

Densidade do solo de um Nitossolo sob cultivo de cana-de-açúcar utilizando análises geoestatística e bayesiana

Simone Grego¹, Célia Regina Grego², Paulo Justiniano Ribeiro Jr.³, Carlos Manoel Pedro Vaz⁴, Sandro Hurtado⁵, Khalil de Menezes Rodrigues⁶

¹ Mestranda em Estatística, ESALQ/USP, Rua João Sampaio, 2145, Vila Independência, Piracicaba, simone.grego@usp.br

² Pesquisadora Doutora da Embrapa Monitoramento por Satélite, celia.grego@embrapa.br

³ Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná, paulojus@ufr.br

⁴ Pesquisador Doutor da Embrapa Instrumentação Agropecuária, carlos.vaz@embrapa.br

⁵ Pos doutorando no Instituto Agronômico de Campinas, sandroelbat@gmail.com

⁶ Doutorando do Instituto Agronômico de Campinas, agrokhalil@yahoo.com.br

Resumo: O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da densidade do solo sob cana-de-açúcar, através da geoestatística e da análise bayesiana. Foi determinada a densidade do solo (g cm^{-3}) em uma área de 17,8ha em Mogi Mirim, SP, nas profundidades de 0,15m e de 0,30m, em 90 pontos de amostragem. O padrão espacial foi encontrado tanto na profundidade de 0,15m quanto 0,3m. Os valores de densidade foram considerados altos e maior na maior profundidade. Tanto pelo método de análise geoestatística, quanto bayesiano houve padrão espacial com ligeiro aumento na escala de valores dos mapas de densidade para análise bayesiana.

Palavras-chave: padrão espacial; compactação; predição de ocorrência

Soil density of an Alfisol under sugarcane cultivation using geostatistical and Bayesian analysis

Abstract - The aim of this study was to evaluate the spatial variability of soil density on sugarcane using geostatistical and Bayesian analysis. We determined the bulk density (g cm^{-3}) in an area of 17.8 ha in Mogi Mirim, Brazil, at depths of 0.15 m and 0.30 m in 90 sampling points. The spatial pattern has been found both in depth from 0.15 m and 0.3 m. The density values were high and increased in depth. There was spatial pattern with a slight increase in the scale of values of density maps for Bayesian analysis.

Key words: spatial pattern; compression; prediction of occurrence

Introdução

A alteração na densidade dos solos no espaço pode ser difícil de ser definida e avaliada quando decorrente da somatória de causa natural e da ação antrópica, alterando no solo lentamente, devido por exemplo a eluição de argilas e as forças mecânicas originando uma pressão causada pelas rodas das máquinas agrícolas e pela própria ação de implementos sobre o solo (BELTRAME; TAYLOR, 1980). Muitas vezes a pressão originada pelas forças de tração e próprio peso do trator e tráfego excessivo são responsáveis pelo aumento de densidade e consequente compactação do solo.

O método geoestatístico, que é composto por uma análise de semivariogramas e krigagem é usado para analisar tanto a dependência espacial como para interpolar atributos de solo através da krigagem (VIEIRA et al., 1983). O procedimento permite determinar se um atributo apresenta padrão espacial e conhecendo o modelo da dependência espacial é feito o mapeamento da área estudada. A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial das medidas estudadas, constitui importante ferramenta na análise e descrição da variabilidade das propriedades do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002).

Este trabalho tem como motivação pelo interesse em modelar o padrão espacial de dados utilizando também métodos bayesianos, que considera a incerteza sobre os parâmetros existentes no modelo, por isso, pode ser feito uma análise descritiva sobre cada parâmetro, para que seja possível construir intervalos de credibilidade. A aplicação da função de verossimilhança na inferência bayesiana, difere da inferência clássica, pois na bayesiana o parâmetro de interesse é considerado uma variável aleatória. A análise

Bayesiana tem como objetivo principal de estudo a obtenção de função de densidade de probabilidade posteriori do parâmetro de investigação, assim, a inferência bayesiana tem como estrutura em modelar problemas estatísticos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da propriedade densidade do solo, usando o método de geoestatística e análise bayesiana para análise dos dados.

Material e Métodos

A área estudada pertence a Fazenda Aparecida que fica no município de Mogi Mirim, SP, cultivada com cana-de-açúcar, abrange uma área de 17,8ha com Nitossolo, textura bastante argilosa, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0,15m e de 0,30m, totalizando 90 pontos, coletados nos meses de abril a junho de 2012. Foi realizada uma amostragem para a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (CAMARGO et al, 1986). A Figura 1 mostra a grade de amostragem estudada.

