

Comissão 1.3 - Pedometria

VARIABILIDADE E CORRELAÇÃO ESPACIAL DE MICRONUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO COM A PRODUTIVIDADE DA PIMENTA-DO-REINO⁽¹⁾

Ivoney Gontijo⁽²⁾, Lucas Rodrigues Nicole⁽³⁾, Fábio Luiz Partelli⁽²⁾, Robson Bonomo⁽²⁾ & Eduardo Oliveira de Jesus Santos⁽³⁾

RESUMO

Estudos que visem elucidar a variação espacial de atributos de solo associada à resposta de produção das lavouras podem contribuir para a aplicação racional de insumos, possibilitando ganhos econômicos e ambientais. Objetivou-se neste trabalho avaliar a variabilidade espacial dos micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn e da matéria orgânica, bem como sua correlação espacial com a produtividade de uma lavoura de pimenta-do-reino cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O estudo foi realizado em uma lavoura comercial de pimenta-do-reino da variedade Bragantina, em regime de irrigação por microaspersão, no município de São Mateus-ES. A área experimental possui dimensões de 100 x 120 m, onde se amostrou uma malha de 126 pontos com distância mínima de 5 m entre eles. Em cada ponto amostral foram coletadas três subamostras de solo na projeção da copa da pimenteira-do-reino, compondo uma amostra, na profundidade de 0-20 cm. A produtividade da lavoura foi estimada por meio da colheita das três plantas circunvizinhas a cada ponto amostral. Os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial forte e moderada, sendo o modelo esférico o que melhor se ajustou para todas as variáveis avaliadas. Verificou-se correlação espacial negativa para o teor de Fe e positiva para os teores de Zn, Mn e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino.

Termos de indexação: *Piper nigrum* L., geoestatística, nutrição de plantas.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 15 de setembro de 2011 e aprovado em 13 de junho de 2012.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - DCAB, Centro Universitário Norte do Espírito Santo - CEUNES, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Rodovia BR 101 Norte, km 60, Bairro Litorâneo, CEP: 29932-540 São Mateus (ES). E-mail: ivoneygontijo@ceunes.ufes.br; partelli@yahoo.com.br; robsonbonomo@ceunes.ufes.br

⁽³⁾ Graduando do curso de Agronomia, DCAB, CEUNES, UFES. Rodovia BR 101 Norte, km 60, Bairro Litorâneo, CEP: 29932-540 São Mateus (ES). E-mail: lucas.nicole@idaf.es.gov.br; eduardoliviera@hotmail.com

RESUMO: VARIABILITY AND SPATIAL CORRELATION AMONG MICRONUTRIENTS AND ORGANIC MATTER AND YIELD OF BLACK PEPPER

Studies on the spatial variation of soil properties associated with the response of crop yields may contribute to a rational application of inputs, enabling economic and environmental gains. The purpose of this work was to evaluate the variability and spatial correlations among soil Fe, Cu, Zn, Mn, and organic matter contents and yield of black pepper grown on a Yellow-Red Latosol. The study was carried out on a black pepper plantation under microsprinkler irrigation, in São Mateus, State of Espírito Santo, Brazil. The experimental area was 100 x 120 m (12.000 m²). Soil was collected from under the tree canopies in the 0-0.20 m layer, in a grid with minimum distances of 5 m, totaling 126 soil samples. The black pepper production was estimated by harvesting the three plants nearest to each sample point. All measurable semivariogram properties were satisfactorily described by spherical models with a moderate and strong spatial structure. There was a negative spatial correlation between soil Fe content and yield black pepper and positive spatial correlation among Zn, Mn and organic matter contents and black pepper yield.

Index terms: Piper nigrum L., geostatistics, soil plant nutrition.

INTRODUÇÃO

O gênero *Piper* apresenta mais de 1.000 espécies, entre as quais, nas regiões tropicais, se destaca *P. nigrum* L., de origem indiana. É uma especiaria altamente valorizada em todo o mundo. Devido ao seu sabor único, é frequentemente utilizada como condimento alimentar, sendo a mais importante das especiarias usadas principalmente no preparo e processamento de alimentos (Prabhakaran Nair, 2011).

A cultura da pimenta-do-reino gera mais de 100 milhões de dólares de divisas ao Brasil (IPC, 2011). Socialmente, é absorvedora de mão de obra, pois cada tonelada de pimenta-do-reino colhida corresponde a um emprego no campo (Embrapa, 2011). Esses fatos destacam sua importância social e econômica, pois, ao gerar trabalho e riqueza, sobretudo no meio rural, diminui conseqüentemente o êxodo rural. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de pimenta-do-reino e segundo maior exportador. Em 2010, o País exportou mais de 30 mil toneladas dessa especiaria (IPC, 2011). Dois Estados destacam-se na produção dessa piperácea: Pará, com 79 %, e Espírito Santo, com 13 % da produção nacional (IBGE, 2009). Este último apresenta o cultivo mais tecnificado, com mais de 80 % da área cultivada sob irrigação, o que proporciona maiores índices de produtividade, quando comparado com o primeiro (Serrano et al., 2006; Partelli, 2009).

