
INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, DETERMINADA POR DIFERENTES MÉTODOS, COMO INDICADOR DO POTENCIAL PRODUTIVO EM DOIS LATOSSOLOS MANEJADOS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Antônio Luis Santi, Telmo Jorge Carneiro Amado, Vanderlei Rodrigues da Silva,
Claudir José Basso, Lisandra Pinto Della Flora, Mauricio Roberto Cherubin
e Mateus Tonini Eitelwein

RESUMO

A infiltração de água no solo, determinada por três métodos, foi avaliada como indicador do potencial produtivo de duas lavouras manejadas com agricultura de precisão. Para tanto, o estudo foi conduzido em áreas comerciais, localizadas nos municípios de Palmeira das Missões e Não-Me-Toque, estado do Rio Grande do Sul, Brasil, cujo solo é classificado como Latossolo Vermelho. Utilizando ferramentas de agricultura de precisão, a partir dos históricos de produtividades georreferenciadas, dividiram-se as áreas em zonas de semelhante potencial produtivo (baixo, médio e alto), onde em cada uma fo-

ram feitas avaliações de infiltração de água no solo. Os três métodos de infiltração utilizados foram: duplos anéis concêntricos, infiltrômetro de Cornell e Soil Quality Test Kit (kit de qualidade do solo), com cinco repetições por zona. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que independente dos métodos utilizados, a infiltração de água no solo foi um eficiente indicador de áreas com diferentes potenciais produtivos, com as maiores taxas de infiltração verificadas nas zonas de alto potencial produtivo, seguidas pelas zonas de médio e baixo potencial produtivo.

Introdução

Dentre os atributos físicos do solo, a taxa de infiltração de água, caracteriza-se como um dos mais importantes para avaliar a qualidade do solo, pois integra várias características como a estabilidade de agregados, selamento superficial, distribuição do tamanho e continuidade de poros, poros biológicos e a cobertura do solo (Reichert *et al.*, 2009).

Em áreas agrícolas, a infiltração de água no solo pode ser determinada através de infiltrômetros de aspersão (Chaves *et al.*, 1993), infiltrômetros

de pressão ou permeômetros de disco (Reynolds e Elrick, 1991), infiltrômetros de pressão (Elrick e Reynolds, 1992) e permeômetros (Elrick *et al.*, 1989; Reynolds *et al.*, 1992). O método dos cilindros concêntricos (infiltrômetro de pressão) utiliza uma carga hidráulica sobre a superfície do solo e tem sido utilizado como padrão para a determinação da infiltração, apesar de, que este método pode superestimar a real infiltração de água (Costa *et al.*, 1999).

Brito *et al.* (1996) analisaram dois métodos de determinação da taxa de infiltração básica

(infiltrômetros de aspersão e anéis concêntricos) sob condições de solo descoberto e com presença de cobertura morta. Os resultados obtidos indicaram infiltração superior no método do infiltrômetro de anéis concêntricos em relação ao de aspersão, especialmente sob solo descoberto, devido à ausência de desagregação e do selamento superficial do solo. Pruski *et al.* (1997) em um Latossolo Vermelho distroférrico, utilizando infiltrômetros de anéis concêntricos e quatro combinações diferentes de intensidade e duração de precipitação através de infiltrômetro

de aspersão tipo simulador de chuva, também verificaram que a taxa de infiltração determinada com infiltrômetro de anéis foi superior aos demais tratamentos.

No entanto, são os elevados valores de dispersão dos dados (coeficiente de variação) geralmente verificados nas avaliações da infiltração de água, que têm limitado a sua utilização em áreas extensas, devido à necessidade de elevado número de repetições. Neste sentido, as ferramentas de agricultura de precisão possibilitam delimitar espacialmente zonas homogêneas quanto ao poten-

PALAVRAS CHAVE / Agricultura de Precisão / Infiltração de Água / Qualidade do Solo / Rendimento de Grãos / Zonas de Potencial Produtivo /

Recebido: 31/01/2012. Modificado: 29/02/2012. Aceito: 07/03/2012.

