

# Varibilidade Espacial do atributo densidade de um Latossolo Vermelho Escuro e Nitossolo sob cultivo de cana-de-açúcar

Simone Grego<sup>1</sup>

Paulo Justiniano Ribeiro Jr.<sup>2</sup>

**Resumo:** *O uso excessivo dos Latossolo e nitossolo com o manejo de cana-de-açúcar o preparo superficial intensivo e a queima dos resíduos, modifica intensamente as propriedades do solo. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial do atributo densidade ( $g/cm^3$ ) do solo sob o cultivo de cana-de-açúcar, através da geoestatística e da análise bayesiana. Os solos foram amostrados em uma área de 17,8ha na Fazenda Aparecida, no município de Mogi Mirim, no período de abril a junho de 2012, nas profundidades de 0 – 15m e de 15 – 30m, totalizando 90 pontos foram determinada a densidade do solo bastante argiloso.*

**Palavras-chave:** *geoestatística, densidade do solo, e análise bayesiana .*

## 1 Introdução

O cultivo exagerado dos solos com utilização de máquinas e equipamentos pesados no cultivo de cana-de-açúcar faz com que se eleve a degradação das condições físicas do solo. A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e com isso o volume dos poros, essas alterações influenciam as propriedades físico-hídricas importantes, tais como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resitência do solo à penetração (Tormena et al., 1998).

A alteração na densidade dos solos podem ser difíceis de serem definidas e avaliadas ou podem ser naturais, agindo no solo lentamente, por exemplo a eluviação 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 e Taylor, 1980). Sendo responsável pela compactação do solo, a pressão originada pelas forças de tração e próprio peso do trator e tráfego excessivo.

Os métodos geoestatísticos, que é 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; TRANGMAR et al., 1985; SOUZA et al., 2001; SOUZA et al., 2004). 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; Vieira 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

---

<sup>1</sup>LCE, ESALQ/USP

no modelo, por isso, pode ser feito uma análise descritiva sobre cada parâmetro, para que seja possível contruir intervalos de credibilidade.

A aplicação da função de verossimilhança na inferência bayesiana, difera da inferência clássica, pois na bayesiana o parâmetro de interesse é considerado uma variável aleatória .

Bayesiana tem 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 ( $g/cm^3$ ) do solo, usando o método de geoestatística e a análise bayesiana para análise dos dados.

## 2 Material e Métodos

A área estudada pertence a Fazenda Aparecida que fica no município de Mogi Mirim, cultivada com cana-de-açúcar, abrangeu uma área de 17,8ha com Latossolo Vermelho e escuro e Nitossolo, com textura bastante argilosa, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-15m e de 15-30m, totalizando 90 pontos, coletados nos meses de abril a junho de 2012. Será feita uma análise para a densidade do solo que é bastante argiloso, a Figura 1 mostra a grade estudada:

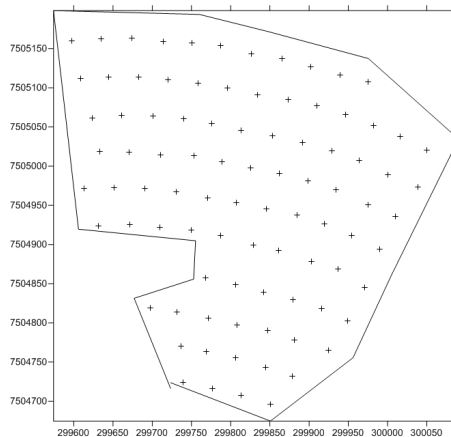


Figura 1: Grade amostral da área.

A dependência espacial foi analisada por meio de ajuste de semivariograma através do software R, onde a pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca (Vieira et al., 1983), para o cálculo do semivariograma estimada na equação:

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

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  $\gamma(\hat{h})$  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

maiores que o alcance, terão distribuição aleatória, está é uma razão de que as observações serão independentes.

