

Variabilidade Espacial da Resistência à Penetração no Perfil do Solo sob Semeadura Direta e Preparo Convencional



ISSN 1676-918X

Junho, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 208

Variabilidade Espacial da Resistência à Penetração no Perfil do Solo sob Semeadura Direta e Preparo Convencional

*João de Deus Gomes dos Santos Junior
Marcos Aurélio Carolino de Sá
Sandro Manuel Carmelino Hurtado
Thomaz Adolpho Rein
Luciano Shozo Shiratsuchi*

Planaltina, DF
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidígal Cabral de Miranda*

Equipe de Revisão: *Fernanda Vidígal Cabral de Miranda*

Francisca Elijani do Nascimento

Jussara Flores de Oliveira Arbués

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Renato Berlim Fonseca*

Capa: *Renato Berlim Fonseca*

Foto da Capa: *Leo Miranda*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Alexandre Moreira Veloso

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2008): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

V299 Variabilidade espacial da resistência à penetração no perfil do solo sob semeadura direta e preparo convencional / João de Deus Gomes dos Santos Junior... [et. al]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2008.
14p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 208).

1. Perfil do solo. 2. Resistência mecânica. I. Santos Junior, João de Deus Gomes. II. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	10
Conclusões.....	12
Agradecimentos	13
Referências	13

Variabilidade Espacial da Resistência à Penetração no Perfil do Solo sob Semeadura Direta e Preparo Convencional

João de Deus Gomes dos Santos Junior¹

Marcos Aurélio Carolino de Sá²

Sandro Manuel Carmelino Hurtado³

Thomaz Adolpho Rein⁴

Luciano Shozo Shiratsuchi⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar e caracterizar a dependência espacial da resistência à penetração em relação à profundidade (até 50 cm) do solo e ao distanciamento perpendicular à linha de plantio do milho (até 40 cm), sob preparo convencional e semeadura direta. A resistência à penetração foi determinada com penetrógrafo em malha regular de 2,5 cm de profundidade por 5,0 cm lateralmente, conformando 10.880 pontos amostrais. Comprovou-se a hipótese de que a resistência à penetração é espacialmente dependente do distanciamento da linha de plantio de milho no perfil do solo e distinta entre preparo convencional e semeadura direta.

Termos para indexação: índice de cone, intervalo hídrico ótimo, geoestatística.

¹ Engenheiro Agrônomo, D.Sc., pesquisador da Embrapa Cerrados, jdsantos@cpac.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo, D.Sc., pesquisador da Embrapa Cerrados, carolino@cpac.embrapa.br

³ Engenheiro Agrônomo, D.Sc., bolsista na Embrapa Cerrados, sandroelbat@yahoo.com.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., pesquisador da Embrapa Cerrados, rein@cpac.embrapa.br

⁵ Engenheiro Agrônomo, M.Sc., pesquisador da Embrapa Cerrados, shozo@cpac.embrapa.br

Spatial Variability of Soil Profile Mechanical Impedance Under No-till and Conventional Tillage Systems

Abstract

The objective of this study was to model the spatial variability of the soil mechanical impedance as a function of depth (50 cm) and lateral distance from the maize row (40 cm), under no-till and conventional tillage systems. Soil mechanical impedance was determined by using a hand penetrometer with a 2,5 cm depth-increment and 5,0 cm lateral-increment, measurements yielding 10,880 sampling points. Soil mechanical impedance, in terms of spatial variability, differs between tillage systems, due to the spatial dependence of the distance from the maize row.

Index terms: cone index, least limiting water range, geostatistics, management.

Introdução

A resistência que o solo oferece à penetração de raízes, expressa pelo índice de cone (IC), afeta diretamente o crescimento das plantas e é atributo importante na determinação de índices de qualidade física do solo, como o intervalo hídrico ótimo (SILVA et al., 1994). Apesar da importância intrínseca relacionada a esse atributo, na maioria das vezes a única heterogeneidade do solo considerada é na direção da profundidade, admitindo-se homogeneidade no plano horizontal, em virtude da simplicidade dos modelos aplicados a solos homogêneos em comparação aos modelos, mais complexos, que contemplam variabilidade em duas ou três dimensões (REICHARDT et al., 1986; CARRARA et al., 2007).

