

UM ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO CONTEÚDO DE AREIA DO SOLO, UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

A STUDY OF SPATIAL VARIABILITY OF SOIL SAND BY MEANS OF DIFFERENT INTERPOLATION METHODS

Pedro Henrique Weirich Neto¹, Osvaldo Buzolini Junior², Jansle Vieira da Rocha³, Elaine Borghi³ e Claudio Bianor Sverzut³

¹ Autor para contato: Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Departamento de Ciências do Solo e Engenharia Agrícola, Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), Ponta Grossa, PR, Brasil; (42) 3220-3092 e-mail: lama1@uepg.br

² Prefeitura Municipal de Araras, Araras, SP.

³ Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

Recebido para a publicação em 04/04/2005

Aceito para a publicação em 19/03/06

RESUMO

Com a globalização da economia, a agricultura brasileira necessita rever conceitos. A agricultura de precisão, técnica que utiliza a análise e aplicação localizada de insumos, pode ser uma alternativa de otimização da produção agrícola. Sua utilização demanda informações da variabilidade espacial de pontos específicos da lavoura. Visando simplificar a análise, de posse de um conjunto de valores, geralmente de variáveis e atributos do solo, é necessário criar um mapa. O procedimento para estimar valores em pontos não visitados dentro de uma área é chamado de interpolação. O objetivo deste trabalho foi analisar alguns métodos mais comuns de interpolação, utilizando-se a variável conteúdo de areia do solo. Os métodos Base Radial (multi-quadrático), Mínima Curvatura, Krigagem e Triangulação foram os que apresentaram menor erro quando da comparação dos valores inferidos com os medidos.

Palavras-chave: mapas, agricultura de precisão, geoestatística

ABSTRACT

Brazilian agriculture must review its concepts due to the globalization of economy. Precision farming, a technique that employs localized analysis and input management, may be an alternative method for optimizing agricultural production. Its application requires information on spatial variability of specific spots in the field. In order to simplify the analysis, it is necessary to generate maps, mostly through the use of soil-related data. The procedure of estimating values for non-sampled spots is called interpolation. The objective of this paper was to evaluate some of the most

commonly used methods for interpolation by analyzing the content of sand in the soil. The methods of radial basis (multi-quadratic), spline, kriging and triangulation produced the fewest errors in the comparison between estimated and measured values.

Key words: maps, precision farming, geostatistics

Introdução

A determinação dos parâmetros responsáveis pelo rendimento das culturas é de suma importância para alcançar a agricultura sustentável. Addiscott (1993) e Van Uffelen *et al.* (1997) comentam que o conhecimento das variáveis responsáveis pelo rendimento das culturas permite a utilização de modelos e simulações, e conseqüente economia dos recursos naturais.

Fundamentada em conceitos semelhantes, porém considerando a parte operacional do processo produtivo, a agricultura de precisão tem como premissa básica, conforme Molin (1997), o manejo localizado de variáveis do solo e da cultura e, portanto, necessita também da qualificação e quantificação dos parâmetros responsáveis pelo rendimento das culturas agrícolas. Marques Junior e Corá (1998) relatam que esta tarefa é complexa, pois os fenômenos naturais e antrópicos, bem como suas interações, são anisotrópicas e não homogêneas.

Alguns autores já demonstraram correlações entre o rendimento de culturas com algumas variáveis e ou atributos físicos dos solos (Swan *et al.*, 1987; Fiorin *et al.*, 1997; Yang *et al.*, 1998 e Bakhsh *et al.*, 2000).

Oyedele e Aina (1998) demonstraram que as variáveis físicas das camadas superficiais e as químicas nas camadas subsuperficiais são as mais importantes para o fenômeno rendimento de massa vegetal.