Antônio Luis Santi. Engenheiro Agrônomo e Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil. Professor, UFSM, Brasil. Endereço: Linha Sete de Setembro, s/n, BR 386 km 40, CEP: 98400-000 Frederico Westphalen-RS, Brasil. e-mail: santi_pratica@yahoo.com.br

Telmo Jorge Carneiro Amado. Engenheiro Agrônomo e Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio

Grande do Sul, Brasil - Auburn University, EEUU. Professor, UFSM, Brasil. Professor convidado, Kansas State University, EEUU. e-mail: tamado@smail.ufsm.br

Vanderlei Rodrigues da Silva. Engenheiro Agrônomo e Doutor em Ciência do Solo, UFSM, Brasil. Pós-doutorado, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Alemanha. Professor, UFSM, Brasil. e-mail: vanderlei@ufsm.br

Claudir José Basso. Engenheiro Agrônomo e Doutor em Ciência do Solo, UFSM, Brasil. Professor, UFSM, Brasil. e-mail: claudirbasso@gmail.com

Lisandra Pinto Della Flora. Engenheira Agrônoma e Mestre em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil. Professora, UFSM, Brasil. e-mail: lisandra_cafw@yahoo.com.br

Maurício Roberto Cherubin. Engenheiro Agrônomo e Mes-

trando, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, UFSM, campus de Frederico Westphalen, RS, Brasil. e-mail: mauricio_eafs@yahoo.com.br

Mateus Tonini Eitelwein. Engenheiro Agrônomo e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, UFSM, campus de Frederico Westphalen, RS, Brasil. e-mail: mateus_tonini@hotmail.com

WATER INFILTRATION EVALUATED BY DIFFERENT METHODS AS AN INDICATOR OF YIELD POTENTIAL OF OXISOL AREAS MANAGED UNDER PRECISION FARMING

Antônio Luis Santi, Telmo Jorge Carneiro Amado, Vanderlei Rodrigues da Silva, Claudir José Basso, Lisandra Pinto Della Flora, Maurício Roberto Cherubin and Mateus Tonini Eitelwein

SUMMARY

Soil water infiltration, determined by three different methods, was evaluated as an indicator of yield potential of Oxisol areas managed with precision farming tools. The study was carried out in two commercial croplands located in Palmeira das Missões and Não-Me-Toque, Rio Grande do Sul State, Brazil. The soil is classified as Oxisol (Hapludox). By using precision farming tools and overlapping historical georeferenced yields, the cropland was divided into zones of homogeneous (low, me-

dium and high) yield potential, and soil water infiltration was evaluated. Three methods were used: double concentric rings, Cornell infiltrometer and the Soil Quality Test Kit, with five replicates per area. Regardless of the type of measurement, soil water infiltration was an efficient indicator of yield production. The highest rates of infiltration occurred in areas of high productive potential, followed by areas of medium and low zones.

INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL SUELO, EVALUADA POR DIFERENTES MÉTODOS COMO INDICADOR DEL POTENCIAL PRODUCTIVO EN DOS OXISOLES MANEJADOS CON AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Antônio Luis Santi, Telmo Jorge Carneiro Amado, Vanderlei Rodrigues da Silva, Claudir José Basso, Lisandra Pinto Della Flora, Maurício Roberto Cherubin y Mateus Tonini Eitelwein

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de la infiltración del agua en el suelo, determinada por tres métodos diferentes, como un indicador del potencial de rendimiento en dos áreas de laboreo conducidas bajo agricultura de precisión. Dicho estudio se realizó en dos áreas de producción ubicadas en las localidades de Palmeira das Missões y Não-Me-Toque, estado de Rio Grande do Sul, Brasil, cuyo suelo está clasificado como Oxisol. Utilizando herramientas de agricultura de precisión, y en base a los rendimientos históricos de áreas georeferenciadas, se dividieron las áreas en zonas de similar potencial de rendimiento (baja, media y alta), y en cada una

fueron realizadas evaluaciones de infiltración de agua en el suelo. Los tres métodos de infiltración utilizados fueron: dobles anillos concéntricos, infiltómetro de Cornell y el Soil Quality Test Kit (estuche de calidad del suelo), con cinco repeticiones por zona. Con los resultados obtenidos se concluyó que, independientemente del método utilizado, la infiltración de agua en el suelo es un indicador eficiente de las áreas con potencial diferente de rendimiento, con las más altas tasas de infiltración en zonas de alto potencial productivo, seguido por las áreas de media y baja potencial productivo.

cial produtivo das culturas (Molin, 2002) e desta forma realizar a avaliação da infiltração de água no solo nestes locais previamente definidos, viabilizando sua aplicação em áreas extensas (Santi, 2007).