Como cada sistema de preparo e uso do solo atua de maneira específica sobre o perfil do solo, é razoável supor que a heterogeneidade em relação ao IC é distinta entre semeadura direta e preparo convencional e pode ser expressa em função do distanciamento, vertical e horizontal, da linha de plantio da cultura. Assim, observações vizinhas do IC podem não ser aleatórias, sendo necessário o conhecimento do seu grau de dependência espacial, bem como da estrutura de sua variância. Nesse caso, ferramentas da estatística clássica e espacial não são excludentes e seu uso combinado e sinérgico pode se mostrar promissor em estudos da variabilidade de atributos físicos do solo (REICHARDT et al., 1986).

O objetivo deste trabalho foi analisar e caracterizar a dependência espacial da resistência à penetração no perfil do solo em relação ao distanciamento da linha de plantio de milho sob preparo convencional do solo (PC) e sistema de semeadura direta (SD). Considerou-se heterogeneidade na direção da profundidade e, horizontalmente, na direção perpendicular à linha de plantio. A variabilidade na direção da linha de plantio não foi objeto de estudo.

Material e Métodos

Medições de IC foram efetuadas em um experimento de adubação nitrogenada de milho implantado no ano agrícola 1998/1999, num Latossolo Vermelho com 550 g kg^{-1} de argila na camada de 0 cm a 20 cm. A área foi cultivada com soja no ano agrícola 1998/1999 e, a partir de então, com a rotação soja-milho. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições e tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. Nas parcelas, na forma de duas faixas paralelas em cada bloco e perpendicular ao declive, foram alocados os dois tratamentos de preparo do solo (SD e PC) e, nas subparcelas, oito tratamentos de adubação nitrogenada para o milho. Neste trabalho, foi avaliado o tratamento com aplicação de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio na forma da uréia, sendo 40 kg ha^{-1} e 60 kg ha^{-1} na semeadura e no estágio de oito folhas, respectivamente.

Em janeiro de 2006, o IC foi determinado utilizando-se penetrógrafo dinamométrico, em condição de conteúdo de água no solo próximo à capacidade de campo (teor volumétrico de água no solo na tensão de 6 kPa de $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Considerando um plano horizontal (x, y) – em que y é a distância paralela à linha de plantio de milho, e x é a distância perpendicular –, foram feitas medições na direção x em intervalos regulares de 5,0 cm até 40 cm (metade do espaçamento) das entrelinhas adjacentes (Fig. 1). Na direção da profundidade, segundo uma coordenada vertical z, foram registradas medições em intervalos regulares de 2,5 cm até 50 cm (Fig.1).

Cada perfil do solo consistiu de 340 pontos amostrais nos interceptos de uma malha regular de 2,5 cm x 5,0 cm (Fig. 1). Em cada subparcela, amostrada nos quatros blocos, foram realizadas quatro repetições de perfis do solo, totalizando 10.880 medições de IC. Os valores médios de IC das 16 seções amostradas, dentro de cada sistema de manejo do solo, foram submetidos à análise estatística descritiva. Calcularam-se a média e a mediana como medidas de tendência central; o coeficiente de variação e a amplitude total como medida de dispersão dos dados; e os graus de assimetria e curtose como medidas relacionadas à forma da distribuição dos valores de IC.

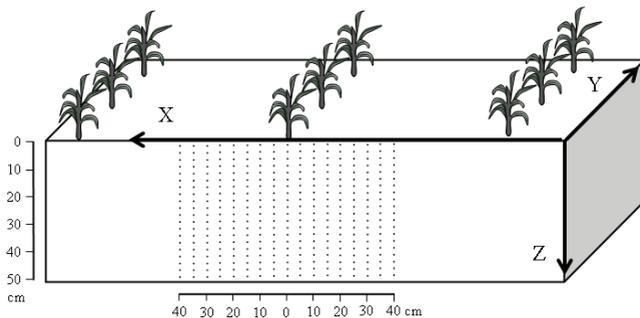


Fig. 1. Esquema amostral utilizado, em que cada ponto no plano x, z corresponde a uma determinação de resistência à penetração.

Como procedimento estatístico complementar e para análise da variabilidade espacial no perfil do solo, foi utilizada a geoestatística, sendo a variabilidade espacial determinada por meio do cálculo da semivariância. O cálculo da semivariância (Equação 1) foi realizado assumindo estacionariedade da hipótese intrínseca (VIEIRA et al., 1983).