Classificada como variável de física de solo a areia (partículas de solo com diâmetros entre 0,05 e 2mm), segundo Malavolta (1980), tem relevância para a nutrição mineral das plantas. Para solos agrícolas de textura grossa, Atherton *et al.* (1999) relatam necessidade de adição de uma quantidade maior de nitrogênio para melhores rendimentos, já Prado (1991) comenta da necessidade de uma dose menor de herbicidas.

Lopes e Cox (1979) e McCoy (1998) relatam que a argila e a matéria orgânica são as variáveis mais

importantes em um solo agrícola. Identificando parâmetros químicos e físicos do solo de influência no rendimento do milho na região dos Campos Gerais, Garbuio (2002) e Herrera (2003) concluíram que o conteúdo de argila na profundidade de 0-0,2 m mostra tendência de correlação positiva com o rendimento.

Outro problema neste tipo de estudo é a forma de análise, segundo Marques Junior e Corá (1998) a regra é uma extensiva variabilidade espacial nas variáveis e atributos do solo e no rendimento das culturas. Vieira *et al.* (1992) descreveram diferentes arranjos estruturais para variáveis e atributos físicos de três solos.

Para Fuks (1998) a caracterização das variáveis e atributos do solo responsáveis pelo sucesso da produção deve ser colocada à disposição do usuário na forma de mapas. Segundo Burrough (1986), o procedimento de estimar o valor da variável em pontos não visitados, através de valores conhecidos é denominado de interpolação. Os principais métodos de interpolação conforme Burrough (1986) e Landim (1998) são por Equações Polinomiais, Triangulação, Inverso da Potência da Distância, Mínima Curvatura, métodos de Base Radial e Krigagem.

Conforme estes autores a interpolação por Equação Polinomial, também denominada como superfície de tendência, baseia-se no ajuste de uma superfície contínua, por critérios de regressão por mínimos quadrados. Já o Inverso da Potência da Distância é um método de interpolação local. A Mínima Curvatura é baseada em teorias de matemática aplicada (derivação), isto é, são métodos iterativos. Neste último caso, conforme Keckler (1997), o máximo resíduo deve ser estimado com 10% de precisão ou com 2500 iterações.

Outro método muito utilizado, conforme Landim (1998), é Triangulação, o qual baseia-se na variação linear (polinômio de primeiro grau), com a formação de uma rede triangular.

O método de Shepard é uma variação do método do Inverso da Potência da Distância e segundo

Burrough (1986), considera, além da distância, o ângulo entre os pontos conhecidos. Keckler (1997) relata que tal método diminui o efeito do ponto visitado, minimizando a ocorrência das estruturas denominadas de alvos (*bull eye*).

Vários métodos normalmente encontrados são considerados de Base Radial. No caso específico, considera-se Base Radial a utilização de equações matemáticas específicas.

O método da Krigagem provém de um estudo geoestatístico que é dividido em duas partes, a escolha do modelo teórico de semivariograma e a krigagem propriamente dita. Valente (1982) e Burrough (1986) conceituam semivariograma como a função que regionaliza a variável de interesse, fornecendo o componente estrutural da variável no espaço, o componente aleatório, bem como erro residual, valores estes que deverão ser utilizados pelo estimador. Segundo Landim (1998) e Fuks (1998) o modelo geoestatístico (Krigagem), é o método mais interessante quando do estudo de variáveis regionalizadas.

Inúmeros autores têm utilizado o semivariograma para confirmar a variabilidade espacial, principalmente de variáveis e atributos do solo, Cambardella *et al.* (1987), Vieira (1997), Souza *et al.* (1997) e Oliveira *et al.* (1999) são exemplos.

Johan *et al.* (2004) discutem o grau de subjetividade da modelagem geoestatística provocado pela escolha do modelo teórico de semivariograma. Brooker (1991) submeteu o mesmo conjunto de dados a cinco diferentes pesquisadores, os quais chegaram a cinco diferentes semivariogramas.

