



ISSN 1677-8464

Avaliação da Variabilidade Espacial de Parâmetros Físicos do Solo Sob Plantio Direto em São Paulo - Brasil

José Ruy Porto de Carvalho¹
Sidney Rosa Vieira²
Paulo Roberto Marinho³
Sonia Carmela Dechen²
Isabella Castro de Maria²
Cristiano Antonio Pott³
Guido Dufranc³

A necessidade de produção de alimentos para uma população em constante crescimento com impactos mínimos ao meio ambiente faz com que a necessidade de conhecimento detalhado das variáveis envolvidas no sistema de produção seja cada vez maior.

A competitividade do sistema de produção agrícola tem experimentado grandes pressões no sentido de maximização de rendimentos por unidade de área e de tempo. Uma das condições básicas para que essa competitividade alcance os objetivos almejados é que não haja limitações no fornecimento de água para as culturas. O solo se comporta como um grande reservatório de água, a qual é armazenada nos períodos chuvosos como parte da precipitação, e pode ser utilizada em períodos de estiagem. O manejo adequado do solo deve almejar a maximização da capacidade do solo em permitir a infiltração das chuvas e também o armazenamento de água (Vieira et al., 1997).

Medições de permeabilidade, infiltração e condutividade hidráulica passaram a ser muito importantes, uma vez que o manejo do solo pode modificar suas características quanto às propriedades

físicas (Sarvasi, 1994) e químicas (Castro, 1995). Além disso, alguns parâmetros necessitam de informações adicionais para que os diagnósticos sejam mais realistas, como por exemplo, densidade do solo e porosidade (Sidiras et al., 1984).

Este trabalho utiliza aplicações de métodos de geoestatística como semivariogramas e krigagem, para analisar a variabilidade espacial de alguns parâmetros físicos como permeabilidade, infiltração e condutividade hidráulica, sob plantio direto, como subsídio para averiguar possíveis causas de variação do rendimento de grãos em sistema de rotação de culturas, sob Latossolo Vermelho-escuro na região de São Paulo.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em uma propriedade particular de aproximadamente 35 ha, localizada no município de Campos Novos Paulista, São Paulo - Brasil, onde é feito plantio direto em rotação com soja, aveia preta, milheto e milho "safrinha". Esta atividade vem sendo desenvolvida há pelo menos cinco anos.

¹ Ph.D. em Estatística, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.

² Pesquisadores do Instituto Agrônomo, Caixa Postal 28 - 13001-970 - Campinas, SP.

³ Estudantes de Pós-Graduação do Instituto Agrônomo.

A área foi amostrada em grade retangular uniforme de 50 x 50 m, totalizando 146 pontos. As medições de permeabilidade do solo foram feitas utilizando permeâmetro de campo (modelo IAC) com carga hidráulica constante de 3 e 6 cm, que funciona pelo princípio de Mariotte (Vieira, 1998).

Duas profundidades de solo foram coletadas, 10 e 20 cm. Destas medidas resulta a taxa constante em mm/min, correspondente a cada uma das cargas hidráulicas usadas. As medições foram efetuadas com permeâmetro de carga constante no campo (Libardi, 2000), o que permite calcular a infiltração de água no solo através de sua superfície (Infil); a condutividade hidráulica saturada (Kfs-R) que é um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso em condições de saturação, quando todos os poros estão preenchidos pelo fluido; o potencial matricial de fluxo (Phi-R) que é um parâmetro relacionado a sortividade (capacidade do solo absorver água em relação à sua umidade inicial) e é um indicador da capilaridade de um meio poroso, isto é, da capacidade de absorver água e o parâmetro Alpha, o qual estabelece a relação exponencial entre condutividade hidráulica e umidade de solo.

A geoestatística foi utilizada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados. Segundo Vieira (1997), é necessário conhecer o grau de dependência espacial entre as amostras, que pode ser avaliado pelo semivariograma, possibilitando construir mapas de isolinhas ou tridimensionais para exame e interpretação da variabilidade espacial.

Vieira et al. (1983) afirmam que a dependência espacial entre as observações pode ser expressa através do semivariograma, estimado pela seguinte equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

onde $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separado pela distância h , se a variável for escalar. O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e portanto depende de ambos, magnitude e direção de h . Modelos matemáticos devem ser ajustados aos semivariogramas, os quais permitem visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas, além de serem necessários para outras aplicações, como por exemplo, krigagem.

Os seguintes modelos matemáticos foram ajustados aos semivariogramas:

a) Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \quad h \geq a$$

b) Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right], \quad 0 < h < d$$

onde d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

c) Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right], \quad 0 < h < d$$

Para os três modelos citados, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar e a é o alcance do semivariograma. O valor da semivariância na interseção do eixo Y, denominado efeito pepita, representa a variabilidade da propriedade em estudo em espaçamento menores do que o amostrado. Assim, quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial do atributo em questão. O alcance da dependência espacial representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si do que com aqueles localizados fora dessa área.

