

## Distribuição espacial das classes de degradação de pastagem em Marabá, PA e sua correlação com as classes de solo e relevo

Célia Regina Grego<sup>1</sup>  
Sérgio Galdino<sup>1</sup>  
Édson Luis Bolfe<sup>1</sup>  
Sandra Furlan Nogueira<sup>1</sup>  
Gustavo Bayma-Silva<sup>1</sup>  
Luciana Spinelli Araujo<sup>1</sup>  
René Pocard-Chapuis<sup>2</sup>  
Marcelo Cordeiro Thalês<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite – Embrapa/CNPM  
Av. Soldado Passarinho, 303 – 13070-115 – Campinas - SP, Brasil  
{celia.grego, sergio.galdino, edson.bolfe, sandra.nogueira, gustavo.bayma, luciana.spinelli}@embrapa.br

<sup>2</sup> Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento – CIRAD. Caixa Postal: 48 - 66017-970 – Belém - PA, Brasil  
renepocard@gmail.com

<sup>3</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi  
Av. Perimetral, 1901 – 66077-830 – Belém – PA, Brasil  
mcthalês@museu-goeldi.br

**Abstract.** This work evaluates the spatial variability to geostatistical methods for pasture degradation class in Marabá (PA, Brazil) and verify spatial correlation with slope class and soil class. Sampled 174 points georeferenced, grid aleatory was used in the pasture and defined 3 class (degraded, medium degraded and no degraded) for indicator pasture degradation for the field criteria in 2011 and 2012 in summer. Was used the typology for pasture degradation analyzed for fuzzy logic. The slope and soil were classified in 5 class to represent the area condition. The geostatistical was used for spatial variability of the data, with semivariogram construction, semivariogram fitted and ordinary kriging interpolated. For the spatial correlation was used cross semivariogram, construction and fitted. The isoline maps was plotted using interpolated data for the kriging. Results show that the spatial dependence for the classes occurred and spatial correlation with pasture degradation and soil class too. The results indicated that the type of soil was the factor important for pasture degradation in Marabá, PA. Was possible identify similar areas for the greater degradation pasture, slope greater and poorly developed soils. The geostatistical proved to be a good tool can be useful also in broader areas of the Amazon.

**Palavras-chave:** geostatistics, spatial variability, cross semivariogram, slope, geoestatística, variabilidade espacial, semivariograma cruzado, declividade.

### 1. Introdução

A área total ocupada por pastagens cultivadas distribuídas na região Norte do Brasil perfazem aproximadamente 21 milhões de hectares, segundo levantamentos do Censo Agropecuário do IBGE (IBGE, 2006). Nesta região, a degradação das pastagens tem sido um grande problema causando queda da produtividade da pecuária e aumento do desmatamento devido à abertura de novas áreas, causando prejuízos econômicos e ambientais (Dias-Filho e Andrade, 2006). Dias-Filho e Ferreira (2008) estimam que cerca de 40% do total das pastagens da Amazônia Legal, estariam degradadas ou em degradação.

Nas áreas da Amazônia Legal como a de Marabá no Pará, investigada neste trabalho, a situação é agravada devido à dimensão das áreas e a dificuldade de acesso, o que resulta na indisponibilidade de dados e dificuldade de realização de levantamentos de campo detalhados, conforme descreve Morton et al. (2006). Por isso, técnicas que levam em conta a

caracterização no espaço ou a abrangência espacial da situação das pastagens nestas regiões são benéficas porque podem levar a redução do custo de aquisição dos dados e garantir disponibilização dos mesmos no espaço e no tempo. Assim, as geotecnologias, incluindo ferramentas como a geoestatística, tornam-se importantes, segundo Bolfe et al. (2012) para detectar a variabilidade espacial das áreas de pastagens e identificar os processos de degradação em escalas diversas, a fim de subsidiar o pecuarista e os órgãos públicos nas tomadas de decisões sobre a recuperação, o manejo e ou uso dessas terras.

A geoestatística é definida como a ferramenta utilizada para a caracterização da dispersão espacial das grandezas que definem a quantidade e a qualidade de recursos naturais e outros fenômenos espaciais em que os atributos manifestem certa estrutura no espaço ou no tempo (Soares, 2006). A ferramenta parte do princípio de que amostras mais próximas são mais parecidas do que as mais distantes, ou seja, que existe dependência espacial. A dependência espacial neste caso é expressa pela análise de semivariograma, sendo possível interpolar valores nos locais não amostrados sem tendência e com variância mínima, utilizando a krigagem, e construir mapas onde a localização das pastagens degradadas na área de estudo podem ser visualizadas, interpretadas e correlacionadas espacialmente com outros fatores, como solo, clima e relevo.