Observando a crescente demanda pela utilização dos programas computacionais do tipo geo-referenciados, onde a representação gráfica é utilizada também matematicamente, objetivou-se neste trabalho verificar a acurácia dos principais métodos de interpolação na

representação da variabilidade espacial do conteúdo de areia de um solo.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado em uma propriedade agrícola na Região dos Campos Gerais, situada no segundo planalto do Paraná, tendo altitudes entre 800 e 1100 m. O clima conforme Koeppen é subtropical úmido (Cfb), com verões frescos e invernos com geadas severas e freqüentes, sem estação seca definida (IAPAR, 1978). As coordenadas geográficas (SAD 69) do ponto um (0,0; 0,0) eram latitude 25° 01' 14,2" Sul e longitude 50° 18' 41,6" Oeste, situado em Ponta Grossa.

Conforme mapa geológico referente ao município de Ponta Grossa, sugerido por Godoy (1991), a região em estudo tem como origem à formação Ponta Grossa, Grupo Paraná. São típicas desta formação as rochas do tipo folhelhos e siltitos com intercalações de arenitos.

O solo foi classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, franco argiloso.

Determinaram-se o conteúdo de areia do solo em 60 pontos geo-referenciados, equidistantes de 40 m, com quatro transeções de 15 pontos, conforme Figura 1. Em cada ponto, com trado tipo holandês, retirou-se uma amostra composta de três subamostras, na profundidade de 0-0,2 m, dentro de um raio aproximado de 2 m. Para determinação da fração areia do solo utilizouse metodologia conforme EMBRAPA (1997). Reichardt *et al.* (1986) comentam que a amostragem em um plano espacial determinado, mantém constante a intensidade de amostragem. Sadler *et al.* (1998) relatam que na aquisição de dados no campo existe correlação quadrática negativa entre resolução e custos.

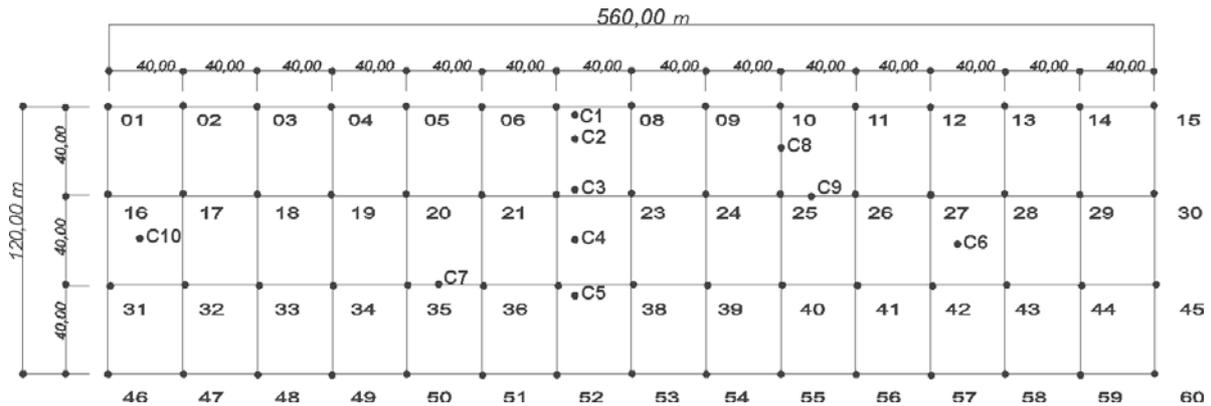


Figura 1 - Malha regular de 60 pontos utilizada na amostragem e localização dos dez pontos analisados para a conferência dos métodos (C1 a C10), em metros.

Para a aferição dos métodos de interpolação, foram demarcados e amostrados mais dez pontos intermediários (C1 a C10), conforme Figura 1. Estes pontos não foram utilizados para a inferência e confecção dos mapas. Os pontos C1 a C5 são uma seqüência que obedece a declividade do terreno. Os pontos C6 a C10 têm localizações intermediárias aos pontos com valores medidos.

