

AJUSTE DE MODELOS GEOESTATÍSTICOS PARA ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO.

DIOGO FRANCISCO ROSSONI¹; RENATO RIBEIRO DE LIMA²

RESUMO

A influência da heterogeneidade do solo na estimação das diferenças entre os tratamentos é uma preocupação para os pesquisadores de campo. Na busca de alternativas para controlar esse fator e aumentar a precisão das comparações entre os tratamentos torna-se necessário o estudo da dependência espacial de variáveis do solo através da teoria das variáveis regionalizadas ou geoestatística, que permite a interpretação e a projeção dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural. Com o conhecimento das posições relativas das amostragens (dados referenciados), a variabilidade espacial passa a ser utilizada como um fator positivo, identificando interações importantes nas conclusões experimentais. O objetivo deste trabalho é verificar a presença de variabilidade espacial para as variáveis teor de fósforo e teor de cálcio, amostrados de uma área experimental no município de Cascavel-PR, e efetuar seu ajuste através de modelos geoestatísticos para posteriormente efetuar a predição de áreas não amostradas através da krigagem.

Palavras-Chaves: Geoestatística, variabilidade espacial, krigagem.

INTRODUÇÃO

O maior desafio quando se conduz um experimento é o de comparar os tratamentos com a maior precisão possível, para se ter segurança nas inferências a serem feitas a partir dos resultados alcançados.

A precisão de um experimento está totalmente ligada a pequenas variações nas unidades experimentais, antes de serem aplicados os tratamentos, ou induzidas involuntariamente, durante a execução do experimento, que causam heterogeneidade entre as parcelas, também conhecida como variação do acaso, variação ambiental ou, simplesmente, erro experimental (Storck et al., 2000).

Quando o erro experimental é muito grande, os testes estatísticos usados para comparar as médias de tratamentos podem ser influenciados, impedindo que algumas diferenças entre médias de tratamentos sejam detectadas. Souza et al (1999) menciona que para se continuar obtendo sucesso em programas de melhoramento genético, o desafio é cada vez maior, pois as diferenças entre os materiais genéticos são gradativamente menores. Isso mostra que a experimentação agrícola requer a utilização de técnicas experimentais cada vez mais refinadas. Nesse refinamento estão envolvidos diversos fatores, tais como: escolha criteriosa do delineamento, locais de instalação dos experimentos, número de repetições, tamanho e forma da parcela e uma perfeita condução dos experimentos. Todos esses fatores irão atuar de forma direta ou indireta na precisão experimental.

Com o desenvolvimento computacional, alternativas tornaram-se disponíveis aos experimentadores, como por exemplo, os métodos de análise espacial de experimentos, que em certas situações podem proporcionar resultados satisfatórios. Esses métodos se baseiam na análise de vizinhança, ou seja, nas parcelas vizinhas ou modelam a dependência espacial em função da distância entre parcelas, visando o controle da heterogeneidade espacial.

Cressie (1991), citando evidências com mais de 30% de grande eficiência, descobriu que a análise que aproxima o erro variância-covariância da estrutura é mais preciso do que a análise convencional que assume que essa estrutura é independente.

¹ Mestrando em Estatística e Experimentação Agropecuária, DEX/UFLA diogo.rossoni@gmail.com

² Professor Adjunto II, DEX/UFLA, rlima@dex.ufla.br

Nesse estudo, tem-se por objetivo, estudar a variabilidade espacial presente na região onde foram coletadas as parcelas experimentais, bem como através de análises geoestatísticas, efetuar a predição de locais não amostrados.

MATERIAL E MÉTODOS.

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados em uma área experimental localizada no Centro de Pesquisa Eloy Gomes da Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (COODETEC), em Cascavel (PR), com solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico. O experimento foi desenvolvido em parceria com a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Os dados foram cedidos para estudo pelo Professor Doutor Miguel A. U. Opazo, professor associado do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CCET da UNIOESTE.

A área experimental total era de 2,28 hectares, dividida em uma malha regular de 256 parcelas de 7,20 x 7,20 m, com corredor de 2,4 m em uma das direções, perfazendo um total de 128 parcelas com manejo químico localizado (CML), representadas em branco na Figura 1 e 128 parcelas sem manejo químico localizado (SML), representadas em cinza na Figura 1. O esquema de amostragem utilizado nessa área é denominado de amostragem desalinhada sistemática estratificada, que combina os benefícios de um grid regular com uma amostragem aleatória (Souza et al., 1999).

Para coleta dos elementos amostrais do solo em cada parcela, a partir de um ponto de referência, foram tomadas quatro sub-amostras na camada de 0,0m a 0,20m de profundidade, dentro de um raio de 0,25m, as quais, posteriormente, foram misturadas para compor uma amostra representativa de cada parcela. Essas amostras foram encaminhadas ao laboratório de análise de solo da COODETEC, para realização de análise química de rotina.