Em dados obtidos do ambiente produtivo, na agricultura ou na pecuária, frequentemente variáveis principais são correlacionadas com outras auxiliares. Segundo Vieira (2000), partindo-se de duas variáveis, com parte dos pontos de amostragem ou todos coincidentes, é possível obter a semelhança da variação espacial entre as duas variáveis, o que nos indica a correlação espacial propriamente dita. Até o momento, poucos estudos utilizam técnicas geoestatísticas, como o semivariograma cruzado e a cokrigagem para demonstrar esta correlação. Vieira (2000) ressalta que a causa pode estar talvez, às maiores dificuldades envolvidas nesse processo.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial, por geoestatística, das classes de degradação de pastagens em Marabá, PA e verificar a correlação espacial com as classes de declividade e de solo.

## **2. Metodologia de Trabalho**

A área de estudo constou das áreas de pastagens do município de Marabá, PA (Figura 1), distribuídas em uma área aproximada de 320.063 hectares. A precipitação média da região é de 1.976 mm e o clima é tropical semi-úmido. O relevo predominante vai de moderadamente ondulado a ondulado e o solo predominante é classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO segundo a classificação de Santos et al. (2006).

A área amostrada faz parte do estudo de degradação de pastagem do Bioma Amazônia do projeto liderado pela Embrapa Monitoramento por Satélite “Desenvolvimento de Geotecnologias para Identificação e Monitoramento de Níveis de Degradação em Pastagens – Geodegrade” (Nogueira et al., 2013).

Foram amostrados 174 pontos georreferenciados em grade aleatória nas pastagens da área e obtidas informações a partir de critérios visuais no verão de 2011 e 2012. A partir do trabalho iniciado por Pocard-Chapuis (no prelo)<sup>a</sup>, que tem como objetivo obter a tipologia de degradação de pastagem envolvendo critérios visuais da pastagem e do solo analisados pela estatística baseada na lógica fuzzy, foram definidas, no presente trabalho, três classes de degradação de pastagens: 1) Não degradado: Pastagem boa e capim alto e, pastagem boa e capim baixo; 2) Média degradação: Pastagem degradada mediana agronomicamente e,

---

<sup>a</sup>Pocard-Chapuis, et al. How to quantify the pasture degradation in the Amazon Region? A fuzzy logic approach. No prelo.

pastagem pouco degradada e fechada; e 3) Degradado: Pastagem muito degradada agronomicamente e biologicamente.

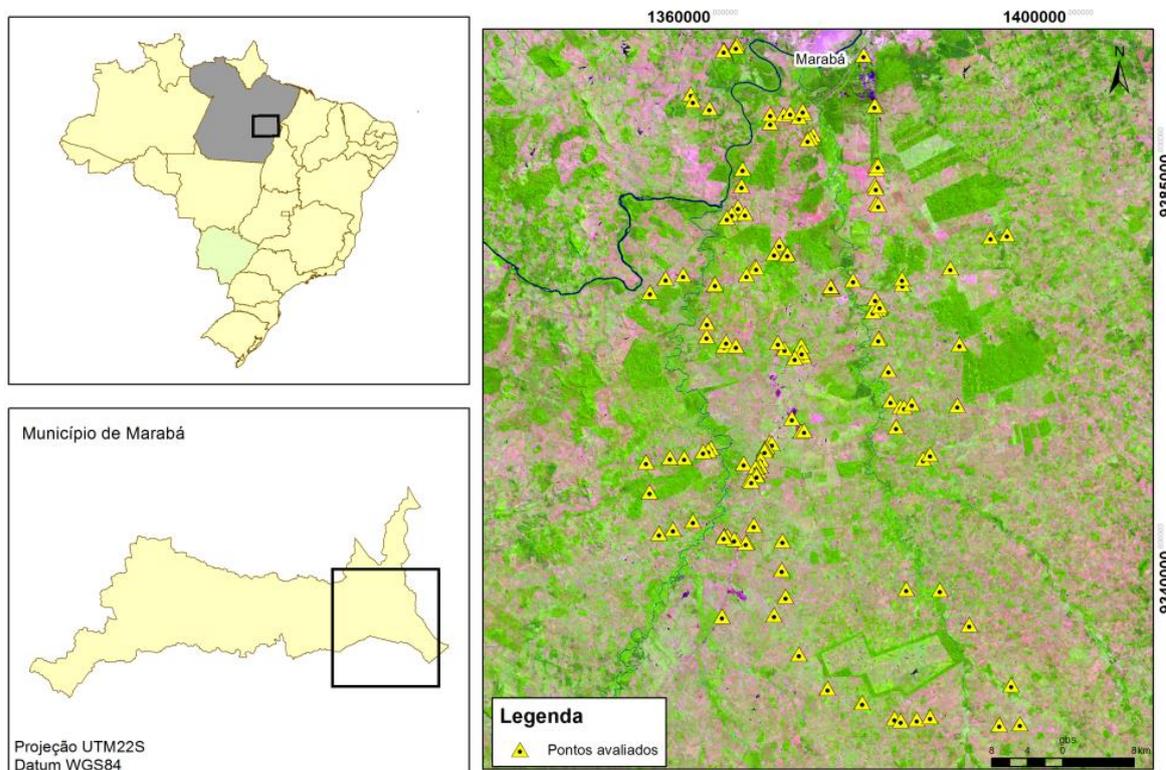


Figura 1. Localização da área de estudo, Marabá, PA. Imagem OLI/Landsat-8 de 11 de julho de 2013, bandas R(6) B(5) B(4) com os 174 pontos de amostragem.