Para a confecção dos mapas, utilizaram-se sete métodos de interpolação, todos disponíveis no programa computacional Surfer® 6.04. Os métodos utilizados foram: Krigagem, Triangulação, Inverso do Quadrado da Distância, Shepard, Mínima Curvatura, Base Radial (multi-quadrática) e Regressão Polinomial (ordem dois). Convém salientar que existem outros métodos, bem como variações dentro de cada um, sendo que esses foram escolhidos por serem os mais aplicados.

De posse do conjunto de valores do conteúdo de areia, realizou-se análise para verificação de normalidade, visando estudo geoestatístico (Hair Junior *et al.*, 1998 e Opazo, 2002).

Para os testes de normalidade de Anderson-Darling e de Ryan-Joiner o recomendado é aceitar como variável normal aquela cujos valores apresentem uma probabilidade superior a 0,10. Para o teste de Kolmogorov-Smirnov normal é aquela que apresenta probabilidade superior a 0,15 (Minitab, 1998). Os testes foram realizados no Minitab® 12.2 for Windows.

No caso da análise geoestatística, utilizou-se para a escolha do modelo teórico de ajuste à semivariância

experimental, o programa computacional Variowin, versão 2.2.

Os valores obtidos pelas inferências de cada método para os dez pontos (C1 a C10) foram comparados com os valores medidos. Para comparação da acurácia dos métodos, analisou-se a média dos valores absolutos dos erros, isto é, a média das diferenças entre os valores medidos, obtidos por análise laboratorial, e os valores atribuídos por cada método. Utilizou-se ainda, como forma de comparação, o desvio padrão dos valores dos erros obtidos.

Realizou-se também análise visual das superfícies geradas pelos diferentes interpoladores.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra os valores da análise descritiva e testes de normalidade da variável conteúdo de areia e da variável gerada com a transformação dos valores originais do conteúdo de areia. Observa-se que os valores originais do conteúdo de areia não obedecem a uma distribuição estatística normal, pois dos três testes realizados, dois não alcançaram valores de probabilidade para tal. Quando da transformação dos valores originais do conteúdo de areia pela aplicação da função matemática logaritmo natural (base $e = 2,7182$) gerou-se uma nova variável, denominada \ln Areia, a qual, conforme Tabela 1, não apresentou problemas de normalidade.

Tabela 1 - Análise descritiva e testes de normalidade das variáveis de conteúdo de areia e ln Areia (60 pontos amostrados) (profundidade de 0-200 mm).

Variável	média	mediana	moda	máximo	mínimo	desvio padrão	CV(%)	probabilidade (%) de testes de normalidade		
								A-D ¹	R-J ²	K-S ³
Areia (g kg ⁻¹)	356	340,5	388	538	213	72,6	20,3	0,039	>0,10	0,046
ln Areia (g kg ⁻¹)	5,86	5,83	5,96	6,29	5,36	0,203	3,5	0,160	>0,10	>0,15

¹ Teste de normalidade de Anderson-Darling

² Teste de normalidade de Ryan-Joner

³ Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov

Para a inferência de valores através do método da Krigagem utilizou-se a variável ln Areia. Realizado o semivariograma, observou-se que o modelo esférico com alcance de 240 m e efeito pepita de 10 g kg⁻¹ (já transformado para conteúdo de areia) foi o que melhor se adaptou. Valente (1982) relata que, em 90% dos casos, o modelo esférico é o que melhor representa variáveis geológicas. Para a geração da superfície de contorno pelos outros métodos utilizaram-se os valores originais do conteúdo de areia do solo para os 60 pontos amostrados.

Para comparação entre os métodos transformaram-se os valores inferidos do conteúdo de areia, pelo método da Krigagem, pela expressão matemática inversa.