Neste contexto, o objetivo do estudo foi avaliar o uso da infiltração de água no solo, através de diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo de áreas comerciais sob Latossolos manejados com agricultura de precisão.

Material e Métodos

Caracterização dos locais de estudo

O estudo foi conduzido em duas áreas comerciais, uma no município de Palmeira das Missões (PM), apresentando 57,4ha, situada nas coordenadas 27°53'S e 51°18'O, com altitude

TABELA I
HISTÓRICO DAS PRODUTIVIDADES DE GRÃOS OBTIDAS DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS DE PALMEIRA DAS MISSÕES E NÃO-ME-TOQUE, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL, AMBAS MANEJADAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Safras	Número de pontos amostrais	Produtividade (kg ha ⁻¹)			CV(%)
		Máxima	Média	Mínima	
Palmeira das Missões - PM					
Soja (2000/01)	22.871	4.860	3.180	1.980	16,20
Milho (2001/02)	43.085	12.960	7.800	3.060	20,80
Soja (2002/03)	9.250	4.980	3.240	1.800	20,62
Trigo (2003)	10.335	5.520	3.540	960	18,18
Soja (2003/04)	8.943	3.780	2.220	720	18,73
Milho (2004/05)	28.999	12.960	6.000	1.600	27,21
Não-Me-Toque - NMT					
Milho (2001/02)	84.191	13.020	5.640	1.140	26,53
Soja (2002/03)	52.180	5.220	3.720	1.080	21,74
Trigo (2003)	51.307	5.580	2.700	540	14,74
Milho (2004/05)	36.875	13.980	7.680	1.500	27,22

de ~600m, e a outra no município de Não-Me-Toque (NMT), apresentando 132ha, situada nas coordenadas 28°48'S e 52°77'O e com altitude de ~550m. As duas áreas estão localizadas na região do

Planalto Médio, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa (Embrapa, 2006) e clima, segundo a classificação de Maluf (2000) é ST

PU (subtropical com primavera úmida) com temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial anual de 1919mm.

As duas áreas estudadas, PM e NMT, vêm sendo manejadas sob sistema de plantio direto há

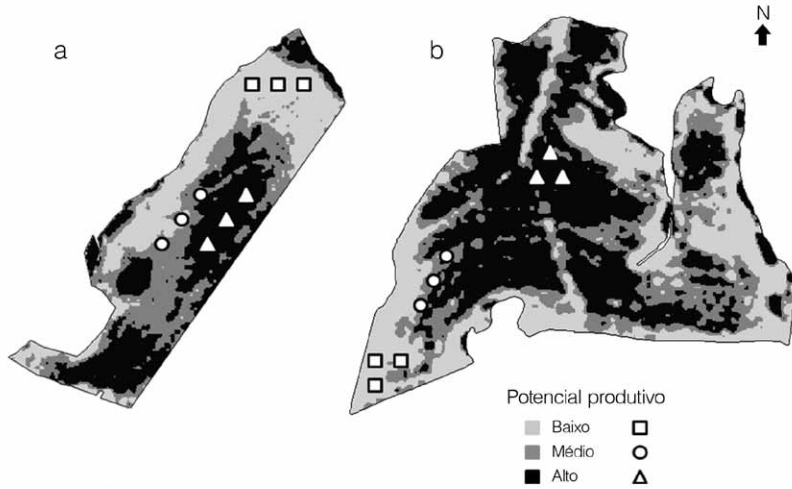


Figura 1. Áreas experimentais, Palmeira das Missões (a) e Não-Me-Toque (b), Rio Grande do Sul, Brasil, divididas em três zonas de acordo com o potencial produtivo (alto, médio e baixo). Os símbolos representam os locais onde foram realizadas as avaliações (caracterização física do solo e teste de infiltração de água).