A área foi cultivada com soja e os dados são referentes às variáveis químicas do solo, a partir das amostras coletadas nos anos de 1998 e 2002.

Diversas variáveis químicas do solo foram avaliadas e, para este estudo, serão considerados o teor de fósforo (P) e o teor de cálcio (Ca).

A metodologia do trabalho é dividida em 5 etapas:

1. Verificar a presença de variabilidade espacial através da construção do semivariograma empírico;
2. Ajustar o semivariograma empírico ao modelo teórico;
3. Verificar, através da técnica de validação cruzada, qual modelo teórico melhor se ajustou ao semivariograma empírico;
4. Verificar a presença de anisotropia;
5. Construção de mapas de superfície através da krigagem.

Para a análise gráfica e estatística para os métodos propostos foi utilizado o pacote geoR versão 2.11 (Ribeiro Junior & Diggle, 2001) do programa R (R Core Development Team, 2009).

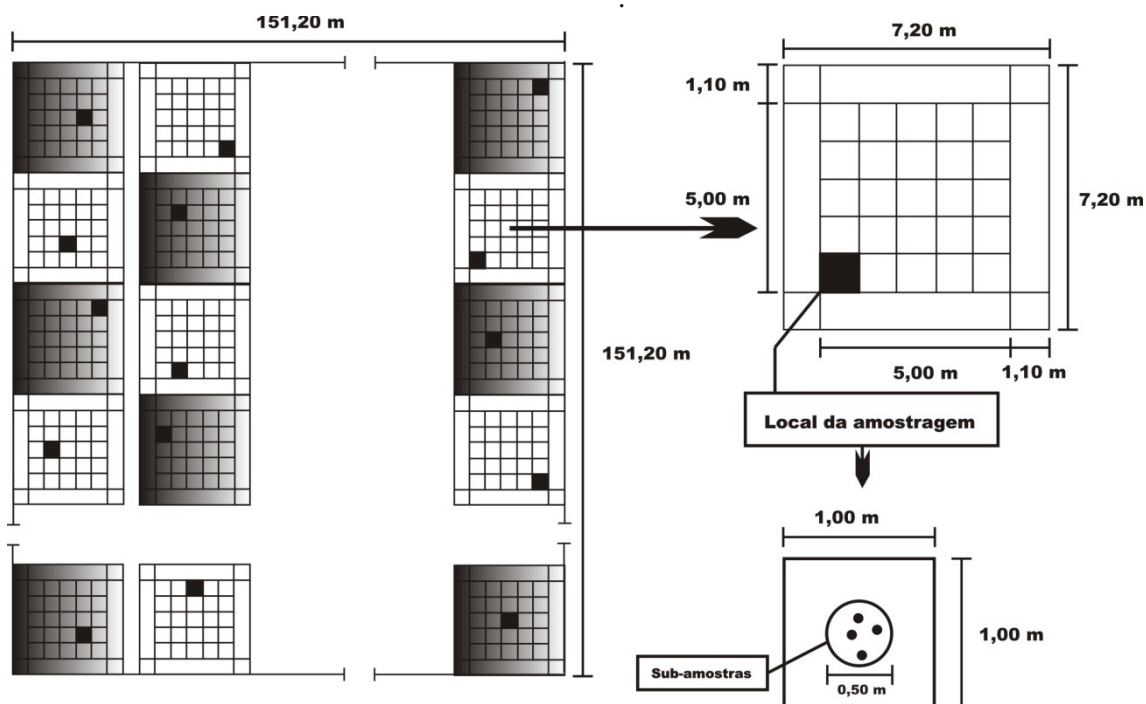


Figura 1: Esquema de amostragem desalinhada sistemática estratificada

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CONSTRUÇÃO DOS SEMIVARIOGRAMAS EMPÍRICOS E AJUSTE AO MODELO TEÓRICO

Os semivariogramas empíricos foram obtidos através da equação de Matheron. Procedeu-se uma análise visual para a escolha de cada modelo a ser utilizado para cada variável. Para o teor de fósforo (P) foram apresentados dois modelos satisfatórios: o modelo esférico e o modelo exponencial. Para o teor de cálcio (Ca) o modelo que melhor se ajustou foi o modelo gaussiano. O ajuste pode ser observado na Figura 2.