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

em que $N(h)$ é o número de pares de valores $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ separados pela distância h .

A utilização da Equação 1 denota valores discretos de distâncias para as semivariâncias, tornando-se necessário o ajuste de modelos matemáticos visando a semivariâncias para um domínio contínuo (VIEIRA; PAZ-GONZALEZ, 2003). Após o cálculo dos semivariogramas, em cada sistema de manejo foi realizado o ajuste de modelos pelo método dos mínimos quadrados (NIELSEN; WENDROTH, 2003), estimando-se os parâmetros intercepto (C_0), contribuição (C) e alcance (a).

A escolha do melhor modelo de semivariograma foi feita com base na soma de quadrados dos resíduos e no valor do coeficiente de determinação (R^2).

O índice de dependência espacial (IDE), que determina a relação entre a variância espacial e a variância total, foi calculado segundo a relação entre o intercepto e o patamar ($Co + C$). Essa relação foi considerada fraca para valores menores que 25 %; moderada, entre 25 % e 75 %; e forte para valores maiores que 75 %, conforme Cambardella et al. (1994). Constatada dependência espacial e visando a sua caracterização, interpolaram-se os valores de IC por krigagem ordinária, a partir dos parâmetros do modelo de semivariograma escolhido, em resolução de 1,0 cm por 1,0 cm. Utilizou-se o aplicativo ArcView v. 3.2 para confecção final dos mapas do perfil de resistência à penetração.

Resultados e Discussão

As medidas de dispersão avaliadas observadas em PC e SD demonstraram alta variabilidade do IC em torno da média (Tabela 1). Ressalte-se que a variabilidade do IC em torno da média pode ser decomposta em duas: (a) variabilidade na parcela e entre blocos, a qual não foi objeto de estudo; e (b) variabilidade devida ao distanciamento lateral e em profundidade, para a qual se analisou a média das 16 leituras de IC em cada sistema de manejo.

Tabela 1. Análise estatística descritiva para a variável IC (MPa) nos sistemas de preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD).

Sistema	Análise estatística descritiva					
	Média	Mediana	Amplitude	CV (%)	Assimetria	Curtose
PC	1,09	1,18	1,63	35,6	-0,2532	1,8005
SD	1,58	1,63	1,57	13,7	-2,5596	11,1467

Visualmente, SD e PC diferenciaram-se quando a espacialização do IC no perfil do solo (Fig. 2). Valores de IC superiores a 1,2 MPa foram observados nas camadas mais profundas do que 25 cm e 5 cm, em PC e SD, respectivamente (Fig. 2), não sendo verificados valores superiores a 2,0 MPa, considerado limitante por Spivey et al. (1986).

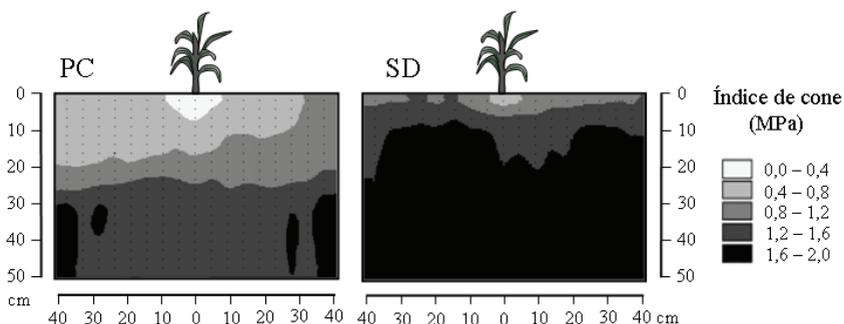


Fig. 2. Perfis de resistência à penetração, expressa pelo índice de cone (MPa), para preparo convencional do solo (PC) e sistema de semeadura direta (SD).

A análise dos parâmetros dos semivariogramas, em ambos os sistemas de manejo do solo, indicou forte dependência espacial. Ou seja, as variações de IC não foram aleatórias com o distanciamento da linha de plantio de milho, e o espaçamento utilizado entre amostragens foi adequado para a detecção do alcance dessa dependência (Tabela 2). Em SD e PC ajustaram-se modelos do tipo esférico aos semivariogramas. Na direção perpendicular à linha de plantio, o valor de alcance observado em SD foi 1,2 vez maior do que em PC. Na direção da profundidade, foi 1,3 vez maior (Tabela 2).