Os solos do Estado do Espírito Santo apresentam baixa fertilidade natural, o que frequentemente limita a produção das lavouras devido às deficiências de alguns elementos no solo, especialmente os micronutrientes e a matéria orgânica, porém têm alto potencial de produção, sendo necessária a utilização de práticas adequadas de correção e manejo para

minimizar suas limitações (Prezotti et al., 2007). Contudo, poucas informações são disponíveis sobre a variabilidade espacial de micronutrientes e matéria orgânica em solos cultivados com pimenta-do-reino.

Conhecido o semivariograma e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em quaisquer posições no campo de estudo, sem tendência e variância mínima. Estudos geoestatísticos com auxílio de semivariogramas experimentais têm comprovado a dependência espacial para micronutrientes no solo (Couto & Klamt, 1999; Montezano et al., 2006). Nesse caso, a krigagem é adequada para avaliar a distribuição espacial desses elementos por meio do mapeamento de atributos do solo, como foi comprovado por Silveira & Cunha (2002) e Wang et al. (2009), ao estudarem a distribuição de ferro, cobre, zinco e manganês no solo. Desse modo, as técnicas geoestatísticas, utilizando informações espacializadas, podem melhorar a estimativa e qualidade do mapeamento de atributos do solo (Mueller & Pierce, 2003).

O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial dos micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn e da matéria orgânica, bem como sua correlação espacial com a produtividade de uma lavoura de pimenta-do-reino cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma lavoura de pimenta-do-reino (*P. nigrum* L.) da variedade Bragantina, instalada em março de 2008, com espaçamento de 3,0 x 1,8 m (1.852 plantas ha⁻¹), em regime de irrigação por microaspersão, localizada no município de São Mateus, norte do Estado do Espírito

Santo, nas coordenadas geográficas: 18° 42' de latitude sul e 39° 51' de longitude oeste, com altitude média de 30 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd), textura franco-argiloarenosa (Embrapa, 1999), com teores de argila, silte e areia de 344, 113 e 543 g kg⁻¹, respectivamente. O clima do município de São Mateus é Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas no verão. A precipitação pluvial anual média de 1.200 mm concentra-se entre os meses de novembro e janeiro. A temperatura média anual é de 23 °C, e as médias máximas e mínimas são de 29 °C e 18 °C, respectivamente.

Na ocasião da implantação da lavoura foi realizada a correção do solo, com aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. No transplante, para cada metro de sulco, foram aplicados 5 kg de uma mistura curtida, na proporção de 3:2, de palha de café conilon com esterco de galinha, além de 300 g de superfosfato simples (18 % de P₂O₅). Na formação da lavoura, no primeiro ano após o transplante, foram realizadas adubações mensais com doses crescentes (20, 25, 30, 35, 40 e 45 g/planta) nas seis primeiras aplicações e constantes de 50 g/planta nos seis meses seguintes do formulado NPK 25-00-25, correspondendo a 230 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O e N. As adubações anuais de produção, a partir do segundo ano após o plantio, foram parceladas em quatro aplicações do formulado NPK 25-00-25, conforme recomendações técnicas (Prezotti et al., 2007) baseadas em análises de solo.

Em janeiro de 2010, foi instalada uma malha quadrangular de 100 x 120 m (12.000 m²) com 126 pontos, com distância mínima de 5 m (Figura 1). Para georreferenciamento da área, foi utilizado um par de receptores GPS TechGeo®, modelo GTR G² geodésico. Os dados, após serem processados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE, apresentaram precisão de 10 mm + 1 ppm. Em cada

ponto amostral, foram coletadas três subamostras de solo na projeção da copa da pimenteira-do-reino, compondo uma amostra, na profundidade de 0-0,20 m. As análises de solo foram feitas no Laboratório Agrônomo de Análise de Solo, Folha e Água (LAGRO) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). As análises químicas no solo de Fe, Cu, Zn, Mn e matéria orgânica (MO) foram realizadas de acordo com Embrapa (1997). A produtividade foi estimada por meio da colheita das três plantas circunvizinhas a cada ponto amostral, objetivando uma melhor representatividade.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise exploratória dos dados por meio da estatística descritiva, observando-se as seguintes medidas: média aritmética, variância amostral, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo, coeficiente de assimetria e de curtose e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5 %.

Os dados foram submetidos à análise geoestatística, com o objetivo de definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos no estudo, obtendo-se os semivariogramas e posterior mapeamento dos atributos químicos estudados e da produção de pimenta-do-reino. A análise da dependência espacial foi realizada com auxílio do software GS+ Versão 7® (Robertson, 1998), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais. O semivariograma é uma representação gráfica entre a semivariância $\gamma(h)$, representada na coordenada Y, e uma determinada distância (h), representada na coordenada X, cuja expressão pode ser encontrada em Vieira et al. (1983):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [z(xi+h) - z(xi)]^2}{2n(h)} \quad (1)$$

em que: $n(h)$ número de pares de valores medidos [$z(xi)$; $z(xi+h)$] separados pelo vetor (distância) h ; os valores de z podem ser qualquer um dos parâmetros estudados, enquanto os valores de xi e $xi+h$ são definidos de acordo com as posições dos pontos amostrais no campo, ou seja, $z(xi)$ e $z(xi+h)$ são valores numéricos observados do atributo analisado, para dois pontos xi e $xi+h$ separados pelo vetor h .