Tabela 1: Estimativas dos parâmetros dos semivariogramas teóricos

Variável	Modelo	Pepita (c_0)	Patamar (C)	Alcance (a)	Efeito Pepita Relativo (c/c)
Teor de Fósforo	Esférico	0,9550036	1,3497354	97,9548	0,7075
	Exponencial	0,8901327	1,3978363	129,3685	0,6367
Teor de Cálcio	Gaussiano	1,2808343	1,6866088	38,6711	0,7594

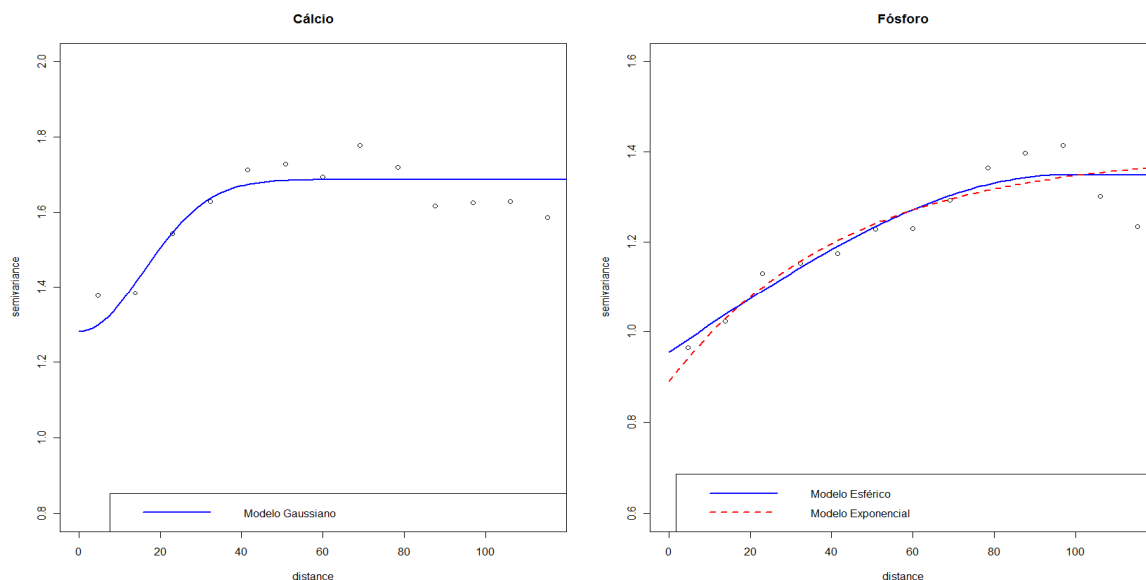


Figura 2: Semivariograma empírico para teor de Cálcio (Ca) e teor de Fósforo (P) ajustado por modelos teóricos.

Visualmente, o modelo esférico e o modelo exponencial descreveram de modo satisfatório a variabilidade espacial do teor de fósforo (Figura 2). O efeito pepita relativo que mede a dependência espacial da variável estudada, ficou entre 0,25 e 0,75 para os dois modelos, indicando moderada dependência espacial (Tabela 1).

Já a variável teor de cálcio (Ca), que foi ajustada pelo modelo gaussiano, apresentou efeito pepita superior a 0,75, indicando fraca dependência espacial. Isso se deve principalmente ao alto valor de pepita (C_0) obtido pelo modelo teórico.

Como o teor de fósforo (P) foi ajustado por dois modelos teóricos, aplicou-se a técnica de validação cruzada com o intuito de escolher um melhor modelo. Os valores do erro médio e do desvio padrão do erro médio, obtidos pela validação cruzada estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da validação cruzada para os modelos esférico e exponencial

<i>Modelo</i>	<i>Esférico</i>	<i>Exponencial</i>
Erro Médio	$3,3929 \cdot 10^{-5}$	$0,2986 \cdot 10^{-5}$
Desvio padrão do erro médio	1,030425	1,023787

O modelo exponencial ajustou-se melhor ao semivariograma empírico, pois obteve o erro médio mais próximo de zero do que o modelo esférico. O mesmo ocorreu para o desvio padrão do erro médio: o modelo exponencial ficou mais próximo de 1 do que o modelo esférico.

MAPAS DE KRIGAGEM

Construiu-se os mapas de superfície através do preditor krigagem, os quais estão apresentados nas Figuras 3 e 4. Os mapas foram obtidos através do pacote geoR.