15 e 12 anos, respectivamente, com cultivos de soja e milho no verão, alternados com trigo e culturas de cobertura hibernais. Na Tabela I são apresentados os valores das produtividades obtidas no histórico de seis safras na área de PM e quatro safras na área de NMT. A partir da sobreposição dos mapas de rendimento das referidas safras, obtidos por meio de colhedora MF-34, equipada com o sistema *Fieldstar*, as áreas foram divididas em três zonas, conforme o potencial produtivo (alto, médio e baixo rendimento), de acordo com metodologia proposta por Molin (2002). Esse autor estabeleceu as classes de baixo (<95%), médio (95-105%) e alto (>105%) do rendimento médio obtido na respectiva safra. Em cada zona foram estabelecidos três pontos georreferenciados para realização de uma caracterização das propriedades físicas do solo na camada 0-0,20m e os testes de infiltração de água (Figura 1). A localização dos pontos foi realizada com sistema de posicionamento global (GPS) de navegação portátil Garmin® e a geração dos mapas através do programa computacional Campeiro.

Os resultados médios da caracterização das principais propriedades físicas do solo foram: a) PM- teor de argila: 730, 741 e 785g·kg⁻¹; umidade volumétrica: 0,243, 0,236,

0,241cm³·cm⁻³; densidade do solo: 1,336; 1,386 e 1,373Mg·m⁻³; porosidade total: 0,600; 0,592 e 0,616m³·m⁻³; macroporosidade: 0,162; 0,159 e 0,159m³·m⁻³ nas zonas de alto, médio e baixo rendimento, respectiva-

mente; b) NMT- teor de argila: 572, 616 e 518g·kg⁻¹; umidade volumétrica: 0,253, 0,266, 0,259cm³·cm⁻³; densidade do solo: 1,188; 1,281 e 1,337Mg·m⁻³; porosidade total: 0,532; 0,509 e 0,506m³·m⁻³; macroporosidade: 0,194; 0,168 e 0,185m³·m⁻³ nas zonas de alto, médio e baixo rendimento, respectivamente.

Infiltração de água no solo

A taxa de infiltração de água no solo e a infiltração acumulada foram investigadas por três métodos: 1) duplos anéis concêntricos, descrito em Bouwer (1986), com modificações propostas por Nicoloso (2005); 2) *Cornell Sprinkle Infiltrometer*

ter (CSI) descrito por van Es e Schindelbeck (2003); e 3) infiltrômetro do *Soil Quality Test Kit* (USDA-ARS, 1998).

No método de duplos anéis concêntricos foi mantido o fluxo de água constante através de um recipiente acoplado a um cilindro central de 0,25m de diâmetro introduzido até 0,10m no solo e outro recipiente, também mantido com água, de 0,45m de diâmetro para minimizar o efeito do fluxo lateral de água. O volume de água infiltrada foi medido em intervalos regulares de tempo (5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 e 120min).

O CSI é um simulador portátil de chuva com volume de 20,6 litros, equipado com 69 tubos gotejadores na sua parte inferior. Este infiltrômetro é fixado sobre um cilindro de 0,241m de diâmetro e possui um sistema de regulagem de entrada de ar na parte superior que permite simular diferentes intensidades de chuva. O CSI é prático, de fácil calibração, com