A análise espacial foi realizada por meio da construção e interpretação do semivariograma experimental e do ajuste de um modelo matemático para avaliação da estrutura de variância dos dados. Conhecido o semivariograma e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e variância mínima. Assim, foram construídos os mapas de distribuição espacial dos atributos estudados, sendo os dados interpolados por

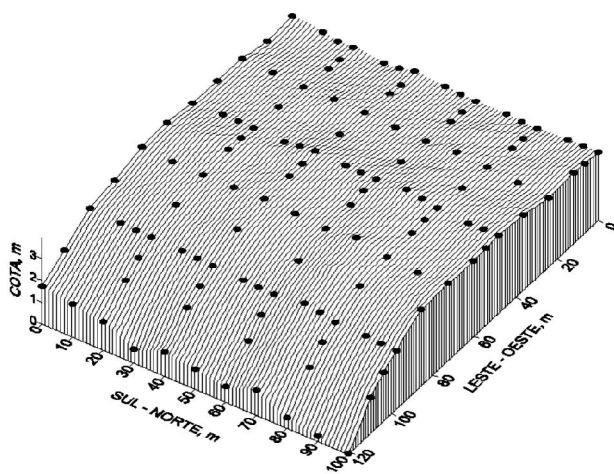


Figura 1. Modelo de elevação digital da área estudada, com os respectivos locais de amostragem.

meio da técnica da krigagem, a qual utiliza os parâmetros do semivariograma. Para ajuste dos modelos matemáticos aos semivariogramas foi utilizado o método de tentativa e erro, aliado ao exame dos resultados da validação cruzada (Vieira, 2000), que avalia a qualidade da estimativa realizada pela krigagem.

O semivariograma cruzado também foi adotado para verificar a correlação espacial entre os teores dos micronutrientes avaliados no solo e a produtividade da lavoura de pimenta-do-reino. Para seu cálculo, utilizou-se a expressão descrita na equação 2, segundo Vauclin et al. (1983):

$$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z_1(x_i) - z_1(x_{i+h})][z_2(x_i) - z_2(x_{i+h})] \quad (2)$$

em que z_1 representa a produtividade da pimenta-do-reino e z_2 , a matéria orgânica ou o micronutriente avaliado.

Foi calculada a razão de dependência espacial (RD), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita (Co) em relação ao patamar ($Co + C$) - equação 3, que, de acordo com Cambardella et al. (1994), apresenta a seguinte proporção: (a) dependência espacial forte, < 25 %, (b) dependência espacial moderada, de 25 a 75 %; e (c) dependência espacial fraca, > 75 %.

$$RD = \left(\frac{Co}{Co + C} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Por meio dos semivariogramas ajustados, foi utilizado o programa computacional Surfer (Golden Software, 1999) na interpolação por krigagem, gerando mapas de distribuição espacial das variáveis na área estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero para a produtividade da pimenta-do-reino, bem como a proximidade dos valores de média e mediana,

Quadro 1. Níveis para interpretação de resultados analíticos, segundo a classificação de Prezotti et al. (2007)

Variável	Nível baixo	Nível médio	Nível alto
Fe (mg dm ⁻³)	< 20	20 – 45	> 45
Cu (mg dm ⁻³)	< 0,8	0,8 – 1,8	> 1,8
Zn (mg dm ⁻³)	< 1,0	1,0 – 2,2	> 2,2
Mn (mg dm ⁻³)	< 5,0	5,0 – 12	> 12
MO (dag dm ⁻³)	< 1,5	1,5 – 3,0	> 3,0

indicam que essa variável segue a distribuição normal, fato confirmado pelo teste de Shapiro-Wilk a 5 % (Quadro 2). Esse resultado está em conformidade com os dados apresentados por Lima et al. (2010). Situação contrária foi observada para os micronutrientes e a matéria orgânica (Quadro 2), que não apresentaram distribuição normal dos dados, corroborando os dados obtidos por Silva et al. (2010), ao estudarem Fe e Cu, e Chaves & Farias (2009), ao avaliarem o teor de Mn no solo.

Os valores médios dos atributos químicos do solo foram classificados de acordo com Prezotti et al. (2007) para o Estado do Espírito Santo (Quadro 1) em: alto para Fe, médio para Zn, Mn e matéria orgânica e baixo para Cu. Trabalhos realizados em café conilon na mesma região indicaram que o Fe e o Cu foram os nutrientes mais limitantes em diversas lavouras estudadas (Partelli et al., 2006), fato também observado neste trabalho. Contudo, a produtividade média de pimenta-do-reino foi superior à média do Estado (Serrano et al., 2006).

Os micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn, a matéria orgânica e a produtividade da pimenta-do-reino apresentaram coeficientes de variação de 38,5; 47,4; 50,9; 52,0; 31,3; e 32,3 %, respectivamente (Quadro 2). Esses valores são considerados médios de acordo com classificação de Warrick & Nielsen (1980). Lima et al. (2010), ao estudarem a produtividade da pimenta-do-reino, e Wang et al. (2009), avaliando os teores de Cu, Fe, Mn e Zn no solo, encontraram resultados semelhantes.