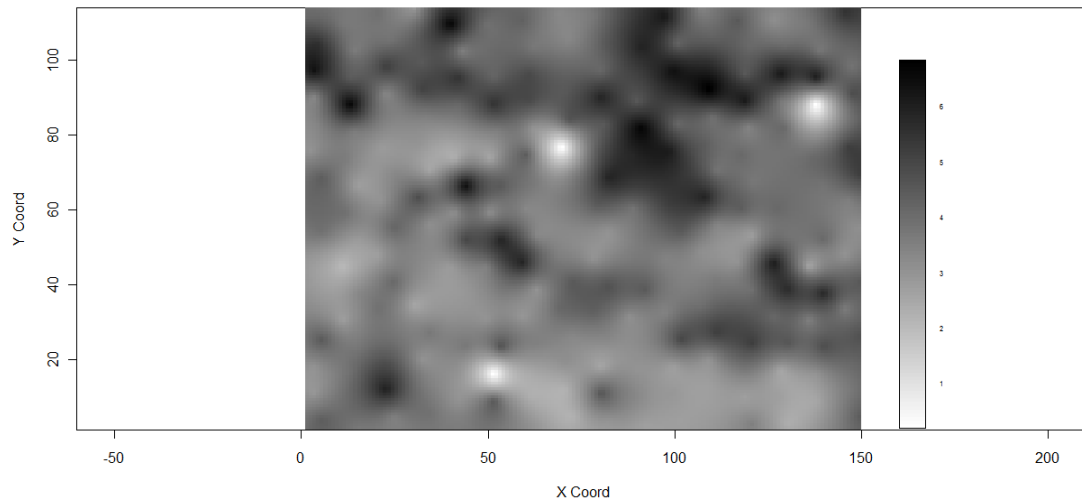


Figura 3: Mapa de krigagem ordinária para o teor de fósforo(P)

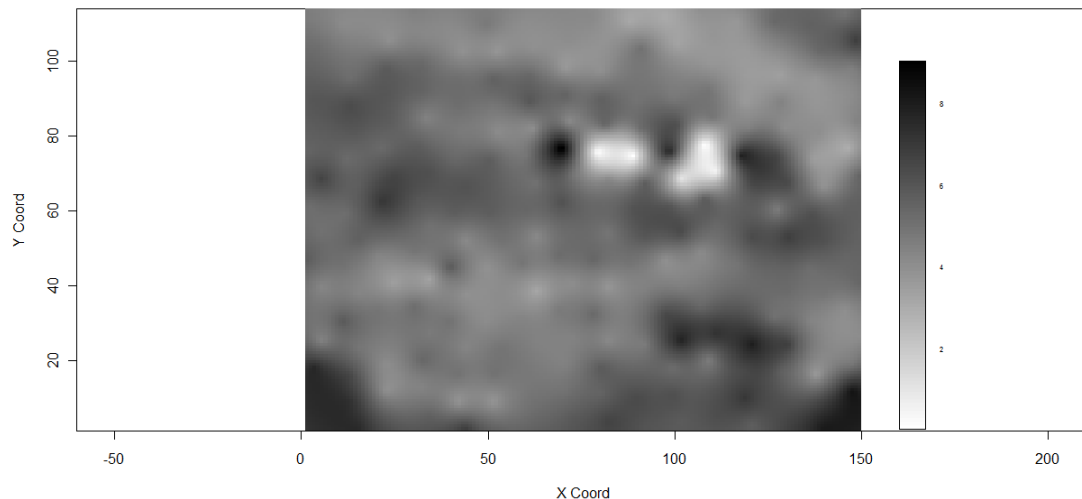


Figura 4: Mapa de krigagem ordinária para o teor de cálcio(Ca)

Nos dois mapas, Figura 3 e Figura 4, pode-se visualizar o comportamento das variáveis estudadas em pontos onde foram estimadas pela krigagem. Agora, torna-se claro o que já havia sido verificado pelo efeito pepita relativo. No mapa do teor de fósforo(P) pode-se perceber uma moderada variação espacial, enquanto que no mapa do teor de cálcio, essa variação é baixa.

CONCLUSÕES

1. As variáveis teor de fósforo(P) e teor de cálcio(Ca) apresentaram variabilidade espacial que pode ser modelada através do modelo exponencial e gaussiano, respectivamente.
2. O teor de fósforo apresentou uma moderada variabilidade espacial e o teor de cálcio apresentou baixa variabilidade espacial.
3. Através dos respectivos mapas de krigagem pode-se entender o comportamento espacial das variáveis estudadas, bem como estimar pontos de maior e menor concentração das mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900 p.

PAULO J. RIBEIRO JR & PETER J. DIGGLE **geoR: a package for geostatistical analysis R-NEWS**, 1(2):15-18. June, 2001

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; RIBEIRO, S.R.A.; SILVA, M.S.; URIBE-OPAZO, M.A.; MOLIN, J.P.; OLIVEIRA, E.F.; NÓBREGA, L.H.P. **Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um Latossolo Roxo distrófico na região de Cascavel, PR**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.8, n.3, p.80-92, 1999.

STORCK, L.; GARCIA D. C.; LOPES S.J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação Vegetal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 128p.