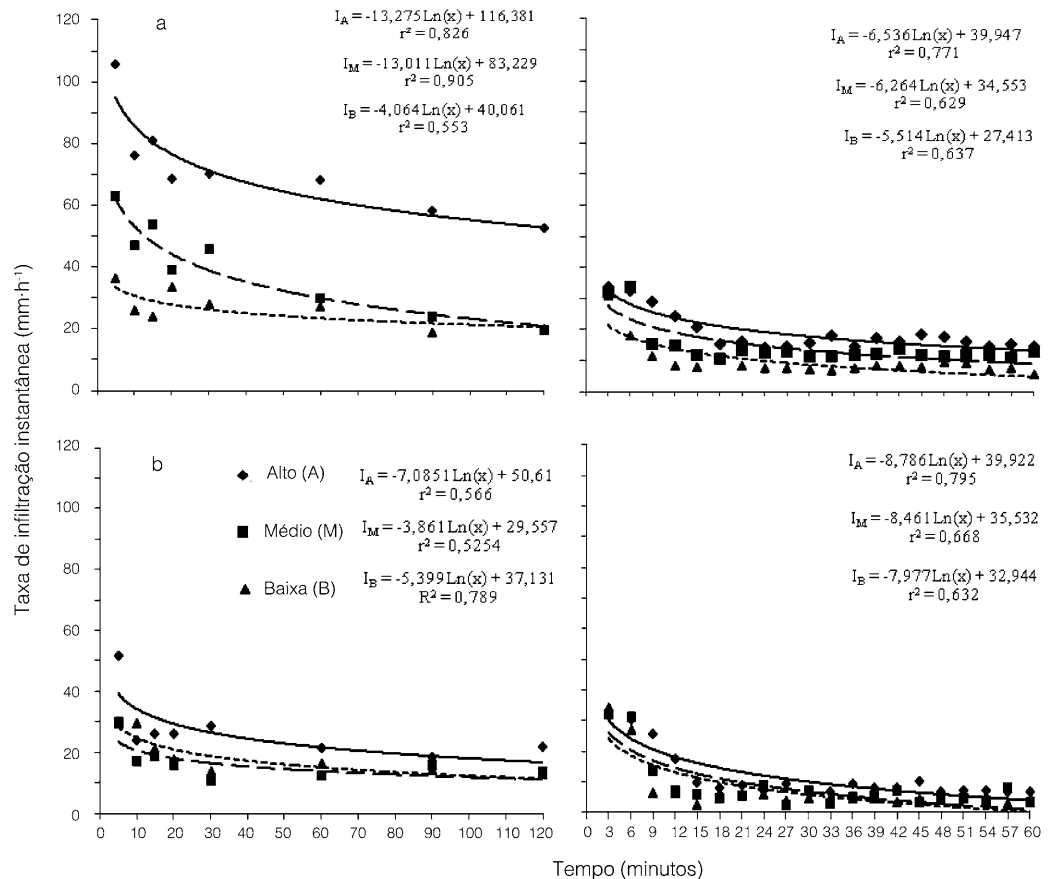


Figura 2. Taxa de infiltração instantânea de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro de duplos anéis concêntricos (à esquerda) e do *Cornell Sprinkle Infiltrometer -CSI* (à direita) em zonas de diferentes potenciais produtivos, na área de Palmeira das Missões (a) e Não-Me-Toque (b), Rio Grande do Sul, Brasil.

rápida avaliação que pode ser determinada por uma única pessoa além do baixo consumo de água. A intensidade da chuva (IC) e o escoamento superficial (ES) foram determinados conforme metodologia descrita por Santi (2007). A infiltração de água (IA) foi determinada por diferença entre a IC e o ES.

No infiltrômetro do *Soil Quality Test Kit* (USDA-ARS, 1998), foram utilizados cilindros de 0,15m de diâmetro e 0,125m de altura, introduzidos no solo a uma profundidade de 0,075m. Colocou-se um filme de polietileno sobre o solo dentro do cilindro para impedir a infiltração da água no solo antes do início das leituras. Após adicionar 444ml de água (correspondente a 2,54cm de lâmina) ao cilindro, o filme de polietileno foi retirado e anotado o tempo transcorrido para a infiltração de todo o líquido. Foram realizadas duas avaliações por cilindro para o registro dos dados.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Em cada repetição ainda foram feitas cinco avaliações de infiltração para compor uma média. As curvas de infiltração instantânea e acumulada de água no solo, obtidas pelos métodos de duplos anéis concêntricos e CSI, foram avaliadas por meio de regressões não lineares entre os valores estimados e os valores médios observados em cada tratamento estudado, juntamente com os respectivos coeficientes de determinação. Os dados obtidos pelo método do *Soil Quality Test Kit* foram submetidos à análise da variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o programa NTIA/SOC (Embrapa, 1997).

Resultados e Discussão

No infiltrômetro de duplos anéis concêntricos foi observada maior infiltração instantânea do que no CSI, nas duas áreas avaliadas (Figura 2). Estes resultados concordam com os anteriormente obtidos por Pott e De Maria (2003) onde com o infiltrômetro de aspersão deter-

minaram-se valores 2,4 e 3,0 vezes menores do que os obtidos com o infiltrômetro de pressão, alcançando para um Latossolo textura média e Argissolo textura arenosa/média, respectivamente.

Em PM, o infiltrômetro de duplos anéis apresentou valores para a taxa de infiltração de água acumulada de 1,62 e 1,33 vezes maior que o infiltrômetro CSI para as zonas de alto e médio rendimento, respectivamente. Por outro lado, na zona de baixo rendimento em ambas as áreas estudadas essas diferenças não se mantiveram.