Apresentando dependência espacial pelo semivariograma, 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 dados modelo é adequado, de acordo com a expressão:

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

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

Com o semivariograma verifica se existe padrão espacial, ou seja, as observações vizinhas serão semelhantes assim, haverá possibilidade de estimar valores para qualquer local, onde a variável não foi medida, para isso usa-se a krigagem, segundo Vieira et al.(2002), 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 constroi-se isolinhas em função das coordenadas geográficas, assim com a krigagem para mostrar a variabilidade espacial, 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 geostatística dos dados é completa com as informações mostradas nos mapas visualmente comparadas para o entendimento da variabilidade da propriedade físicas do solo no campo e que são úteis nas tomadas de decisões (Grego, C.R. e Veira, 2005).

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

Na análise bayesiana nem toda informação do parâmetro provêm 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 por priori e como pode ser expressa através de uma distribuição de probabilidade, determina-se entao, "distribuição à priori d 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 ( $S(x) : x \in \mathbb{R}^2$ ) e para um conjunto de dados observados  $Y(x)$  nas localizações  $x$ , condicionado ao processo espacial com efeito nas localizações. Sendo que  $\theta = (\theta_1; \dots, \theta_p \in \mathbb{R})$  o conjunto de parâmetros desconhecidos e não observáveis no modelo (Diggle e Ribeiro Junior, 2002). Então:

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

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:

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

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  $\theta$ .

### 3 Resultado e Discussão

Os resultados referentes à análise descritivas para a variáveis densidade do solo com profundidade 0-15m e 15-30m 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 15-30m.

Tabela 1: Análise Descritiva

Variável	Média	Máximo	Mínimo
Densidade do solo 0-15m	1.235	1.380	1.110
Densidade do solo 15-30m	1.310	1.430	1.190

Verificou 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.

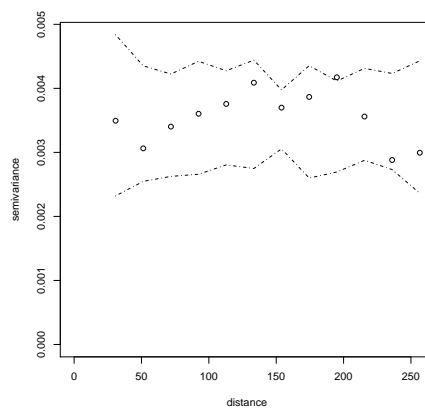


Figura 2: Envelope simulado para a densidade, profundidade 0-15.

Analisando a figura 3, verificamos um ponto fora do envelope, isto é uma evidências de que à padrão espacial na variável densidade do solo para a profundidade 0-15m, pois basta ter apenas um ponto fora do envelope.

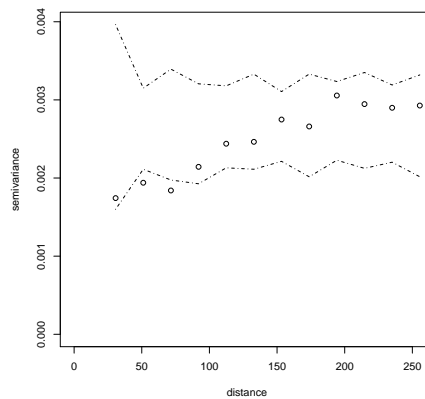


Figura 3: Envelope simulado para a densidade, profundidade 0-15.

A figura 4 mostra que a variável densidade do solo na profundidade 15-30m tem 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 nas tabelas a seguir:

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

Modelo	AIC
Cauchy	-218.9846
Circular	-220.7038
Cubic	-220.6277
Exponential	-220.3351
Gaussian	-220.5821
Gneiting	-220.597
Matern	-220.3351

Observando a tabela 2 o modelo escolhido foi o circular para a variável densidade do solo na profundidade 0-15m.

