aumento dos teores de argila.

Valores de VIB correlacionaram-se, positivamente, com as classes de agregados maiores que 0,5 mm e com o DMP nos métodos de permeâmetro e do infiltrômetro de pressão. Por não haver impacto de gotas de chuvas diretamente sobre a superfície do solo, principal responsável pela sua desagregação, nesses métodos a infiltração de água está associada ao arranjo das partículas do solo, que pode

ser caracterizadas por meio da densidade do solo e da porosidade. A presença de agregados mais estáveis em água, mantém a estrutura do solo sem alteração pelo umedecimento, permitindo maior infiltração.

O infiltrômetro de tensão apresentou as menores correlações entre VIB e os atributos do solo, concordando com Wu et al. (1992), que não conseguiram detectar diferenças entre sistemas de manejo quando utilizaram potencial de água igual a zero. Ghiberto (1999) relata que o infiltrômetro de tensão é uma alternativa para caracterização do movimento da água em tensões mais baixas, quando outros métodos não conseguem atuar. Verificou-se, no entanto, que o infiltrômetro de tensão foi o único método que apresentou correlação positiva entre a VIB e a macroporosidade na camada de 0-15 cm de profundidade. Tal fato confirma que o infiltrômetro de tensão é uma ferramenta para caracterização do volume de macroporos no solo, conforme já apresentado por Perroux & White (1988), Dunn & Phillips (1991) e Everts & Kanwar (1992).

Algumas das correlações significativas observadas entre as propriedades do solo e os valores de VIB foram contrárias ao esperado, como, por exemplo, a correlação positiva entre densidade do solo e VIB medida com o infiltrômetro de aspersão. Essa correlação demonstra que, para o infiltrômetro de aspersão, os valores de VIB mostraram-se independentes das propriedades relacionadas com a estrutura do solo.

Outra correlação, que, a princípio, não era esperada, foi a correlação positiva entre VIB e argila dispersa em água no permeâmetro e nos

Quadro 5. Correlações entre os métodos de determinação da VIB versus cobertura do solo, classe de agregados e diâmetro médio ponderado (DMP), avaliados na profundidade de 0-5 cm, nos três tipos de solo

| Cobertura do solo | Classe de agregados | | | | | | DMP |
|-------------------|---------------------------|-----------|--------|--------|----------|----------|--------|
| | 7,93-6,35 mm | 6,35-4 mm | 4-2 mm | 2-1 mm | 1-0,5 mm | < 0,5 mm | |
| | % | | | | | | mm |
| | Infiltrômetro de aspersão | | | | | | |
| 0,701 | -0,250 | -0,085 | -0,225 | -0,230 | -0,297 | 0,264 | -0,347 |
| | Permeâmetro | | | | | | |
| -- | 0,343 | 0,044 | 0,480 | 0,451 | 0,502 | -0,484 | 0,445 |
| | Infiltrômetro de tensão | | | | | | |
| -- | 0,251 | -0,019 | 0,268 | 0,282 | 0,331 | -0,303 | 0,216 |
| | Infiltrômetro de pressão | | | | | | |
| -- | 0,300 | 0,463 | 0,826 | 0,818 | 0,800 | -0,832 | 0,753 |

$r > 0,361$ é significativo a 5 % e $r > 0,463$ é significativo a 1 %.

infiltrômetros de pressão e tensão e entre VIB e o grau de dispersão da argila, nos infiltrômetros de aspersão e de tensão. O aumento dos valores dessas propriedades resultou em aumento da infiltração. No entanto, os teores de argila dispersa em água estavam relacionados com os teores totais de argila do solo ($r = 0,984$, $P \leq 0,001$), e esta, por sua vez, estava relacionada com a porosidade total do solo ($r = 0,953$, $P \leq 0,01$). Isso ocorreu porque, embora com teores mais elevados de argila, o Latossolo textura argilosa apresentou menor valor de densidade do solo e maior valor de porosidade, aumentando os valores de VIB, propriedades estas mais importantes no processo de infiltração e movimento da água no solo.

CONCLUSÕES

1. Os métodos de avaliação da VIB comportaram-se diferentemente em relação ao tipo de solo.

2. Os métodos do permeâmetro e do infiltrômetro de pressão mostraram que a infiltração de água foi conduzida pelo arranjo das partículas do solo, mensuráveis por meio de propriedades, tais como: a densidade do solo e a porosidade total.

3. O método do infiltrômetro de aspersão teve o processo de infiltração governado pela cobertura do solo e pelos teores de silte e areia grossa.

AGRADECIMENTOS

Aos Srs. José Roberto Borges e Lúcio Borges, proprietários da Fazenda Lagoa Velha, em Campos Novos Paulista (SP), onde foram realizadas parte das amostragens.