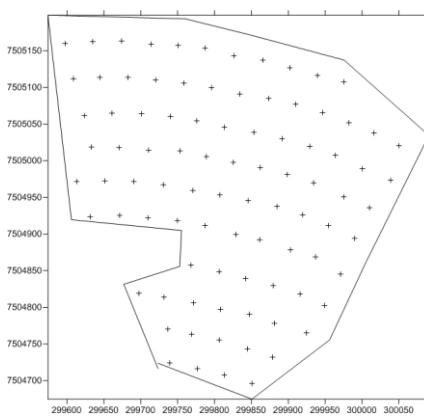


Figura 1: Grade amostral da área.

A dependência espacial foi analisada por meio de ajuste de variograma através do software R, onde a pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, para o cálculo do variograma estimada na equação (1):

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

Em que $N(h)$ é o número de pares dos valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma distância h . Segundo Vieira (2000), as observações vizinhas são mais parecidas entre si, do que aquelas separadas por grandes distâncias, isto é, aumentando $\hat{y}(h)$ com uma distância h até algum valor máximo, em que se estabiliza em um patamar que corresponde à distância limite de dependência espacial, que é o alcance. As medições que se localizam há uma distância maior que o alcance, terão distribuição aleatória, esta é uma razão de que as observações serão independentes.

Apresentando dependência espacial pelo variograma, foram ajustados os modelos matemáticos, a escolha do "melhor" modelo, dentre aqueles que foram ajustados, para explicar o fenômeno sob estudo, optou-se pela Informação de Akaike (AIC) para testar se um dado modelo é adequado, de acordo com a expressão:

$$AIC = -2\log L(\hat{\theta}) + 2(p) \quad (2)$$

Onde, p é o número de parâmetros do modelo. O modelo que obteve o menor AIC foi utilizado.

Com o variograma verifica-se a existência do padrão espacial, ou seja, as observações vizinhas serão semelhantes e haverá possibilidade de estimar valores para qualquer local, onde a variável não foi medida. Para isso usa-se a krigagem, segundo Vieira (2000), que tem como definição estimar valores com condições de estimativa sem tendenciosidade e com desvios mínimos em relação as observações conhecidas.

A partir dos valores estimados constrói-se isolinhas em função das coordenadas geográficas, assim com a krigagem interpola-se valores para que sejam construídos mapas de isolinhas.

Os mapas dos valores obtidos por meio da krigagem são relevantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial da variável estudada. A análise geoestatística dos dados é completada com as informações mostradas nos mapas visualmente comparadas para o entendimento da variabilidade do atributo do solo no campo e que são úteis nas tomadas de decisões (GREGO; VEIRA, 2005).

Estudos de informações de algumas propriedades do solo como a densidade, contém informações importantes que podem ser verificadas nos mapas. A análise bayesiana tem facilidade em produzir cuidadosamente uma textura do solo em mapas de solo com um determinado número de amostras.

Na análise bayesiana nem toda informação do parâmetro provém da amostra, somente uma parte da informação está na amostra que pode ser expressada pela função de verossimilhança, que é definida por uma função escrita em termos dos dados amostrais e dos parâmetros de interesse do modelo estudado. A outra parte da informação vêm através de um conhecimento prévio do parâmetro, que é determinado a priori e como pode ser expressa através de uma distribuição de probabilidade, determina-se então, "distribuição à priori do parâmetro".

Se existe pouco ou nenhum conhecimento à priori do parâmetro, a expressão é definida como "priori vaga", a variância é grande, assim deixa amplo o domínio para a variação dos valores do parâmetro de interesse.

O modelo geoestatístico é especificado conjuntamente para um processo espacial contínuo não observado ($S(x)$: $x \in R^2$) e para um conjunto de dados observados $Y(x)$ nas localizações x , condicionado ao processo espacial com efeito nas localizações. Sendo que $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_p \in R)$ o conjunto de parâmetros desconhecidos e não observáveis no modelo (DIGGLE; RIBEIRO JUNIOR, 2002). Então:

$$P(Y(x); S(x|\theta)) = \frac{P(Y(x), S(x); \theta)}{P(\theta)} \quad (3)$$

Segundo Box e Tiao (1973), na utilização do Teorema de Bayes, informações a priori sobre os parâmetros utilizados em associação como os dados amostrais (que são representados pela função de verossimilhança), possibilita uma inferência a posteriori dos parâmetros e a determinação de intervalos de credibilidade que são mais estreitos do que os intervalos de confiança.