Cada ponto do semivariograma foi composto de no mínimo 35 e no máximo 1.560 pares de pontos para o cálculo das semivariâncias. Todas as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial (Quadro 3 e Figura 2). O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas foi o esférico, que é bastante utilizado por vários pesquisadores para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de solo e plantas (Salviano et al., 1998). Resultados semelhantes foram obtidos por Wang et al. (2009), que também encontraram melhor ajuste no modelo esférico para os micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn.

O efeito pepita (Co) é um parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medição ou variação não detectada pela escala de amostragem. A contribuição (C) corresponde à diferença entre o patamar e o efeito pepita e representa a semivariância espacialmente estruturada (Cambardella et al., 1994). O efeito pepita foi expresso em relação ao patamar ($Co+C$), com a finalidade de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis estudadas. A relação $Co/(Co+C)$ para Fe, Zn e produtividade demonstrou que essas variáveis apresentaram dependência espacial forte. A matéria orgânica do solo e os micronutrientes Cu e Mn apresentaram

dependência espacial moderada, segundo classificação estabelecida por Cambardella et al. (1994) (Quadro 3). Fato explicado pelas variações extrínsecas ocasionadas pelas ações antrópicas como manejo do solo e adubações, que influenciaram sobremaneira as variáveis do solo, sobretudo os teores de MO, Cu e Mn no solo.

Com relação ao alcance da dependência espacial, observou-se o menor valor para Zn e Fe (14,7 e 15,8 m, respectivamente), valores intermediários para Cu

e matéria orgânica (38,3 e 49,2 m, respectivamente) e valores maiores para Mn e produtividade (109,9 e 128,2 m, respectivamente). Atributos que apresentam maior alcance de dependência espacial tendem a se apresentar mais homogêneos espacialmente, como pode ser observado nos mapas de Mn e produtividade (Figura 3); por outro lado, baixos valores de alcance podem influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação (Corá et al., 2004).

Quadro 2. Estatística descritiva dos dados de ferro, cobre, zinco, manganês e produtividade da pimenta-do-reino, obtidos a partir de 126 amostras

Estatística Descritiva	Fe	Cu	Zn	Mn	MO	Produtividade
	mg dm ⁻³				dag dm ⁻³	kg ha ⁻¹
Média	78,8	0,4	1,4	11,9	2,12	4161
Mediana	75,0	0,3	1,3	10,8	2,02	4144
DP	30,3	0,2	0,7	6,2	0,664	1345
VA	919,11	0,03	0,47	38,51	0,441	1809404
Mínimo	27,3	0,1	0,2	1,2	0,09	1241
Máximo	204,6	0,8	3,7	38,9	3,92	6946
CV (%)	38,5	47,4	50,9	52,0	31,3	32,3
Ass.	1,33	0,46	0,96	1,41	0,21	-0,18
Curt.	2,71	-0,52	1,24	3,45	0,34	-0,65
SW (p-valor)	2,7 10 ⁻⁷	4,9 10 ⁻²	6,5 10 ⁻⁵	4,5 10 ⁻⁷	4,4 10 ⁻²	1,4 10 ^{-1*}

DP: desvio-padrão; VA: variância amostral; CV: coeficiente de variação; Ass.: coeficiente de assimetria; Curt.: coeficiente de curtose; SW (p-valor): valores de probabilidade de Shapiro-Wilk; (*): distribuição normal a 5 %.

Quadro 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para ferro, cobre, zinco, manganês e produtividade da lavoura de pimenta-do-reino

Estatística Descritiva	Fe	Cu	Zn	Mn	MO	Produtividade
	mg dm ⁻³				dag dm ⁻³	kg ha ⁻¹
Modelo	esférico	esférico	esférico	esférico	esférico	esférico
Efeito Pepita (Co)	1,0	0,016	0,02	13,9	0,12	537000
Patamar (Co+C)	746,5	0,038	0,41	48,1	0,36	2873693
Alcance (m)	15,8	38,3	14,7	109,9	49,2	128,2
RD (%)	0,1	41,4	4,4	28,9	33,3	18,7
R ² *	0,994	0,852	0,826	0,911	0,998	0,938
SQR	585	3,54 10 ⁻⁵	6,29 10 ⁻³	137	6,43 10 ⁻⁵	5,82 10 ¹¹
r ²	0,117	0,297	0,063	0,213	0,449	0,457
R	0,497	0,999	0,396	0,772	0,954	0,939

RD: razão de dependência espacial [Co/(Co+C)]x100; R² *: coeficiente de determinação do modelo ajustado; SQR: soma de quadrados de resíduo; r²: coeficiente de determinação da validação cruzada; R: coeficiente de regressão entre os valores medidos e estimados.