Tabela 3: Escolha do melhor modelo para densidade do solo, na profundidade 15-30m

Modelo	AIC
Cauchy	-254.325
Circular	-255.5828
Cubic	-255.6307
Exponential	-254.9660
Gaussian	-255.6538
Gneiting	-255.6625
Matern	-254.9660

Pela tabela 3, o modelo escolhido foi gneiting, para a variável densidade do solo na profundidade 15-30m.

Como verificamos as variáveis tem padrão espacial e pelo AIC escolheu o melhor modelo, com isso, os mapas dos valores ajustados pelo modelo das variáveis foi realizado ( com a análise geoestatística e com a bayesiana), neste mapa é possível observar onde a densidade do solo em

$g/cm^3$  na área foi mais elevada.

A densidade do solo é o peso do solo sobre um volume, quanto maior a densidade mais duro e compactado o solo e conseqüentemente pior para o desenvolvimento das raízes das plantas, valores de densidade até 1.2 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  $kg/m^3$  e de 1.24 a 1.52  $kg/m^3$ , considerados altos para Latossolo Vermelho, eutroférico (solo argiloso) e na profundidade de 0.2 a 0.4m houve um aumento desta variável evidenciando a compactação desta camada eutroférico, como os dados foram coletado em  $g/cm^3$ , a transformação foi feita, então os valores considerados altos são: 0.00133 a 0.00145  $g/cm^3$  e de 0.00124 a 0.00152  $g/cm^3$ . Portanto a densidade alta indica solo compactado e no caso da cana, pode ser devido o transito de maquinas e o manejo localizado do solo.

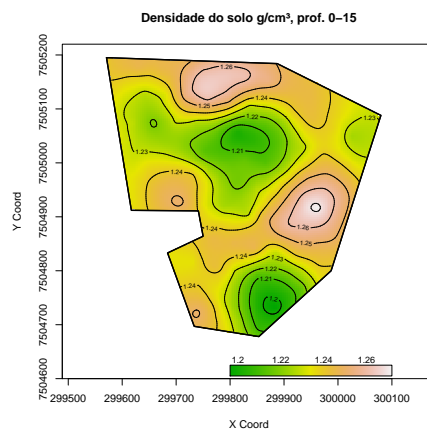


Figura 4: Mapa da distribuição espacial da probabilidade de ocorrência densidade do solo 0-15m.

Na figura 5, temos que na área de plantio de cana a densidade  $g/cm^3$  do solo na profundidade de 0-15 está elevada, isto é, os valores de densidade está variando de 1.2 a 1.26  $g/cm^3$  indicando uma densidade muito alto em toda a área na profundidade 0-15m.

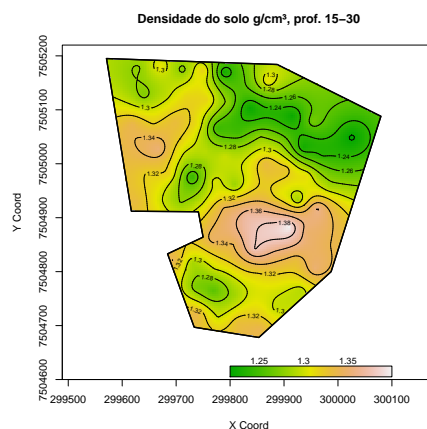


Figura 5: Mapa da distribuição espacial da probabilidade de ocorrência densidade do solo 15-30m.

A densidade do solo na profundidade 15-30m, está representado pela figura 6, os valores estão variando de 1.2 a 1.35  $g/cm^3$ , há pontos com valores maiores que na profundidade de 0-15m, com

isso, temos que a densidade com profundidade 15-30m está um pouco mais elevada do que na outra, que segundo Souza et al. (2004) nas profundidades de 0.2-0.4m a densidade tende a ser mais elevada.

