

Implicação da redução do número de amostras de densidade do solo na análise geoestatística em área canavieira

Carlos Antonio da Silva Junior¹
Laércio Alves de Carvalho²
Elaine Novack²
Marcos Rafael Nanni¹
Guilherme Fernando Capristo Silva¹

¹ Universidade Estadual de Maringá - UEM
Av. Colombo 5790 – 87020-900 - Maringá - PR, Brasil
{carlos-junior89; guilhermecapristo}@hotmail.com e marcos.nanni@gmail.com

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS
Cidade Universitária de Dourados, Zona Rural - CEP 79804970. Dourados, MS, Brasil.
lcarvalh@uems.br e elainenovak_@hotmail.com

Abstract. Traditional farming is intensive use of land, changing its physical, chemical and biological attributes. The present study aims to evaluate the spatial variability of bulk density, classified as Typic Oxisol, concentrated in a sugarcane field, and propose a reduction of the number of samples as input in exploratory analysis associated with geostatistics. The study was conducted in Rio Brilhante-MS, in an area of four hectares of crop with sugarcane, where harvesting is carried out mechanically, *i.e.*, raw cane. A sampling georeferenced 144 mesh points constituting twelve columns and twelve rows, with the distance between points 20m 18,2m and the Y axis in X axis was taken soil samples were taken at a depth of 0-0,2m and 0,21-0,4m in two seasons to determine its density. After the first analysis were then performed simulation processes to reduce the mesh. The index of spatial dependence of the physical attribute studied presented high (+ 90%) being observed in settings of semivariograms and kriging maps. In the exploratory analysis it was observed that the simulated 50% reduction in the depth of 144 points 0-0.2 m (crop 1) and 48.61% reduction in the depth of 0.21 to 0.4 m (crop 2) allows satisfactory results of spatial variability, thus presenting great potential for the use of these thresholds in similar future studies.

Palavras-chave: precision agriculture, soil physics, spatial variability, agricultura de precisão, física do solo, variabilidade espacial.

1. Introdução

As modificações que ocorrem na estrutura do solo, ocasionadas principalmente pela compactação são evidenciadas por alterações nos atributos físicos, como a densidade, resistência mecânica à penetração, porosidade total e umidade na superfície e no perfil, assim como na consistência e na máxima compactação do solo (Klein et al., 1998).

Tal fator ocorre devido ao avanço que há em produtividade e área cultivada com cana, sendo intensiva a utilização de máquinas e implementos na agricultura moderna, o que leva a modificação dos atributos do solo em relação ao seu estado natural (Silva Junior et al., 2010).

Utilizando análise geoestatística há uma maior compreensão das variações no decorrer da safra, detectando problemas ou não em um determinado atributo aliado a uma estrutura espacial. Uma vez conhecido um modelo de dependência espacial, é possível mapear a área estudada, proporcionando uma melhor decisão no gerenciamento (Carvalho et al., 2012).

Quando ocorre ajuste de algum modelo (linear, esférico, gaussiano ou exponencial), então há dependência espacial da variável em estudo aliado aos parâmetros do semivariograma, onde é determinado de forma em que os dados se ajustem adequadamente.

A relação da quantidade de amostras analisadas distribuídas em malha é de grande importância no estudo da variabilidade espacial, pois tal comportamento é resultado de uma “boa” quantidade de amostras em uma determinada área. Essa subjetividade do quanto

amostrar pode ser visto em diversos no que diz respeito à física do solo (Carvalho et al., 2002; Campos et al., 2012; Carvalho et al., 2012; Vieira et al., 2007).

O presente estudo tem como objetivo avaliar a variabilidade espacial da densidade do solo, classificado como LATOSSOLO VERMELHO de textura argilosa, concentrado em uma área canavieira, e propor redução e determinação de número de amostras como entrada na análise exploratória associada à geoestatística.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado nas dependências da Usina ETH Bioenergia, localizada no município de Rio Brillhante-MS, compreendido nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude 21°51'32"S e Longitude 54°01'25"W a uma altitude média de 312m. A Usina possui aproximadamente 1.846 talhões, sendo que essas áreas apresentam em média 5% de declividade, com relevo plano a suavemente ondulado, dentro dos limites de mecanização.