Na área de PM, nos primeiros 5min de leitura (método do infiltrômetro de duplos anéis concêntricos), os locais com alto rendimento apresentaram uma taxa de infiltração instantânea de 100 e 200% superiores as zonas de médio e baixo rendimento, respectivamente. Após 120min de teste, a taxa de infiltração se igualou nos locais de médio e baixo rendimento, enquanto que na zona de alta, a taxa ainda foi 100% superior às demais. Em NMT,

embora com diferença menor entre os tratamentos, a taxa de infiltração, na zona de alto rendimento, nos primeiros 5min foi 95% superior que as zonas de médio e baixo rendimento e mesmo após 120min de avaliação a infiltração, nesta zona, ainda foi 75% superior às demais.

O método do infiltrômetro de duplos anéis concêntricos, embora talvez não expresse o valor real da infiltração instantânea de água no solo, pelas razões já discutidas anteriormente e reforçadas por Brito *et al.* (1996) e por Pott e De Maria (2003), foi o mais eficiente em discriminar a variabilidade espacial do rendimento existente nas áreas. Esse método proporcionou a maior amplitude nas taxas de infiltração instantânea de água no solo entre as zonas de potencial produtivo investigadas. Este fato é relevante, pois evidencia que este método foi mais sensível as zonas de potencial produtivo do que o método de aspersão.

Na área de PM, a taxa de infiltração de água no solo acu-

mulada determinada pelo método de duplos anéis concêntricos, em valores relativos, foram 34 e 44% superiores aos valores observados no método de CSI no solo nas zonas de alto e médio rendimento, respectivamente (Figura 3). Resultado semelhante também foi observado no solo da área de NMT, onde na zona de médio rendimento observaram-se infiltrações 28% mais elevadas no método de duplos anéis concêntricos em relação ao CSI.

Analisando os resultados obtidos na área de PM pelo método de duplos anéis concêntricos, a diferença na taxa de infiltração de água acumulada entre os locais de alto rendimento (600mm) e de baixo rendimento (192mm) foi de 408mm (213% superior). Na área de NMT, os valores numéricos foram menores, mas também demonstraram a superioridade na taxa de infiltração acumulada dos locais de alto rendimento (288mm) em relação aos locais de baixo rendimento (136mm), uma diferença de 152mm (112%).