LITERATURA CITADA

- ALVES SOBRINHO, T. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 85p. (Tese de Doutorado)
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 18:139-145, 1994.
- ARAÚJO FILHO, J.C. & RIBEIRO, M.R. Infiltração de água em Cambissolos do Baixo do Irecê (BA). R. Bras. Ci. Solo, 20:263-370, 1996.
- BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A. & DENARDIN, S.E. Infiltração de água em Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 23:35-43, 1999.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba, Livroceres, 1990. 355p.
- BOERS, T.M.; VAN DEURZEN, F.J.M.P.; EPPINK, L.A.A.J. & RUYTENBERG, R.E. Comparison of infiltration rates measured with an infiltrometer, a rainulator and a permeameter for erosion research in SE Nigeria. Soil Technol., 5:13-26, 1992.
- BORGES, E.; ANTONINO, A.C.D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P. & CARNEIRO, C.J.G. Determinação da condutividade hidráulica e da sortividade de um solo não-saturado utilizando-se permeâmetro a disco. Pesq. Agropec. Bras., 34:2083-2089, 1999.
- BOSCH, D.D. & ONSTAD, C.A. Surface seal hydraulic conductivity as affected by rainfall. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 31:1120-1127, 1988.
- BRITO, L.T.L.; LOUREIRO, B.T.; DENICULI, W.; RAMOS, M.M. & SOARES, J.M. Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. R. Bras. Ci. Solo, 20:503-507, 1996.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solo do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CHAVES, H.M.L.; ORLOWISK, E. & ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. R. Bras. Ci. Solo, 17:141-147, 1993.
- CHU, S.T. Determination de Green-Ampt parameters using a sprinkler infiltrometer. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 29:501-504, 1986.
- COOK, F.J. & BROEREN, A. Six methods for determining sortivity and hydraulic conductivity with disc permeameters. Soil Sci., 157:1-11; 1994.
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. R. Bras. Ci. Solo, 21:473-480, 1997.
- DUNN, G.H. & PHILLIPS, R.E. Macroporosity of well-drained soil under no-till and conventional tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:817-823, 1991.
- ELRICK, D.E. & REYNOLDS, W.D. Infiltration from Constant-Head Well Permeameters and Infiltrometers. In: TOPP, G.C.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.A. & GREEN, R.E., eds. Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. Madison, Soil Science Society of America, 1992, p.1-24. (Special Publication, 30)
- ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W.D. & TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well permeameter analysis. Ground Water Monit. Rev. 9:184-193, 1989.
- ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; SCOPEL, I. & GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno Avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, 8:117-125, 1984.
- EVERTS, C.J. & KANWAR, R.S. Interpreting tension-infiltrometer data for quantifying soil macropores: some practical considerations. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 36:423-428, 1992.

- GHIRBERTO, P.J. Metodologias para obtenção de parâmetros utilizados em modelos de infiltração da água no solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1999, 79p. (Tese de Mestrado)
- JONES, C.A. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1208-1211, 1983.
- JORGE, L.A.C.; De MARIA, I.C. & CRESTANA, S. Aquisição de imagens de cobertura vegetal. In: JORGE, L.A.C., ed. *Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS*. São Carlos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. (EMBRAPA-CNPDA. Circular Técnica, 1)
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo, Nobel, 1984. 408p.
- PERROUX, K.M. & WHITE, I. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1205-1215, 1988.
- PRUSKI, F.F. Desenvolvimento de metodologia para o dimensionamento de canais de terraço. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 97p. (Tese de Doutorado)
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:289-298, 1992.
- REYNOLDS, W.D. & ELRICK, D.E. Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:633-639, 1991.
- REYNOLDS, W.D. & ELRICK, D.E. Ponded infiltration from a single ring: I. Analysis of steady flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1233-1241, 1990.
- REYNOLDS, W.D.; VIEIRA, S.R. & TOPP, G.C. An Assessment of the single-head analysis for the constant head wheel permeameter. *Can. J. Soil. Sci.*, 72:489-501, 1992.
- ROTH, C.H.; MEYER, B. & FREDE, H.G. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. *Catena*, 12:79-85, 1985.
- ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. & DERPSCH, R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. *Soil Till. Res.*, 11:81-91, 1988.
- SALES, L.E.O.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, M.S. & CURTI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2091-2095, 1999.
- SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol. *Soil Till. Res.*, 9:161-168, 1987.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309, 1998.
- VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. *O Agrônomo*, 47-50:32-33, 1995-1998.
- WU, L.; SWAN, J.B.; PAULSON, W.H. & RANDALL, G.W. Tillage effects on measured soil hydraulic properties. *Soil Till. Res.*, 25:17-23, 1992.