O clima caracterizado Aw, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, e o solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO de textura argilosa (Embrapa, 2006). A área de estudo é concentrada em um talhão de cana-de-açúcar cujo sistema de colheita é do tipo mecanizado (cana-crua), com aproximadamente quatro hectares.

Foram realizadas as coletas em dois anos agrícolas (2008/2009 e 2009/2010), denominadas como “safra 1 e safra 2”. As amostras indeformadas foram retiradas com amostradores do Tipo Uhland com auxílio de anéis volumétricos nas profundidades de 0-0,2m e 0,21-0,4m para cada ano-safra, conforme metodologia proposta por Libardi (2005), em seguida realizada a determinação da densidade do solo.

A unidade experimental consistiu de uma malha georreferenciada com 144 pontos de coleta. Sendo 180m de comprimento e 220m de largura. A distribuição espacial dos pontos foi realizada em forma de grade, compreendendo doze colunas e doze linhas, com distância entre os pontos de 20m no eixo Y e 18,2m no eixo X.

Por meio da análise exploratória, foram analisadas as seguintes medidas estatísticas: média, mediana, mínimo, máximo, quartil inferior e superior, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose, Kolmogorov-Smirnov (KS). O programa computacional utilizado foi o STATISTICA (version 7.0). Para a análise geoestatística foi verificada a variabilidade espacial, utilizando o programa computacional GS+ version 7.0.

Foram confeccionados semivariogramas experimentais modelados, buscando o grau de dependência espacial para os pontos, nas profundidades e nas duas safras anteriormente descritas, bem como nas reduções simuladas. Tais reduções consistiram na redução dos 144 pontos em 50% e 48,61%, ou seja, 72 e 74 respectivamente. Foram realizados testes e foi constatado que abaixo desses valores haveria efeito pepita, conseqüentemente não apresentando dependência espacial.

Os semivariogramas foram produzidos segundo metodologia proposta por Vieira et al. (1998). Neste trabalho utilizou-se apenas o modelo esférico ajustado, a fim de que se tornasse possível à comparação entre a malha inicial e sua respectiva redução, para as profundidades e ano-safra. Finalmente aplicaram-se técnicas de interpolação e krigagem (Silva Junior, 2001), possibilitando a obtenção de malha de pontos interpolados e construção de mapas de isolinhas, igualmente para a malha amostral de cada profundidade e safra com a sua respectiva malha simulada reduzida.

3. Resultados e Discussão

Os resultados da análise exploratória, média, mediana, variância, desvio-padrão, coeficientes de variação (CV), curtose, assimetria e o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para a variável densidade do solo (Ds) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo da análise exploratória para a variável densidade do solo (g cm^{-3}), para as profundidades e ano-safra estudados.

ID	Malha	Média	Mediana	Variância	D.P. ¹	C.V. %	Curtose	Assimetria	KS
A	144 pts	1,30	1,34	0,03	0,17	13,41	-0,76	-0,51	ns
B	72 pts	1,32	1,34	0,00	0,08	6,42	-1,05	-0,37	*
C	144 pts	1,32	1,34	0,01	0,13	9,94	-0,83	-0,30	*
D	74 pts	1,34	1,34	0,00	0,06	5,02	-0,96	-0,39	*
E	144 pts	1,48	1,49	0,01	0,12	8,43	-0,84	-0,10	*
F	72 pts	1,49	1,49	0,00	0,05	3,99	-1,29	-0,19	*
G	144 pts	1,51	1,55	0,02	0,15	10,21	-0,61	-0,52	*
H	74 pts	1,53	1,55	0,00	0,15	4,82	-1,35	-0,26	*

¹DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação (%); *Distrib. Normal a 5% - Kolmogorov-Smirnov (KS); ^{ns}Não Significativo; A e B: profundidade 0-0,2m (safra 1); C e D: profundidade 0,21-0,4m (safra 1); E e F: profundidade 0-0,2m (safra 2); G e H: profundidade 0,21-0,4m (safra 2).