Portanto, as estimativas obtidas por interpolação por krigagem para Fe e Zn podem se apresentar menos precisas em relação aos outros atributos avaliados, em razão dos menores valores de alcance de dependência espacial - fato que pode ser confirmado pelos menores valores do coeficiente de regressão entre valores medidos e estimados na validação cruzada (Quadro 3). A escolha do melhor modelo foi realizada, prioritariamente, pela seleção inicial de: a) menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR); b) maior

coeficiente de determinação do modelo ajustado (R^{2*}); e c) maiores valores do coeficiente de regressão da validação cruzada entre os dados reais e os estimados. Faraco et al. (2008), estudando diversos critérios para validação de atributos do solo, concluíram que a validação cruzada foi o método mais adequado para escolha do melhor ajuste. Desse modo, a validação cruzada foi utilizada como ferramenta, a fim de validar os modelos dos semivariogramas ajustados para realização de posterior processo de krigagem. Os

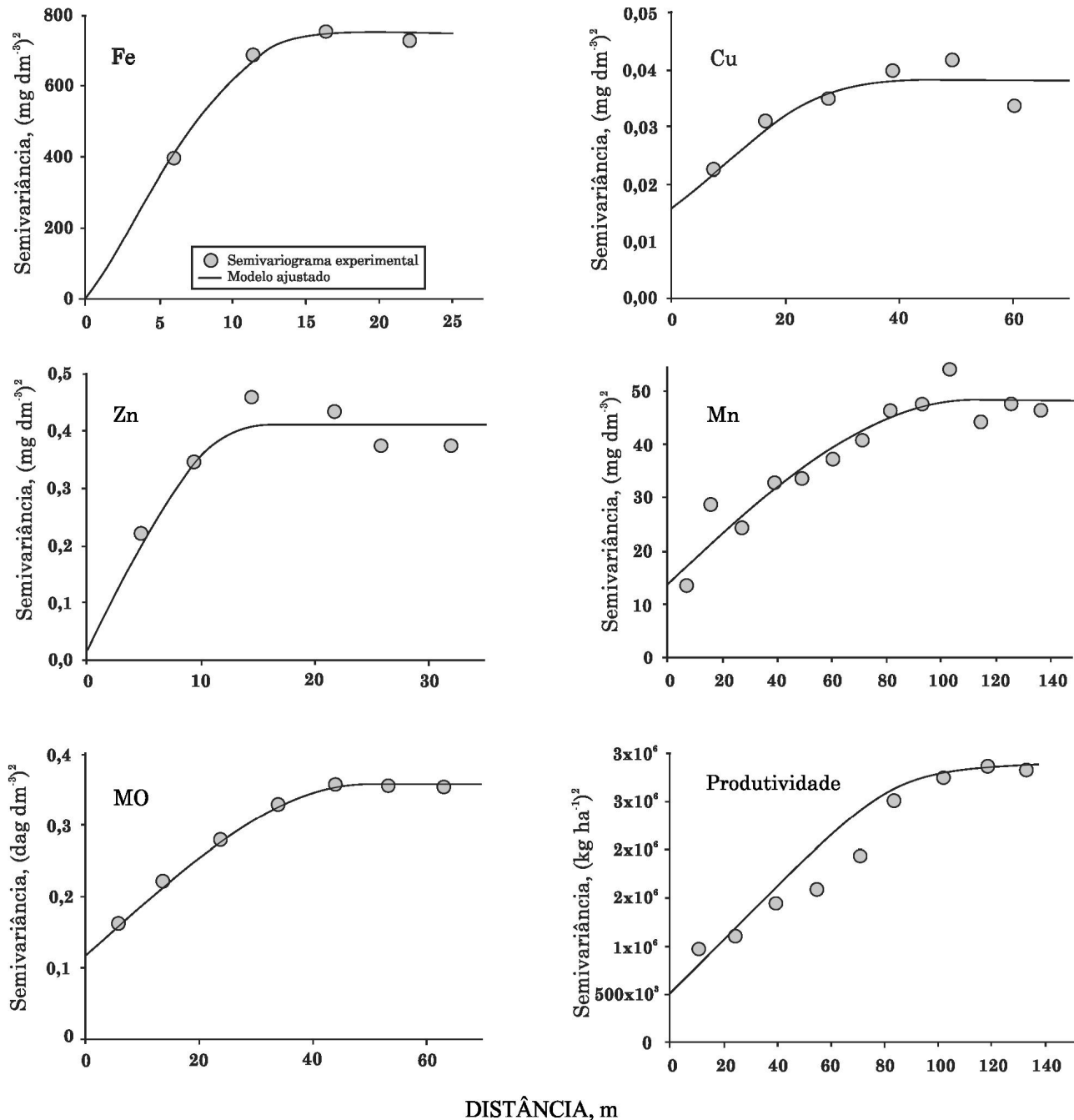


Figura 2. Semivariogramas experimentais ajustados para ferro, cobre, zinco, manganês, matéria orgânica e produtividade da pimenta-do-reino.

valores do coeficiente de regressão da validação cruzada (R) variaram de 0,396 a 0,999, com destaque para produtividade da pimenta-do-reino, teor de matéria orgânica e Cu no solo.

Ao contrário do semivariograma simples, os semivariogramas cruzados podem ser negativos (Figura 4). Um semivariograma cruzado negativo indica relação inversa entre duas variáveis. Optou-se por não ajustar modelos matemáticos aos semivariogramas cruzados, sendo estes utilizados com a finalidade de ratificar as correlações espaciais visualizadas nos mapas (Figura 3).