Através da Tabela 1, chega-se a uma amplitude de 325 g kg⁻¹ para o conteúdo de areia, a qual pode ser considerada elevada, porém para o tipo de trabalho proposto quanto maior este valor, maior será a exigência do método. Os valores observados do conteúdo de areia concordam com a bibliografia, apresentando valores intermediários aos comumente encontrados para os solos de formação Ponta Grossa e Furnas.

Em uma área de 350 hectares na Região dos Campos Gerais, Sá (1995) observou que o conteúdo de areia variou de 300 a 680 g kg⁻¹. Sá (2001), em qua-

tro áreas na mesma região, relata que para a área de formação Furnas (arenito) os conteúdos de areia, variaram de 440 a 720 g kg⁻¹, para as áreas de formação Ponta Grossa (folhelho) os conteúdos variaram de 160 a 230 g kg⁻¹.

O valor do coeficiente de variação (CV) para o conteúdo de areia do solo, demonstrado na Tabela 1, pode ser considerado elevado conforme bibliografia correlata. Libardi *et al.* (1986), Moulin *et al.* (1994) encontraram valores do CV para o conteúdo de areia do solo de 9,8% e 13% respectivamente. Vieira *et al.* (1992) determinaram CV de 3,75 a 8,27% para três diferentes solos.

Conforme Gomes (1990), tratando de uma visão matemática, o valor do coeficiente de variação do conteúdo de areia do solo estaria em uma faixa de transição entre médio e alto.

A análise descritiva da variável ln Areia não merecerá comentários pelo fato da mesma ser uma transformação matemática, onde os valores apresentados não possuem importância prática.

A Tabela 2 mostra os valores do conteúdo de areia do solo, medidos e inferidos pelos métodos de interpolação propostos, nos dez pontos sugeridos e os valores da média dos erros, considerando-se os dez pontos de conferência, bem como o desvio padrão do erro.

Tabela 2- Valores do conteúdo de areia, mensurados e inferidos, para cada ponto intermediário à malha base de interpolação, por cada método (valores em g kg^{-1}).

	Pontos										erro médio	dp* do erro
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10		
	(g kg^{-1})											
Valores medidos	500	453	381	290	260	265	316	328	295	504		
Mínima Cuv.	497,9	442,7	370,2	330,9	289,1	306,5	326,8	318,9	308,4	488,0	18,4	11,9
Base Radial	483,5	446,0	356,7	317,1	287,8	311,3	332,7	318,8	307,4	503,5	18,8	10,1
Triangulação	473,9	428,9	360,1	338,6	291,1	302,4	331,0	321,0	307,5	467,2	26,0	10,1
Krigagem	450,8	437,0	371,0	319,9	285,6	310,9	349,0	331,0	315,0	473,0	26,3	11,4
IQD**	443,1	407,8	352,8	337,6	315,6	316,3	354,7	331,8	320,4	449,0	45,5	13,4
Polinomial	400,2	388,1	367,0	349,3	331,9	309,7	357,4	363,5	339,9	430,9	54,9	13,9
Shepard	419,8	417,7	396,9	380,9	360,3	347,1	373,8	354,8	354,2	369,6	69,2	29,4

* desvio padrão do erro

** Inverso do Quadrado da Distância

Conforme Tabela 2 observa-se que os métodos Mínima Curvatura e Base Radial, apresentaram valores menores de erro médio, em um segundo plano os métodos Triangulação e Krigagem também merecem destaque. Keckler (1997) relata que para um número “reduzido” de valores de base para a interpolação (menores que 250) o método Base Radial e a Krigagem são os que apresentam as melhores respostas.

Comparando fidelidade aos valores originais Landim (1998) cita que a Triangulação é o método mais fiel, ficando a Krigagem em segundo lugar. Van Kuilemborg *et al.* (1982) citados por Burrough (1986), não encontraram diferença entre os métodos Inverso do Quadrado da Distância e a Krigagem. Neste caso os autores sugeriram um possível erro no método da Krigagem, pois consideraram a área isotrópica. Os trabalhos de Brooker (1991) e Johan *et al.* (2004) relatam a subjetividade na escolha do semivariograma que é de suma importância na análise geoestatística.