Comparando os valores da safra 1, nota-se que as médias apresentaram-se semelhantes, variando entre 1,30 g cm^{-3} e 1,34 g cm^{-3} e mediana 1,34 g cm^{-3} (Tabela 1), valores esses parecidos com resultados obtidos por Silva Junior et al. (2010) avaliando atributos físicos do solo em áreas canavieiras.

A distribuição de frequência dos atributos analisados de acordo com o teste KS a 5% de probabilidade (Tabela 1) apresentaram distribuição normal para densidade do solo, corroborando com resultados obtidos por Carvalho et al. (2011), Pereira (2004) e Souza e Marques Júnior (2004). Segundo Webster (2001), um valor de assimetria até 0,5 é um indicativo forte de uma distribuição normal, o que se ajusta com os resultados obtidos na Tabela 1.

O modelo matemático esférico ajustado ao semivariograma é visto em diversos trabalhos na área de ciências do solo (Souza et al., 2001; Carvalho et al., 2002; Carvalho et al., 2012). Conforme Mc Bratney e Webster (1986), afirmam que os modelos de ajuste para os atributos do solo em sua maioria são utilizados o esférico e exponencial. Os parâmetros dos semivariogramas ajustados para o modelo esférico da variável densidade do solo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores dos parâmetros de semivariogramas ajustados nas duas safras e profundidades estudadas.

ID	Malha	Modelo	CO ¹	C+CO	Alcance (m)	Proporção (C/[CO+C]) %
A	144 pts	Esférico	0,00	0,03	140,40	0,90
B	72 pts	Esférico	0,00	0,00	9,50	0,99
C	144 pts	Esférico	0,00	0,01	12,30	0,99
D	74 pts	Esférico	0,00	0,00	6,50	0,91
E	144 pts	Esférico	0,00	0,01	34,40	0,99
F	72 pts	Esférico	0,00	0,00	13,10	0,99
G	144 pts	Esférico	0,00	0,02	6,60	0,89
H	74 pts	Esférico	0,00	0,00	39,90	0,53

¹CO: Efeito pepita; C+CO: Patamar; A e B: profundidade 0-0,2m (safra 1); C e D: profundidade 0,21-0,4m (safra 1); E e F: profundidade 0-0,2m (safra 2); G e H: profundidade 0,21-0,4m (safra 2).

Os resultados obtidos através da análise geoestatística (Tabela 2), observa-se claramente que para a densidade do solo nas diferentes profundidades, apresentaram efeito pepita nulo, sendo assim as distâncias do estudo mostrou-se adequada, havendo uma dependência espacial entre os pontos amostrados. Segundo Trangmar et al. (1995), o efeito pepita nulo permite verificar que o erro experimental foi o mínimo possível atingido, não existindo uma significativa variação à distâncias menores que as amostradas.

Em função disso, quanto menor for a proporção do efeito pepita em relação ao patamar, a forma inversa será a semelhança entre os valores vizinhos e a continuidade do fenômeno e menor a variância da estimativa, proporcionando uma maior confiança para a estimativa. São mostradas nas Figuras 1A à H os mapas de densidade do solo (g cm^{-3}) com valores estimados por krigeagem, sendo agrupada numa escala de cinco classes.

Os comportamentos espaciais dos mapas de isolinhas diferem na sua forma. As Figuras 1A e B observam-se diferenças entre os valores da densidade em $1,53 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,48 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente, possivelmente em virtude da redução na malha amostral na ordem de 50%, entretanto tais valores apresentaram diferença de 3%, de forma que não inviabiliza a redução proposta. Nas Figuras 1C e D, $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,42 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente, houve aumento nos valores de 8,5%.

Nesta análise não há um comprometimento nas informações geradas com 144 pontos na sua respectiva redução de 48,61%. Para as informações contidas nas figuras 1E e F ($1,73 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,71 \text{ g cm}^{-3}$), nota-se semelhança nas densidades, entretanto houve um aumento em relação aos valores médios da densidade, este fato pode estar relacionado a fatores extrínsecos ao solo, como mudança gradual ou acentuada das propriedades do solo, como alterações nos aspectos morfológicos, fatores de formação e/ou manejo e conservação do solo pelo homem. (Ortiz, 2002; Carvalho et al., 2003; Silva Junior et al., 2010).