Pela interpretação dos mapas (Figura 3), observa-se que há relação inversa entre os teores de Fe e a produtividade da pimenta-do-reino. A região a oeste da área estudada apresenta maiores teores de Fe e menores índices de produtividade; o contrário é observado na região nordeste da área estudada. Esse

comportamento pode ser comprovado por meio do semivariograma cruzado, que confirmou a correlação espacial negativa entre o teor de Fe no solo e a produtividade da lavoura de pimenta-do-reino (Figura 4). Esse fato pode ser explicado pelo alto teor desse elemento no solo (Figura 3), conforme classificação de Prezotti et al. (2007) (Quadro 1), onde grande parte da área apresentou teores de Fe considerados altos. O alto teor de Fe pode estar associado ao material de origem, como frequentemente encontrado em Latossolo Vermelho, principalmente nas camadas mais profundas (Moreau et al., 2006), além da concentração residual pela perda gradativa por lixiviação dos demais elementos. O Fe é um micronutriente que participa de processos como fotossíntese, respiração, síntese de clorofila, além de ativar várias enzimas (Epstein & Bloom, 2006). A presença de Fe em excesso no solo promove a absorção excessiva desse elemento pelas plantas, causando

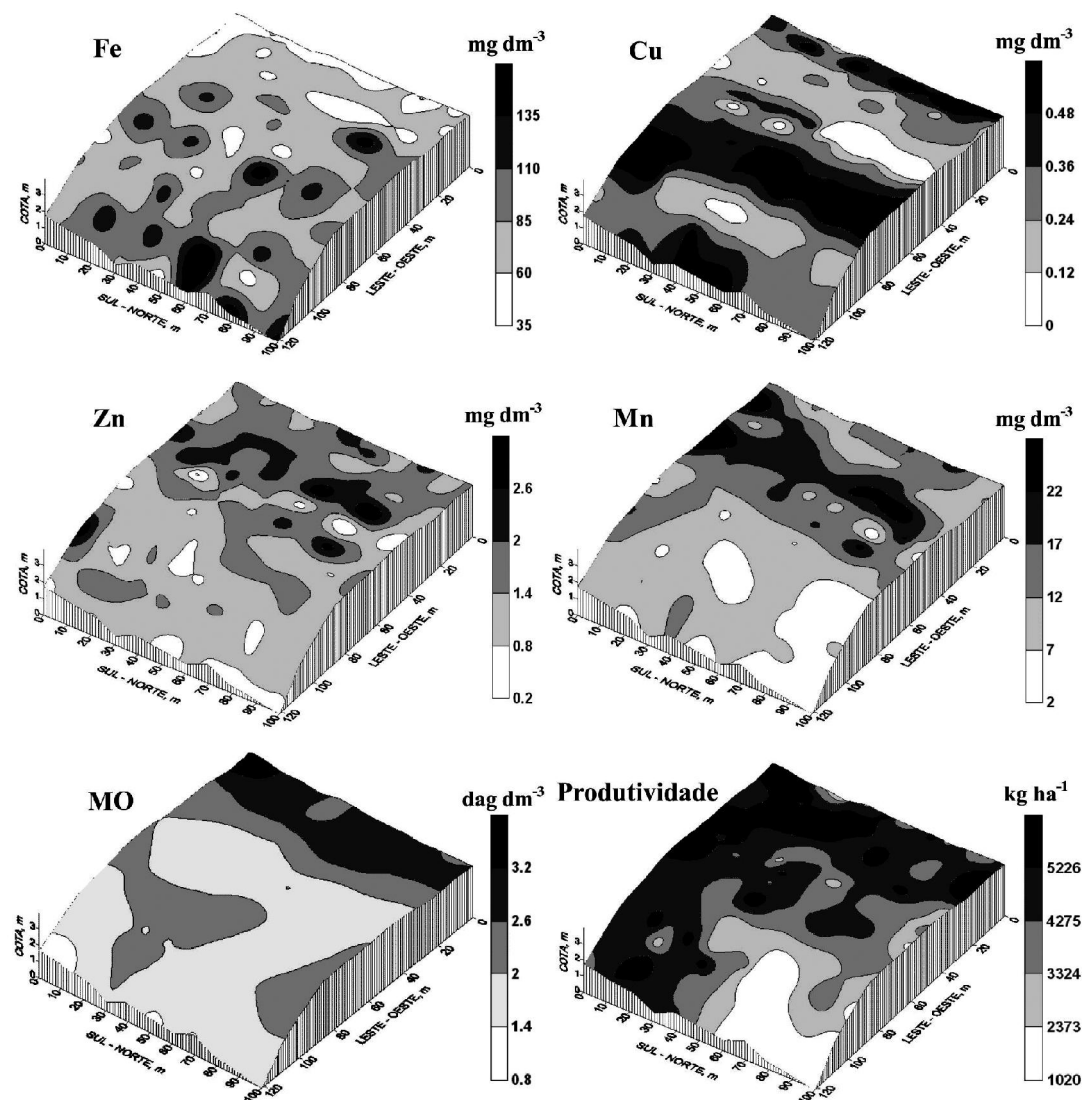


Figura 3. Mapas de distribuição espacial das variáveis ferro, cobre, zinco, manganês, matéria orgânica e produtividade da pimenta-do-reino, representados conjuntamente com o relevo da área.

desbalanço nutricional, além de promover sintomas como retardamento do crescimento, podendo ocasionar perdas na produção (Meurer, 2000).