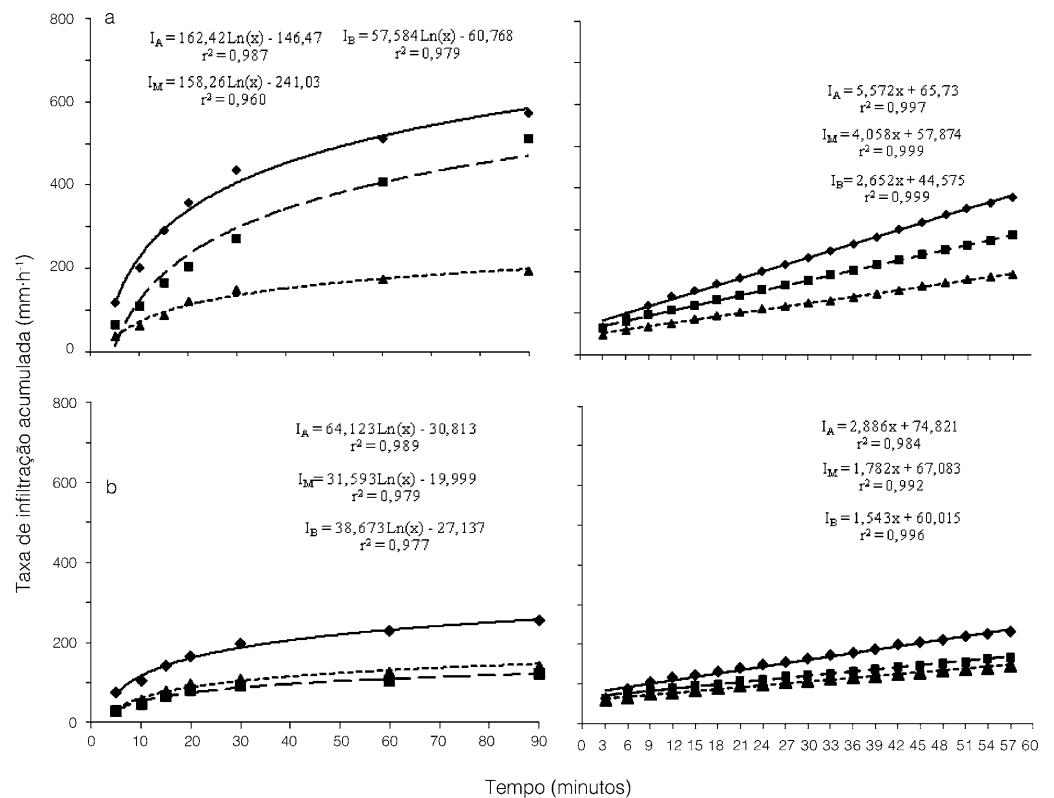


Figura 3. Infiltração acumulada de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro de duplos anéis concêntricos (à esquerda) e do *Cornell Sprinkle Infiltrometer*-CSI (à direita) em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Palmeira das Missões (a) e Não-Me-Toque (b), Rio Grande do Sul, Brasil.

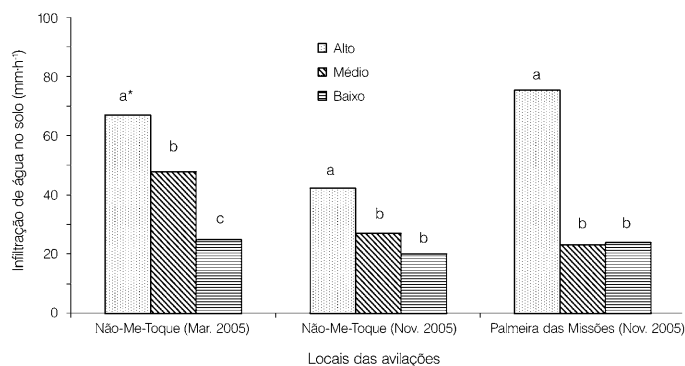


Figura 4. Infiltração de água no solo, em zonas de alto, médio e baixo potencial produtivo, obtida a partir do método do *Soil Quality Test Kit*/USAD-ARS, na área de Palmeira das Missões e Não-Me-Toque, Rio Grande do Sul, Brasil.

* Médias seguidas por mesma letra, entre as zonas de rendimento em cada área experimental, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na busca de um método prático de campo com possibilidade de aplicação em extensas áreas, também foi investigado o método proposto pelo *Soil Quality Test Kit*. De acordo com Evanylo e McGuinn (2000), os procedimentos presentes no *Soil Quality Test Kit* são de fácil entendimento e podem ser realizados rapidamente em comparação aos métodos tradicionais. Na área de NMT, foram realizadas avaliações da taxa de infiltração com esse método em duas épocas do ano (março e novembro 2005). Na avaliação realizada em março de 2005 o método mostrou-se sensível e eficiente na definição das zonas com diferente potencial produtivo (Figura 4). A tendência entre as zonas se manteve na avaliação de novembro, mas a análise estatística, não apresentou diferenças significativas entre as zonas de baixo e médio rendimento.

Observando as avaliações realizadas em novembro, nas duas áreas esse método foi capaz de discriminar as zonas de alto rendimento das zonas de médio e baixo rendimento. Amado *et al.* (2007) anteriormente reportaram a eficiência desse infiltrômetro em discriminar sistemas de manejo quanto a qualidade do solo em Argissolos. Desta forma, verificou-se que a diferença na taxa de infiltração de água no solo, entre as zonas de alto e baixo rendimento foi tão elevada que mesmo um método mais sim-

ples foi capaz de discriminar as zonas com diferentes potenciais produtivos. Amado *et al.* (2009) em área irrigada sob pivô central também em PM, em zona de baixo rendimento reportou elevada densidade do solo, menor macroporosidade e maior resistência a penetração, determinando que a redução na qualidade física do solo foi responsável pelas limitações no rendimento de grãos.