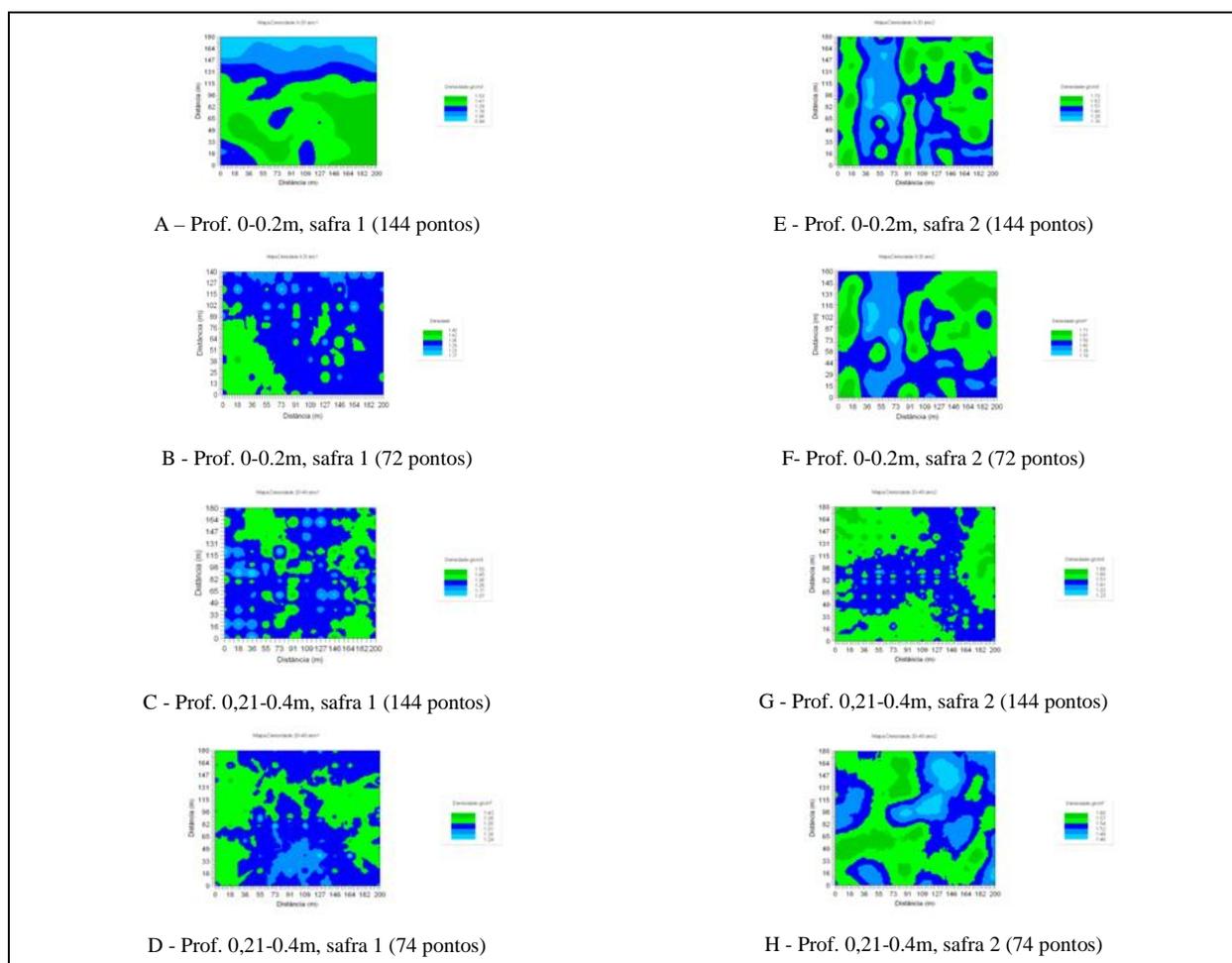


Figura 1. Mapa de distribuição espacial para variável densidade do solo nas profundidades 0-0,2m e 0,21-0,4m nas safras 1 e 2.