O teor de Cu no solo não apresentou correlação espacial bem definida com a produtividade da cultura (Figuras 3 e 4). Esse fato pode estar relacionado aos baixos teores encontrados na área, segundo Prezotti et al. (2007).

Os teores dos micronutrientes Zn e Mn e de MO apresentam-se mais equilibrados no solo, com teores variando de médios para Zn e matéria orgânica e de médios a altos para Mn (Figura 3), de acordo com classificação proposta por Prezotti et al. (2007). Observa-se que a região mediana até oeste da área estudada apresenta maiores teores desses dois micronutrientes e também da matéria orgânica no solo, o que equivale à região onde se observam maiores níveis de produtividade (Figura 3). O contrário também é observado a leste da área estudada, o que é

confirmado pela correlação espacial positiva apresentada pelo semivariograma cruzado (Figura 4).

Considerando que a área estudada vem sendo cultivada com pimenta-do-reino ao longo dos anos, a distribuição espacial observada para o Cu segue uma tendência na direção sul-norte (Figura 3), que é a direção das linhas da lavoura; o mesmo ocorre com Mn, Zn e matéria orgânica a oeste da área estudada. Portanto, a distribuição espacial desses atributos pode ter sido influenciada pelas práticas de fertilização e preparo do solo.

Pela classificação adotada (Prezotti et al., 2007), os micronutrientes avaliados foram classificados em nível alto para o Fe em praticamente toda a área estudada, com valores baixos para o Cu em toda a área. Para Zn e matéria orgânica, valores médios predominaram (Figura 3). A distribuição de Mn apresenta-se em níveis altos a oeste da área e médios a

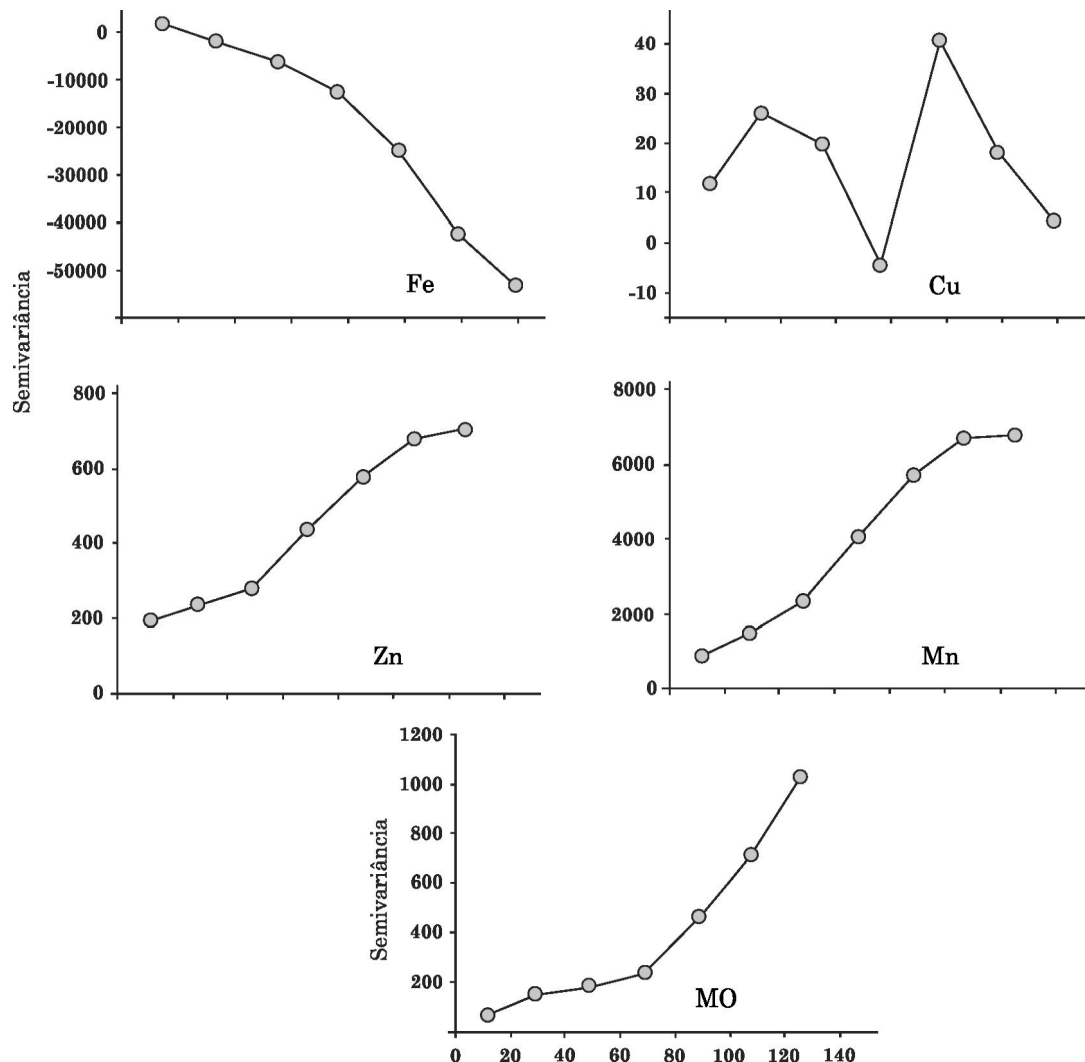


Figura 4. Semivariograma cruzado entre produtividade da pimenta-do-reino e ferro, cobre, zinco, manganês e matéria orgânica.

leste, evidenciando adubação desuniforme ou remoção por erosão na região mais declivosa da área estudada.