Neste trabalho os três métodos de infiltração investigados indicaram que as taxas de infiltração foram inferiores na zona de baixo rendimento quando comparada com a zona de alto rendimento, sugerindo que as limitações físico-hídricas do solo estão condicionando a variabilidade espacial do rendimento grãos. Desta forma, infiltração de água no solo, constituiu-se como um importante indicador de qualidade do solo, passível de ser utilizada para identificar áreas com diferentes potenciais produtivos. Este indicador pode ser agregado às avaliações químicas do solo já tradicionalmente utilizadas na agricultura de precisão, resultando em melhor caracterização das áreas comerciais.

Conclusão

A infiltração de água no solo, independente do método de determinação, foi eficiente como indicador de áreas com diferentes potenciais produtivos na mesma área comercial.

As maiores taxas de infiltração de água no solo foram determinadas nas zonas de alto rendimento, seguidas pelas de médio e baixo, independente do infiltrômetro utilizado.

O método de duplos anéis concêntricos apresentou maiores valores de infiltração acumulada que os demais métodos, sugerindo superestimação dos valores de infiltração.

REFERÊNCIAS

Amado TJC, Conceição PC, Bayer C, Eltz FLF (2007) Qualidade do solo avaliada pelo "Soil quality test kit" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 31: 109-121.

Amado TJC, Pes LZ, Lemainski CL, Schenato RB (2009) Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33: 831-843.

Bouwer H (1986) Intake rate: Cylinder infiltrometer. Em: Klute A, *Methods of soil analysis I, physical and mineralogical methods*. 2ed, pp. 825-844.

Brito LTL, Loureiro BT, Deniculi W, Ramos MM, Soares JM (1996) Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 20: 503-507.

Chaves HML, Orłowski WE, Roloff G (1993) Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 17: 141-147.

Costa EL, Silva AM, Colombo A, Abreu AR (1999) Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 3: 131-134.

Elrick DE, Reynolds WD (1992) Infiltration from Constant-head well permeameters and infiltrometers. Em: Toop GC, Reynolds WA, Green RE (Eds.) *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. Soil Science Society of America Special Publication N° 30. Madison, WI, EEUU. pp. 1-24.

Elrick DE, Reynolds WD, Tan KA (1989) Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated zone using improved well analyses. *Ground Water Monit. Rev.* 9: 184-193.

EMBRAPA (1997) *SOC: Ambiente de software NTIA, versão 4.2.2: Manual do usuário - ferramental estatístico*. Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura. Campinas, Brasil. 258 pp.

EMBRAPA (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, Brasil. 412 pp.

Evanylo G, McGuinn R (2000) *Agricultural Management Practices and Soil Quality: Measuring, Assessing and Comparing Laboratory and Field Test Kit Indicators of Soil Quality Attributes*. Virginia Cooperative Extension Publication N° 452-400. 10 pp.

Maluf JRT (2000) Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Agro-meteorol.* 8: 141-150.

Molin JP (2002) Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Eng. Agríc.* 22: 83-92.

Nicoloso RS (2005) *Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Áreas de Integração Lavoura-Pecuária sob Sistema Plantio Direto*. Tese. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil. 149 pp.

Pott CA, De Maria IC (2003) Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 27: 19-27.

Pruski FF, Vendrame V, Oliveira EF, Balbino LC, Ferreira PA, Werlang L, Carvalho LT (1997) Infiltração de água num Latossolo Roxo. *Rev. Pesq. Agropec. Bras.* 32: 77-84.

Reichert JM, Suzuki L, Reinert DJ, Horn R, Hakansson I (2009) Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Till. Res.* 102: 242-254.

Reynolds WD, Elrick DE (1991) Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 633-639.

Reynolds WD, Vieira SR, Topp GC (1992) An assessment of the single-head analysis for the Constant head well permeameter. *Can. J. Soil Sci.* 72: 489-501.

Santi AL (2007) *Relações entre Indicadores de Qualidade do Solo e a Produtividade das Culturas em Áreas com Agricultura de Precisão*. Tese. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil 175 pp.

USDA-ARS (1998) *Soil Quality Test Kit Guide*. Soil Quality Institute. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. Lincoln, NE, EEUU. http://soils.usda.gov/sqi/assessment/test_kit.html

van Es H, Schindelbeck R (2003) *Field Procedures and Data Analysis for the Cornell Sprinkle Infiltrometer*. R 03, p.01-08. www.sjrcd.org/soilhealth/healthsoil/staff-infiltrometer.pdf