Apontando para as Figuras 1G e H ($1,69 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,60 \text{ g cm}^{-3}$), foi observada densidade inferior em relação às Figuras 1E e F, e maiores quando comparadas com as Figuras 1A a D

uma diferença de 5%. Explorando as informações contidas nos mapas de distribuição, é possível planejar, prever, antecipar tomadas de decisões com objetivo de aumentar a produção agrícola, minimizando os impactos negativos ao meio ambiente e diminuir gastos operacionais desnecessários, entre outros, além da importância ímpar para a perfeita exploração da longevidade dos recursos naturais.

4. Conclusões

Para as safras e profundidades analisadas, existe estrutura de dependência espacial para a variável densidade do solo; os valores de Ds apresentaram um aumento da safra 1 para a 2, em consequência da cana soca e do sistema de colheita mecanizado; a análise exploratória associada aliada a geoestatística, possibilitou uma redução confiável da malha amostral, possibilitando a confecção de mapas por krigagem.

Agradecimentos

Ao CNPq e a CAPES, pela concessão de bolsa de estudos. A Usina ETH Bioenergia, em especial a Unidade Eldorado, pela infraestrutura e disponibilidade de equipe técnica a fim de realizarmos este trabalho.

Referências Bibliográficas

Campos, M. C. C.; Oliveira, I. A.; Santos, L. A. C.; Aquino, R. E.; Soares, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Agro@mbiente On-line**, v.6, n.1, p.09-16, 2012.

Carvalho, J. R. P.; Silveira, P. M.; Vieira, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

Carvalho, L. A.; Meurer, I.; Silva Junior, C. A.; Cavalieri, K. M. V.; Santos, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.9, p.940-949, 2011.

Carvalho, L. A.; Meurer, I.; Silva Junior, C. A.; Centurion, J.F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.8, p.60-68, 2012.

Carvalho, M. P.; E. Y. Takeda, E. Y.; Freddi, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória, Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.695-703, 2003.

Carvalho, M. P.; Soratto, R. P.; Freddi, O. S. Variabilidade espacial de atributos físico em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.24, n.5, p.1353-1361, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ed. CNPS, 2006. 306p.

Es, H. M.V.; Cassel, D. K.; Daniels, R. B. Infiltration variability and correlations with surface soil properties for eroded Hapludult. **Soil Science Society of America Journal**, v.55, n.2, p.486-492, 1991.

Fietz, C.R.; Folegatti, M.V.; Vieira, S.R. & Frizzone, J.A. Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.150-153, 1999.

Grego, C. R.; Vieira, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas de solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p169-177, 2005.

Johnson, R. M.; Richard, E. P. Sugarcane yield, sugarcane quality, and soil variability in Louisiana. **Agronomy Journal**, v.97, n.3, p.760-771, 2005.

Klein, V. A.; Libardi, P. L.; Silva, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

Mc Bratney, A. B.; Webster, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, n.4, p.617-639, 1986.

Ortiz, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 2003. 178 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Robertson, G. P. **GS+ Geostatistics for the environmental sciences: GS+ User's Guide Version 5**. Plainwell: Gamma Design Software, 2000. 200p.

Silva Junior, C. A.; Carvalho, L. A.; Meurer, I.; Libardi, P. L.; Silva, M. A. C.; Oliveira, E. C. A. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar. **Agrarian**, v.3, n.8, p.111-118, 2010.

Silva Junior, R.L. **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade**. 2001. 132f. Tese (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

Souza, M. Z.; Silva, M. L. S.; Guimarães, G. L.; Ampos, D. T. S.; Carvalho, M. P.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n., p.699-707, 2001.

Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Bento, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.51-58, 2004.

Trangmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, n.1, p.45-93, 1985.

Vieira, S. R.; Dechen, S. C. F.; Maria, I. C. Uso de geoestatística no mapeamento de atributos de solo e planta. In: Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da America Latina – GIS Brasil 98, 4, 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1998. CD-Rom.

Vieira, S.R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**. v.1, 2000.

Vieira, V. A. S.; MELLO, C. R.; LIMA, J. M. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1477-1485, 2007.

Webster, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, v.52, n.2, p.331-340, 2001.