Os valores obtidos através da krigagem são não viados e têm variância mínima (Vieira et al., 1983) e ideais para a construção de mapas de isolinhas ou tridimensionais para verificação e interpretação da variabilidade espacial. As informações mostradas nestes gráficos de isolinhas são muito úteis para melhor entender a variabilidade das propriedades do solo no campo e para identificar áreas que necessitam diferentes tipos de preparo.

Resultados

Como pode ser verificado pela Tabela 1, para a profundidade de 20 cm, com exceção do parâmetro Alpha, os demais parâmetros se aproximam de uma distribuição normal de frequência. Assimetria e Curtose indicam a proximidade entre a distribuição de frequência dos dados e a distribuição normal cujos valores são, respectivamente, 0 e 3. Entretanto, para 10 cm, somente o parâmetro Alpha apresenta um comportamento melhor do que os demais.

Tabela 1. Estatísticas descritivas para infiltração, condutividade hidráulica e Alpha.

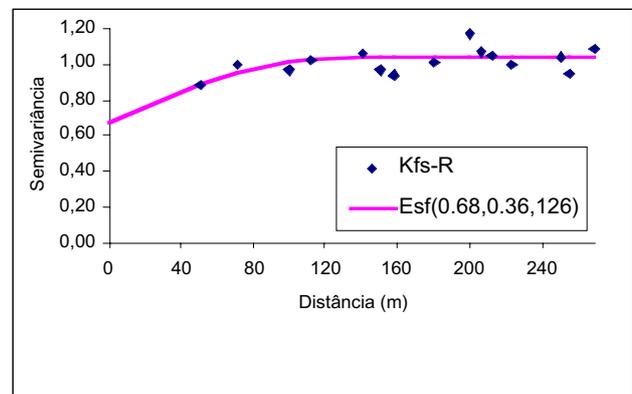
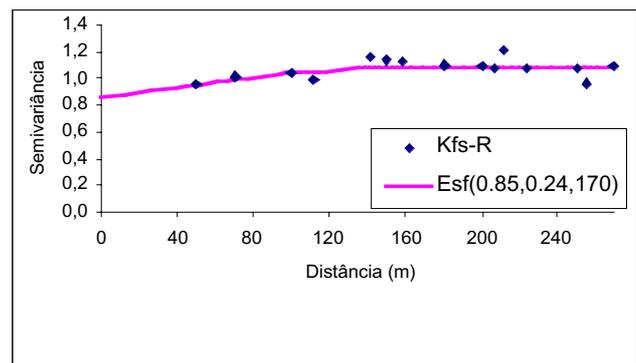
Variável	Média	Variância	C.V.	Min.	Máx.	Assimetria	Curtose
10cm							
Infil	93,64	2994,00	58,44	10,28	342,50	1,32	5,36
Kfs-R	0,54	0,17	76,53	0,03	2,58	1,56	6,69
Alpha	11,87	60,74	65,64	1,40	35,05	0,95	3,68
20cm							
Infil	45,64	560,50	51,87	5,41	115,90	0,89	3,36
Kfs-R	0,35	0,04	59,61	0,01	0,98	0,97	3,78
Alpha	18,93	640,50	133,70	0,48	222,80	4,83	34,16

Como Alpha representa a força de capilaridade do solo, para 20 cm é mais provável de encontrar uma maior variabilidade de capilaridade devido à troca textural do perfil do solo, penetrando em uma região mais argilosa. O coeficiente de variação (C.V.) de 133,7% a 20 cm de profundidade, reflete a variabilidade da capilaridade do solo, que é o dobro de 10 cm (65,64%).

A infiltração e a condutividade comportam-se de maneira oposta a Alpha, isto porque elas são afetadas pela estrutura do solo que, em um sistema de plantio direto, muda na região superficial. Este resultado mostra que qualquer cultura que depende de armazenamento de água terá o rendimento afetado em consonância com os valores de infiltração e condutividade.

O exame dos semivariogramas para condutividade hidráulica revela que existe dependência espacial para as duas profundidades. Para 10 cm, o alcance é um pouco menor do que para 20 cm, entretanto a dependência espacial é muito maior, como pode ser visto nas Fig. 1 e 2, onde o efeito pepita é menor para 10 cm ($C_0=0,68$) do que para 20 cm ($C_0=0,85$). O efeito pepita de 0,68 significa que existe uma descontinuidade entre valores separados por distância menores do que o usado no intervalo de amostragem, ou seja, em torno de 10 m. A proporção deste valor para o patamar do semivariograma ($C_0 + C_1$), no caso, 65% para 10 cm e 78% para 20 cm, é um indicativo da quantidade de variação ao acaso de um ponto para outro, e quanto menor seu valor, mais parecidos são os valores vizinhos. O alcance (a) de 126 m significa que todos os vizinhos dentro de um raio de 126 m podem ser usados na estimativa de valores em espaçamentos mais próximos.