Aplicando o Teorema de Bayes, a distribuição a posteriori do parâmetro é:

$$P(\theta|Y(x)) = \frac{P(\theta; Y(x))}{P(Y(x))} = \frac{P(Y(x)|\theta)P(\theta)}{P(Y(x))} \quad (4)$$

Em que, $P(Y(x)|\theta)$ é a função de verossimilhança de $Y(x)|\theta$ com distribuição gaussiana multivariada e $P(\theta)$ é a distribuição à priori de θ .

Resultados e Discussão

Os resultados referentes à análise descritiva para as variáveis densidade do solo com profundidade 0,15m e 0,30m estão na Tabela 1 com os valores da média e mediana, para as variáveis, observando que os valores estão próximos, pode dizer que não houve uma mudança brusca entre os níveis de 0,15m e 0,30m.

Tabela 1: Análise Descritiva dos dados de densidade do solo de 0,15 e de 0,3m.

Variável	Média	Máximo	Mínimo
Densidade do solo 0,15m g cm ⁻³	1,235	1,380	1,110
Densidade do solo 0,30m g cm ⁻³	1,310	1,430	1,190

Verificou-se o padrão espacial, neste trabalho, utilizando o envelope simulado, como mostra as Figuras 3 e 4, que consiste em observar pontos do variograma que estão fora do envelope simulado, isso mostra a evidência de dependência espacial.

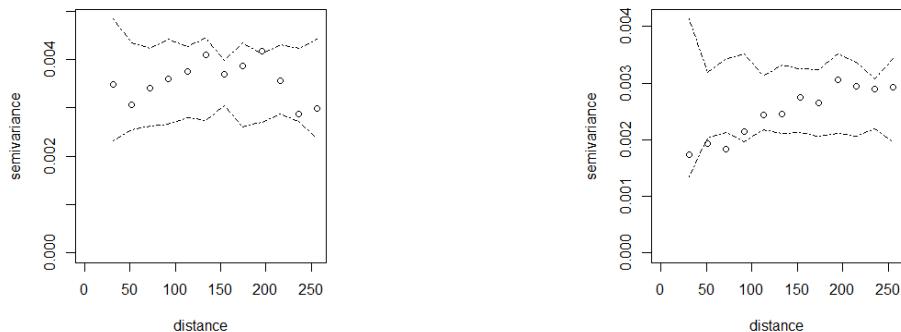


Figura 2: Envelope simulado para a densidade, na profundidade 0,15m e 0,30m

Analisando a figura 2, na profundidade 0,15m, verificamos um ponto fora do envelope, isto é uma evidência de que ocorre padrão espacial na variável densidade do solo para a profundidade 0,15m, pois basta ter apenas um ponto fora do envelope. E a densidade na profundidade 0,30m também apresentou padrão espacial, pois observamos pontos fora do envelope simulado. Para a escolha do modelo optou-se pelo menor AIC, os modelos e os valores de AIC estão na Tabela 2.

Tabela 2: Escolha do melhor modelo para densidade do solo, na profundidade 0,15m e 0,30m.

Modelos	AIC (0,15m)	AIC (0,30m)
Cauchy	-218,9846	-254,325
Circular	-220,7038	-255,5828
Cubica	-220,6277	-255,6307
Exponencial	-220,3351	-254,9660
Gaußiana	-220,5821	-255,6538
Gneiting	-220,597	-255,6625
Matern	-220,3351	-254,9660

Observando a Tabela 2, o modelo escolhido foi o circular para a variável densidade do solo na profundidade 0,15m e para profundidade 0,30m o modelo escolhido foi Gneiting.

Como verificamos, as variáveis tem padrão espacial e o AIC escolheu o melhor modelo, com isso, a interpolação dos dados ajustados pelo modelo das variáveis foi realizada tanto com a análise geoestatística quanto com a bayesiana.

A densidade do solo é o peso do solo sobre um volume, quanto maior a densidade mais duro e compactado o solo e consequentemente pior para o desenvolvimento das raízes das plantas. Valores de densidade até $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ são considerados adequados e não devem prejudicar as plantas. Segundo Souza et al. (2004), valores da densidade do solo na cana variaram de $1,33$ a $1,45 \text{ kg m}^{-3}$ e de $1,24$ a $1,52 \text{ kg m}^{-3}$, considerados altos para Latossolo Vermelho eutroférrego (solo argiloso) e na profundidade de $0,2$ a $0,4\text{m}$ houve um aumento da densidade evidenciando a compactação desta camada.