Tabela 2. Análise estatística espacial para a variável IC (MPa) nos sistemas de preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD).

Sistema	Análise estatística espacial					
	Intercepto ⁽¹⁾	Patamar ⁽¹⁾	Alcance (x) ^(1,2)	Alcance(z) ^(1,2)	R ² ⁽³⁾	IDE (%) ⁽⁴⁾
PC	0,001	0,026	48,4	17,1	0,94	96,2
SD	0,003	0,031	59,6	22,4	0,87	91,1

¹ Coeficientes relacionados ao ajuste do modelo esférico de semivariograma.

² Considerando anisotropia no sentido perpendicular à linha de plantio (x) e profundidade (z).

³ Coeficiente de determinação referente ao ajuste do semivariograma.

⁴ Índice de dependência espacial (Adaptado de Cambardella et al., 1994):

IDE < 25 % = fraco; 25 % < IDE < 75 % = moderado; IDE > 75 % = forte.

Considerando o espaçamento entre linhas do milho de 80 cm utilizado neste experimento, bem como seu histórico de manejo, amostras coletadas nas posições espaciais linha e entrelinha, a rigor, foram espacialmente dependentes (Tabela 2). Os resultados da Tabela 2 permitiram inferir a respeito do tamanho mínimo da grade amostral necessário para detectar a microvariação espacial do IC em virtude do efeito do distanciamento da linha de plantio. Nesse sentido, valores de alcance tornam-se importantes na planificação de futuras amostragens, permitindo dimensionar as grades e estimar o número de pontos a amostrar (SOUZA et al., 1997). Para Mulla e Mc Bratney (2000), grades regulares com metade a um quarto do valor de alcance são recomendadas.

Figueiredo et al. (2007) demonstraram a sensibilidade de outra técnica de análise do perfil do solo, a qual contempla heterogeneidade na direção da profundidade, em detectar diferenças quanto ao carbono e nitrogênio provenientes da biomassa microbiana entre sistemas de semeadura direta com 22 anos de idade, nos quais a única diferença foi o preparo do solo no primeiro ano de cultivo (arados de discos versus aivecas). Análises que contemplam heterogeneidade em mais de uma direção podem ser incorporadas na determinação do intervalo hídrico ótimo (SILVA et al., 1994), que é dependente do IC e na sua relação com a produtividade das culturas, contribuindo no estudo da qualidade física do solo em sistemas agrícolas. De modo similar às análises descritas para o IC neste trabalho, sistemas de preparo também podem ser comparados quanto a outros atributos físicos do solo por meio da análise dos parâmetros dos semivariogramas, auxiliando na tomada de decisão do esquema de amostragem e da análise estatística.

Conclusões

Comprovou-se a hipótese de que o IC é espacialmente dependente do distanciamento da linha de plantio de milho, tanto em profundidade quanto transversalmente, e distinto entre PC e SD.

A utilização de modelos que contemplam heterogeneidade em duas dimensões no perfil do solo é ferramenta promissora e, possivelmente,

mais sensível na detecção de diferenças entre sistemas de manejo e seus efeitos em atributos físicos do solo.

Agradecimentos

Aos estagiários da Embrapa Cerrados Gustavo Borges Cornélio, Hugo Nogueira P. Cardoso e Rafael Diego N. da Costa pelo auxílio em várias etapas deste trabalho.

Referências

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p.1501-1511, 1994.
- CARRARA, M.; CASTRIGNANÒ, A.; COMPARETTI, A.; FEBO, P.; ORLANDO, S. Mapping of penetrometer resistance in relation to tractor traffic using multivariate geostatistics. **Geoderma**, v. 142, p. 294-307, 2007.
- FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RAMOS, M. L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um latossolo vermelho de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 551-562, 2007.
- MULLA, D. J.; Mc BRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMMER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. A 321-352.
- NIELSEN, D. R.; WENDROTH, O. **Spatial and temporal statistics**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2003. 398 p.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 1-6, 1986.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.
- SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 1-10, 1997.

SPIVEY, L. D.; BUSSCHER, W. J.; CAMPBELL, R. B. The effect of texture on strength of southeastern coastal plain soils. **Soil & Tillage Research**, v. 6, p. 351-363, 1986.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; PAZ-GONZALEZ, A. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, v. 62, p. 127-138, 2003.