A razão para isso é possivelmente relacionada ao manejo do solo, isto é, para o sistema de plantio di-

**Fig. 1.** Semivariograma para condutividade hidráulica Kfs-R 10 cm. Modelo Esférico (Esf) ajustado.**Fig. 2.** Semivariograma para condutividade hidráulica Kfs-R 20 cm. Modelo Esférico (Esf) ajustado.

reto com adição de material orgânico na camada superficial, este processo causa uma modificação na estrutura expressando uma forte dependência espacial a 10 cm.

Como pode ser visto na Fig. 3, o mapa de contorno para condutividade hidráulica a 10 cm obtidos pelo método de estimação de krigagem simples (Vieira et

al., 1983), mostra que a produtividade das culturas na parte superior esquerda do campo, provavelmente será mais fortemente afetada pela falta de água. Nesta região se encontram os valores mais baixos de condutividade hidráulica.

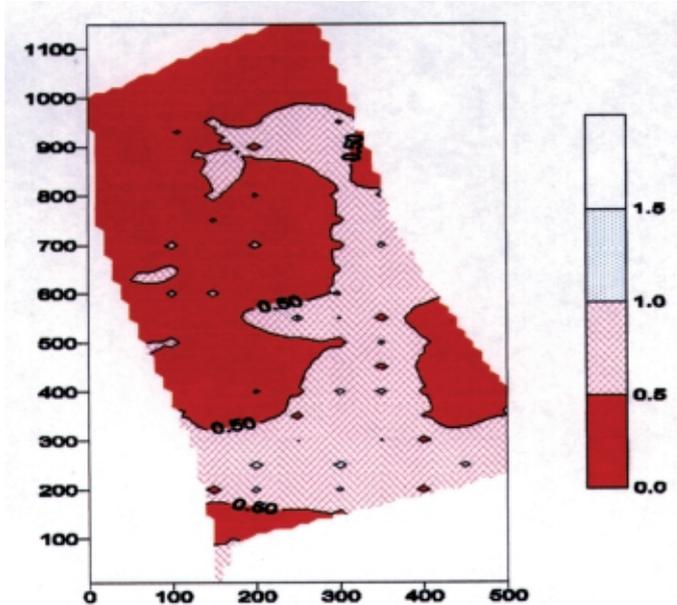


Fig. 3. Mapa de contorno para condutividade hidráulica Kfa-R 10cm.

Não foi elaborado o mapa de contorno para condutividade hidráulica a 20 cm, devido ao semivariograma na Fig. 2 apresentar uma dependência espacial muito mais fraca.

Conclusões

1. O manejo do solo sob as condições de plantio direto altera as propriedades hidráulicas na sua camada superficial.
2. A dependência espacial é mais forte na camada superficial, possivelmente devido à adição de material orgânico causando uma modificação na estrutura do solo.
3. Em uma parte da área experimental, devido aos baixos valores de condutividade hidráulica, a produtividade das culturas pode ser mais afetada devido à falta de água.

4. A condutividade hidráulica apresenta dependência espacial para as duas profundidades. Entretanto, a dependência espacial é muito mais fraca na profundidade 5-20 cm, indicando que ela varia conforme a profundidade de coleta da amostra do solo.

Referências Bibliográficas

- CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um latossolo roxo em função de seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 174 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: P. L. Libardi, 2000. 509 p.
- SARVASI, F. de O. C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo**. 1994. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 3, p. 265-268, 1984.
- VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**: Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agrônomo, Campinas, v. 47-50, p. 32-33, 1998.
- VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997.
- VIEIRA, S. R.; GARCIA, M. A. G.; GONZÁLEZ, A. P. **Variabilidade espacial de umidade do solo medida com TDR em dois usos do solo e com o tempo**. Campinas: [s.n.], 1997. 20 p. Relatório Técnico – Fapesp.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, 1-75, June, 1983.

Comunicado Técnico, 12

Embrapa Informática Agropecuária Área de Comunicação e Negócios

Av. Dr. André Tosello s/nº
Cidade Universitária - “Zeferino Vaz”
Barão Geraldo - Caixa Postal 6041
13083-970 - Campinas, SP
Telefone/Fax: (19) 3789-5743
E-mail: sac@cnptia.embrapa.br

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO



1ª edição

© Embrapa 2001

Comitê de Publicações

Presidente: Francisco Xavier Hemerly
Membros efetivos: Amarindo Fausto Soares, Ivanilde Dispatto, Marcia Izabel Fugisawa Souza, José Ruy Porto de Carvalho, Suzilei Almeida Carneiro
Suplentes: Fábio Cesar da Silva, João Francisco Gonçalves Antunes, Luciana Alvim Santos Romani, Maria Angélica de Andrade Leite, Moacir Pedroso Júnior

Expediente

Supervisor editorial: Ivanilde Dispatto
Normalização bibliográfica: Marcia Izabel Fugisawa Souza
Capa: Intermídia Publicações Científicas
Editoração Eletrônica: Intermídia Publicações Científicas