Observa-se ainda na Tabela 2 que os resultados

das inferências para os pontos C1 a C5, uma seqüência que obedece a declividade do terreno, indicam uma suavização da superfície gerada, pois onde havia presença de valores menores os métodos indicaram valores superiores aos medidos, e onde haviam valores mais elevados para o conteúdo de areia as interpolações indicaram valores inferiores aos medidos. Todos os métodos tenderam a suavizar a superfície de resposta. Brooker (1991) chegou a resultado semelhante para o Inverso do Quadrado da Distância, enquanto que para a Krigagem e o polinomial o comportamento foi inverso.

Quanto ao desvio padrão da média dos erros, quatro métodos apresentaram valores semelhantes, indicando que mesmo que a média dos erros tenha valores diferentes a variação em torno desta é semelhante e pode ser considerada pequena. A variação foi de $10,1 \text{ g kg}^{-1}$ a $11,9 \text{ g kg}^{-1}$.

Quanto ao aspecto visual, conforme Figura 2, nota-se certa semelhança entre os quatro métodos que apresentaram os melhores resultados numéricos.

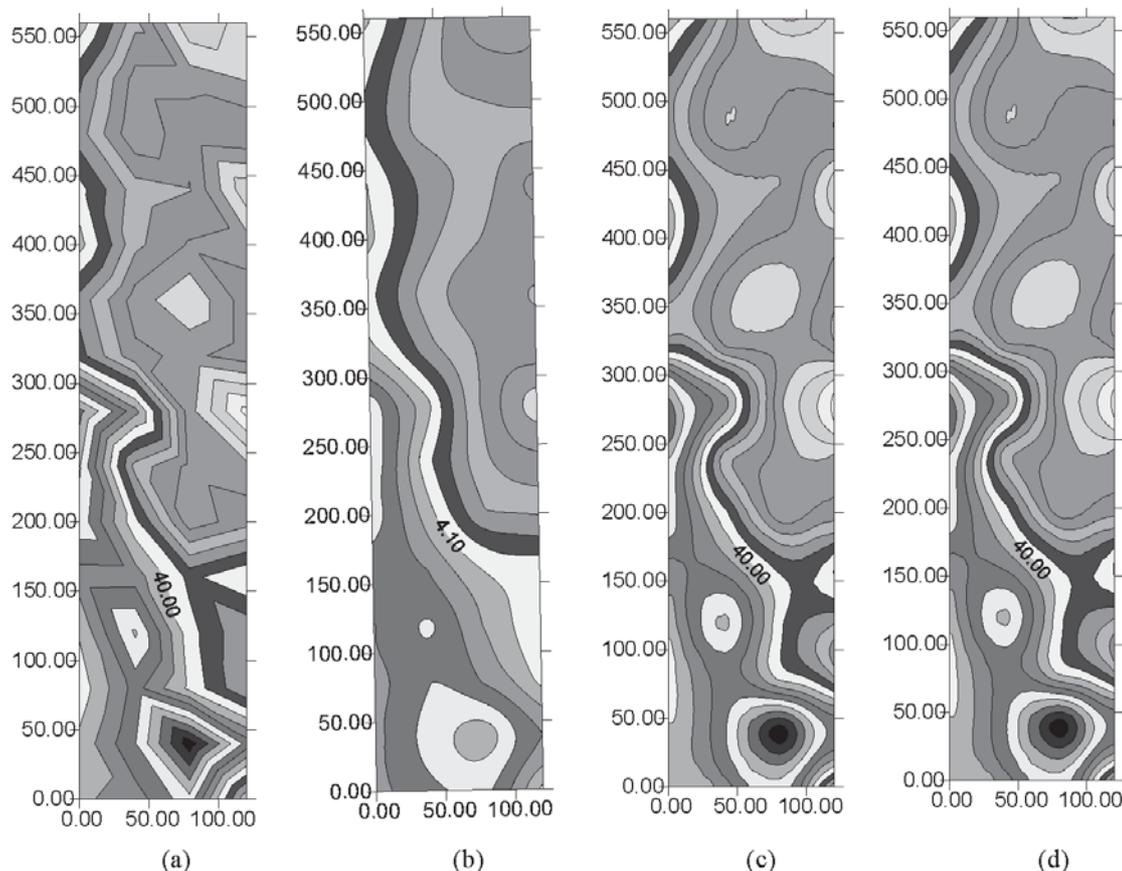


Figura 2 - Superfície de respostas dos métodos de interpolação que alcançaram os melhores resultados quanto à média do erro. (a) Triangulação, (b) Krigagem, (c) Mínima Curvatura, (d) Base Radial.

Fica claro, que devido às angulações, o método da Triangulação torna a interpretação visual do mapa desagradável ao usuário (Figura 2), observação que concorda com Landim (1998), o qual cita a aparência como desvantagem do método.