Com a análise bayesiana observa-se os mapas das probabilidades de valores da densidade do solo  $g/cm^3$  gerados foram:

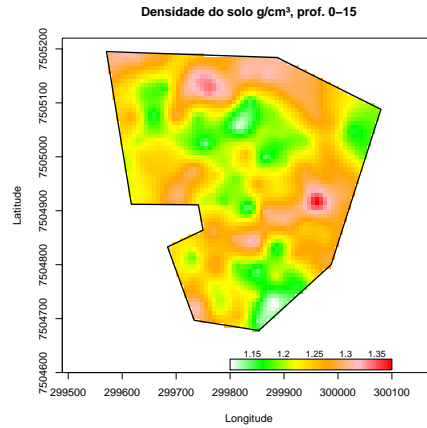


Figura 6: Mapa de probabilidade de predição de ocorrência densidade do solo 0-15m.

Observando a figura 7, temos que, a densidade na profundidade variou de 1.15 a 1.35  $g/cm^3$ , considerado um valor muito alto segundo Souza et al. (2004), indicando uma compactação do solo.

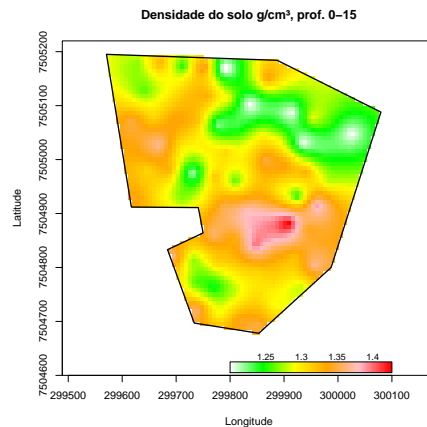


Figura 7: Mapa de probabilidade de predição de ocorrência densidade do solo 0-15m.

Os valores da densidade na profundidade 15-30m, representada na figura 8, variou de 1.25 a 1.4  $g/cm^3$ , ou seja, também teve valores altos e maiores com a profundidade de 0-15m, segundo Souza et al. (2004), como nesta área cultiva-se cana, o motivo dessa densidade alto é devido ao transito intensivo de maquinas e inadequada do solo.

## 4 Conclusões

Analisando a área estudada referente a Fazenda Aparecida que fica no município de Mogi Mirim com o cultivada com cana-de-açúcar, que abrangeu uma área de 17,8ha com Latossolo Vermelho e escuro e Nitossolo, com textura bastante argilosa, amostras foram coletadas nas profundidades de 0-15m e de 15-30m, totalizando 90 pontos, coletados nos meses de abril a junho de 2012. Temos que, há valores muitos altos em toda a área, segundo Souza et al. 2004, que valores considerados altos variam de 0.00133 a 0.00145 $kg/cm^3$  e de 0.00124 a 0.00152 $kg/cm^3$  e quanto maior a densidade mais duro e compactado o solo.

Na profundidade de 15-30m houve um aumento desta variável evidenciando a compactação desta camada eutroférrico, o motivo dessa compactação é o transito de maquinas frequentes no manejo da cana.

## Referências

- [1] BELTRAME, L.F.S. e TAYLOR, J.C. Causas e efeitos da compactação do solo. Lav. Arroz, 33:59-62, 1980.
- [2] 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, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- [3] GREGO, C.R. e Vieira, S.R. Variabilidade Espacial de Propriedades Física do Solo em uma Parcela Experimental. R. Bras. Ci. Solo, 29:169-177, 2005.
- [4] DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JR, P.J., Model-based geostatistics, USA: Springer Series in Statistics, 2007.
- [5] Souza, Z.M.; Silva, M.L.S.; Guimarães, G.L.; Campos, 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, Viçosa, v.25, n.3, p.699-707, 2001.
- [6] Vieira, S.R.; Hatfield, J.L.; Nielsen, D.R.; Biggar, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, Oakland, v.51, n.1, p.1-75, 1983.
- [7] VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-53.
- [8] VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. e REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. e COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.
- [9] Trangmar, B.B.; Yost, R.S.; Wade, M.K.; Uehara, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy, San Diego, v.38, n.1, p.45-94, 1985.



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