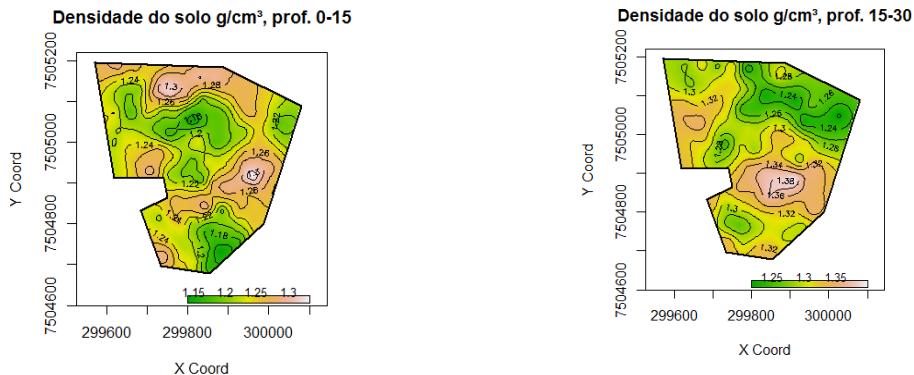


Figura 3: Mapas da distribuição espacial da probabilidade de ocorrência densidade do solo 0,15m e 0,30m, obtidos por krigagem.

Nos mapas da Figura 3 obtidos pela análise geoestatística, observa-se que na área de plantio de cana a densidade do solo na profundidade de 0,15m está elevada, isto é, os valores de densidade variaram de 1,2 a 1,26 gcm⁻³ em toda a área na profundidade. A densidade do solo na profundidade 0,30m, os valores variaram de 1,2 a 1,35 gcm⁻³, valores maiores que na profundidade de 0,15m. De acordo com o trabalho de Souza et al. (2004) a densidade tende a ser mais elevada na camada sub superficial do solo.

Com a análise bayesiana foram gerados os mapas das probabilidades de valores da densidade do solo (Figura 4)

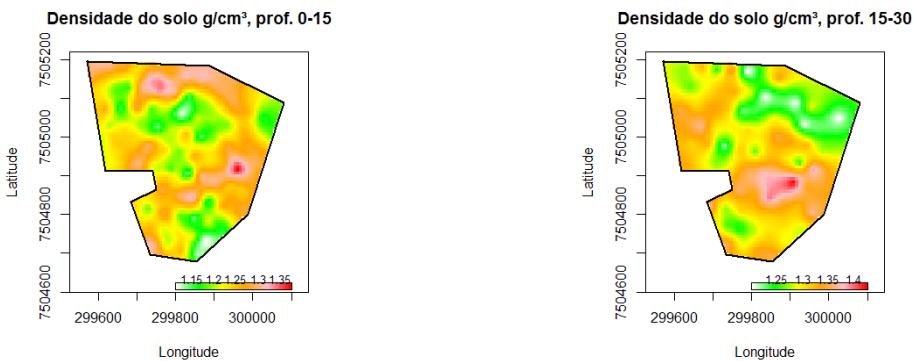


Figura 4: Mapas de probabilidade de predição de ocorrência de densidade do solo 0,15m e 0,30 m obtidos pela análise bayesiana.

Os mapas de probabilidade de predição de densidade pela análise bayesiana (Figura 4) apresentam o mesmo padrão de distribuição de manchas dos mapas obtidos por krigagem.

Os valores da densidade representados na Figura 4, foram relativamente maiores do que os obtidos na Figura 3, porém, também foram maiores na profundidade de 0,30m quando comparados a profundidade de 0,15m, indicando maior compactação na maior profundidade.

Conclusão

O padrão espacial foi encontrado para a densidade do solo tanto na profundidade de 0,15m quanto 0,3m. Os valores de densidade foram considerados altos em toda a área e maior na maior profundidade indicando solo mais compactado em sub superfície.

Tanto pelo método de análise geoestatística, com interpolação por krigagem, quanto bayesiano houve o mesmo padrão de distribuição espacial da densidade do solo, com ligeiro aumento na escala de valores dos mapas de densidade para análise bayesiana.

Referências

BELTRAME, L. F. S.; TAYLOR, J. C. Causas e efeitos da compactação do solo. **Lavoura Arrozeira**, v.33, p.59-62, 1980.

BOX, G.E.P.; TIAO, G.C. Bayesian inference in statistical analysis. New York: J. Wiley, 1973. 360p

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparamos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

CAMARGO, O. A., MONIZ, A C., JORGE, L.A, VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 93p. (Boletim Técnico, 106)

GREGO, C.R. e VIEIRA, S.R. Variabilidade Espacial de Propriedades Física do Solo em uma Parcela Experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.169-177, 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, 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

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

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds). Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.1, p.1-53, 2000.

TORMENA, C. A. **Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo**. 1998. 106 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.