Conclusões

Considerando-se as inferições escalares os métodos Base Radial, Mínima Curvatura, Krigagem e Triangulação foram os que apresentaram melhor acurácia.

Houve uma tendência de todos os métodos de suavizarem a superfície gerada.

Através dos mapas gerados observou-se que os métodos Base Radial (multi-quadrática), Mínima Curvatura e Krigagem representaram graficamente de modo mais adequado a distribuição espacial da variável estudada.

REFERÊNCIAS

1. ADDISCOTT, T. M. Simulation modeling and soil behavior. **Geoderma**, v.60, p.15-41, 1993.
2. ATHERTON, B. C.; MORGAN, M. T.; SHEARER, S. A.; STOMBAUGH, T. S.; WARD, A. Site-specific farming: A perspective on information needs, benefits and limitations. **J. Soil and Water Cons.**, 54(2), p.455-61, 1999.
3. BAKHSH, A.; JAYNER, D. B.; COLVIN, T. S.; KANWAR, R. S. Spatio-temporal analysis of yield variability for a corn-soybean field in Iowa. **Trans. ASAE**, v.43(1), p.31-8, 2000.
4. BROOKER, P. I. **A geostatistical primer**. Singapore: World Scientific, 1991. 95p.
5. BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. New York: Oxford University Press, 1986. 193p.
6. CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F. e KONOPKA, A. E. **Field-scale variability of soil proprieties in Central Iowa Soils**. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p.1501-11, 1987.

7. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: SPI/EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p.
8. FIORIN, J. E.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção de milho **R. bras. Ci. Solo**. Campinas, v.21, p. 249-55, 1997.
9. FUKS, S. D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E. D. e SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas**. Brasília: SPI/Embrapa-CPAC, 1998. 434p.
10. FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas climáticas para o Paraná**. Londrina: IAPAR, 1978. 67p.
11. GARBUIO, P. W. **Correlações de variáveis químicas e físicas do solo com o rendimento da cultura do milho (*Zea mays* L.) considerando-se variabilidade espacial regional**. Ponta Grossa: Curso de Agronomia/UEPG, 2002, 52p. (Monografia de Conclusão de Curso). Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2002.
12. GOMES, P. F. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
13. GODOY, L. C. **Levantamentos das potencialidades minerais do município de Ponta Grossa**. Ponta Grossa: Prefeitura Municipal de Ponta Grossa. 1991. 24p.
14. HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate data analysis**. Upper Saddle River. Printice Hall. 1998. 731p.
15. HERRERA, M. D. L. **Resposta de rendimento do milho (*Zea mays* L.) conforme variabilidade do conteúdo de argila do solo**. Ponta Grossa: Curso de Agronomia/UEPG, 2003, 35p. (Monografia de Conclusão de Curso). Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2003.
16. JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **R. Bras. Eng. Agr. Ambiental**. Campina Grande v.8(2-3), p. 212-9, 2004.
17. KECKLER, D. **Surfer for Windows**. Golden: Golden Software Inc. 1997. Sem Numeração de páginas.
18. LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. São Paulo: Editora da UNESP. 1998. 225p.
19. LIBARDI, P. L.; PREVEDELLO, C. L., PAULETTO, E. A.; MORAES, S. O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, p. 85-90, 1986.
20. LOPES, A. S.; COX, F. R.; Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrados. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 03, p. 82-8, 1979.
21. MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres. 1980. 254p.
22. MARQUES JUNIOR, J.; CORÁ, J. E. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da; BORGES, P. H. de M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. 244p.
23. McCOY, E. L. Sand and organic amendment influences on soil physical properties related to turf establishment. **Agron. J.** v.90, p. 411-9, 1998.
24. MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte 1- O que é? E estado de arte em sensoriamento. **Eng. Agric.** Jaboticabal, v. 17(2), p. 97-107, 1997.
25. MOULIN, A. P.; ANDERSON, D. W.; MELLINGER, M. Spatial variability of wheat yield, soil properties and erosion in hummocky terrain. **Can. J. Soil. Sci.** v.74, p.219-28, 1994.
26. OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. de. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo Salino-Sódico. **R. bras. Ci. Solo**. Campinas, v. 23, p.783-9, 1999.
27. OPAZO, M. A. U. **Modelagem Estatística**. Disciplina de Modelagem Estatística, Curso de Pos-Graduação em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). 2002. 50p.
28. OYEDELE, D. J.; AINA, P. O. A study of soil factors in relation to erosion and yield of maize on Nigerian soil. **Soil and Tillage Research**. v.48(5), 115-25, 1998.
29. PRADO, H. **Manejo dos solos**: Descrições pedológicas e suas implicações. São Paulo: Nobel, 1991. 117p.
30. REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **R. bras. Ci. Solo**. Campinas, v.10, p.1-6, 1986.
31. SÁ, M. M. F. **Influência do material de origem, superfícies geomórficas e posição na vertente nos atributos do solo da região dos Campos Gerais, PR**. Curitiba: Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), 1995. 205p.
32. SÁ, M. M. F. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. Piracicaba: ESALQ/USP. 2001, 117p. Tese (Doutorado).
33. SADLER, E. J.; BUSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; KARLEN, D. L. Spatial scale requirements for precision farming: a case study in the southeastern USA. **Agron. J.** v.90, p.191-7, 1998.
34. SOUZA, L. da S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 21, p. 367-72, 1997.
35. SWAN, J. B.; SHAFFER, M. J.; PAULSON, W. H.; PETERSON, A. E. Simulating the effects of soil depth and climate factors on corn yield. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** v. 51. p.

1025-32, 1987.

36. VALENTE, J. M. G. P. **Geomatématica - Lições de Geoestatística**. Ouro Preto: Fundação Gorceix. Volume III, 1982. p.510-711.

37. VAN UFFELEN, C. G. R.; VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Comparison of simulated crop yield patterns for site-specific management. **Agric. Syst.** v. 54, p.207-22, 1997.

38. VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um

Latossolo Roxo de Campinas-SP. **Bragantia**. Campinas. v. 56(1), p.181-90, 1997.

39. VIEIRA, S. R.; CASTRO, O. M.; TOPP, G. C. Spatial variability of the soil physical properties in three soils of São Paulo, Brazil. **Pesqu. agropec. bras.** v. 27(2) p. 333-41, 1992.

40. YANG, C.; PETERSON, C. L.; SHROPSHIRE, G. J.; OTAWA, T. Spatial variability of field topography and Wheat yield in the Palouse Region of the Pacific Northwest. **Trans. ASAE.** v.41(1), p.17-27, 1998.