A distribuição dos micronutrientes no solo, principalmente do Mn, demonstra claramente zonas homogêneas na área em estudo, podendo servir para delimitar zonas de manejo diferenciadas para fertilidade do solo. Barbieri et al. (2008) observaram que as formas do relevo demonstraram ser indicadores de zonas específicas para aplicação de insumos a taxas variáveis. Assim, o conhecimento da magnitude da distribuição espacial dos micronutrientes e do teor de matéria orgânica pode facilitar o manejo em zonas específicas de manejo na fertilização do solo.

CONCLUSÕES

1. Os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial forte e moderada.
2. O modelo esférico foi o que melhor se ajustou para todas as variáveis avaliadas.
3. Verificou-se correlação espacial negativa para o teor de ferro e positiva para os teores de zinco, manganês e matéria orgânica com a produtividade da pimenta-do-reino.

AGRADECIMENTOS

Ao agricultor Eliseu Bonomo, pela cessão da área de estudo.

LITERATURA CITADA

- BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. Eng. Agríc., 28:645-653, 2008.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1501-1511, 1994.
- CHAVES, L.H.G. & FARIAS, C.H.A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. R. Ci. Agr., 40:211-218, 2009.
- CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T. & BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 28:1013-1021, 2004.
- COUTO, E.G. & KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. Pesq. Agropec. Bras., 34:2321-2329, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Embrapa Amazônia Oriental. Sistema de produção da pimenta-do-reino: Cultivo da pimenta-do-reino na Região Norte. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/PimenteiradoReino/paginas/importancia.htm>>. Acesso em: 1 de ago. de 2011.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina, Planta, 2006. 401p.
- FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SILVA, A.A.; JOHANN, J.A. & BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. R. Bras. Ci. Solo, 32:463-476, 2008.
- GOLDEN SOFTWARE INC. Surfer for windows: Realize 7.0: Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide. New York, 1999. 619p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Agrícola Municipal (PAM - 2009). Disponível em:<<http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2009>>. Acesso em: 1 de ago. de 2011.
- INTERNATIONAL PEPPER COMMUNITY - IPC. Brazilian Peppertrade Board: Statistics. 2011. Disponível em: <<http://www.peppertrade.com.br/statsini.htm>>. Acesso em: 1 de ago. de 2011.
- LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B.; ROCHA, W.; OLIVEIRA, P.C. & QUARTEZANI, W.Z. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura da Pimenta-do-Reino (*Piper nigrum* L.). Idesia, 28:31-39, 2010.
- MEURER, J.E. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre, Gênese, 2000. 174p.
- MONTEZANO, Z.R.; CORAZZA, E.J. & MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada homogeneamente. R. Bras. Ci. Solo, 30:839-847, 2006.
- MOREAU, A.M.S.S.; KER, J.C.; COSTA, L.M. & GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas toposseqüências em tabuleiros costeiros do Sul da Bahia. R. Bras. Ci. Solo, 30:1007-1019, 2006.
- MUELLER, T.G. & PIERCE, F.J. Soil carbon maps: enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. Soil Sci. Soc. Am. J., 67:258-267, 2003.
- PARTELLI, F.L. Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) - a Brazilian experience. J. Spices Aromatic Crops, 18:73-83, 2009.
- PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; MONNERAT, P.H. & VIANA, A.P. Estabelecimento de normas DRIS em cafeeiro Conilon orgânico e convencional no Estado do Espírito Santo. R. Bras. Ci. Solo, 30:443-451, 2006.
- PRABHAKARAN NAIR, K.P. Agronomy and economy of black pepper and cardamom. The "King" and "Queen" of Spices. London, Elsevier Science Publishing, 2011. 366p.

- PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G. & OLIVEIRA, J.A. Manual de recomendação de Calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação. Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- ROBERTSON, G.P. GS+. Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. R. Bras. Ci. Solo, 22:115-122, 1998.
- SERRANO, L.A.L.; LIMA, I.M. & MARTINS, M.V.V. A cultura da pimenteira-do-reino do Estado do Espírito Santo. Vitória, INCAPER, 2006. 34p.
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C. & TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. R. Bras. Ci. Solo, 34:15-22, 2010.
- SILVEIRA, P.M. & CUNHA, A.A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. Pesq. Agropec. Bras., 37:1325-1332, 2002.
- VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G. & NIELSEN, D.R. The use of cokriging with limited field soil observation. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:175-184, 1983.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, 51:1-15, 1983.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.
- WANG, L.; WU, J.P.; LIU, Y.X.; HUANG, H.Q. & FANG, Q.F. Spatial variability of micronutrients in rice grain and Paddy Soil. Pedosphere, 19:748-755, 2009.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic, 1980. p.319-344.