As cinco classes de relevo que ocorrem na área foram adaptadas dos planos de informação de declividade (%) do projeto TOPODATA, de acordo com a metodologia de Valeriano (2008):

- 1 – 0-3% plano
- 2 – 3-8% suave ondulado
- 3 – 8-13% moderadamente ondulado
- 4 – 13-20% ondulado
- 5 – 20-45% forte ondulado

As cinco classes de solos foram as da Escala 1:250.000 do RADAMBRASIL extraídas para um retângulo envolvendo os pontos amostrais de Marabá, PA, seguindo a classificação de Santos et al. (2006):

- 1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
- 2 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
- 3 - ARGISSOLO VERMELHO
- 4 - NEOSSOLO LITÓLICO
- 5 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

Os dados foram submetidos a estatística descritiva e análise de correlação linear simples de Pearson entre as classes de degradação de pastagem, declividade e solo. Para verificar a dependência espacial das variáveis, interpolar dados e elaborar os mapas, foi empregada a análise geoestatística segundo Vieira (2000). Foram construídos semivariogramas, partindo das pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância.

É esperado, segundo Vieira (2000), que medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias, para que a semivariância, aumente, partindo da distância zero, no efeito pepita ( $C_0$ ), até um valor máximo, no qual se estabiliza em um patamar ( $C_0+C_1$ ) correspondendo à distância limite de dependência espacial, que é o alcance ( $a$ ). Os semivariogramas que apresentaram dependência espacial foram ajustados com os modelos matemáticos gaussiano e esférico. Com isso obteve-se os parâmetros de dependência espacial.

A krigagem ordinária que estima os valores para os locais não amostrados com condições de não tendenciosidade e com desvios mínimos em relação aos valores conhecidos foi utilizada após a detecção da dependência espacial demonstrada pelo semivariograma. A partir da krigagem foi possível a construção dos mapas de isolinhas para as variáveis em estudo.

Para verificar a existência de correlação espacial entre as classes de degradação da pastagem, declividade e solos, foi realizada a análise de semivariograma cruzado ou “cross” semivariograma, que evidencia a ocorrência ou não da dependência espacial entre duas variáveis amostradas nos mesmos locais e que apresentam certo grau de correlação (equação 1).

$$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z_1(x_i) - Z_1(x_i + h)][Z_2(x_i) - Z_2(x_i + h)] \quad (1)$$

Se existir dependência espacial para cada uma das variáveis ( $Z_1$  e  $Z_2$ ), a existência de dependência espacial entre  $Z_1$  e  $Z_2$  pode ser testada. O cálculo do semivariograma cruzado é usado para avaliar a autocorrelação espacial entre os pares de variáveis ( $Z_1$  e  $Z_2$ ). Os programas computacionais para a análise geoestatística foram derivados de Vieira et al. (1983).

### 3. Resultados e Discussão

Valores médios da estatística descritiva dos dados (Tabela 1), indicam classes de degradação de pastagem de baixa a média, declividade suave ondulada e solos do tipo ARGISSOLO VERMELHO AMARELO. O predomínio de certas classes pode ter sido responsável pelos coeficientes de variação considerados médios com base no critério de Warrick e Nielsen (1980) que classifica o coeficiente de variação como baixo < 12%, médio de 12% a 60% e alto > 60%.

Tabela 1. Estatística descritiva das classes de degradação de pastagem, declividade e solos da região amostrada de Marabá, PA.

Variável	Média	Variância	Desvio Padrão	Coef. Variação	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Classe de degradação de pastagem	1,677	0,583	0,763	45,51	1	3	0,6225	-1,022
Classe de declividade	3,529	0,944	0,972	27,54	1	5	-1,726	1,492
Classe de solo	2,236	0,944	0,972	43,46	1	5	2,150	3,903

As classes de degradação de pastagem proporcionaram correlação positiva com as classes de solo ( $r = 0,4819$ ) e negativa com as classes de declividade ( $r = -0,45$ ), indicando que a degradação da pastagem foi influenciada pelo tipo de solo e teve pouca influência em relação a declividade.

Foi verificada dependência espacial pela análise de semivariograma, apesar das grandes distâncias entre as amostras, sendo ajustados os semivariogramas (Figura 2 a, b c) com patamares bem definidos e modelo gaussiano para as classes de degradação da pastagem e esférico para as demais. O alcance variou de 8000 m para classes de degradação a 20000 m para as classes de solo.

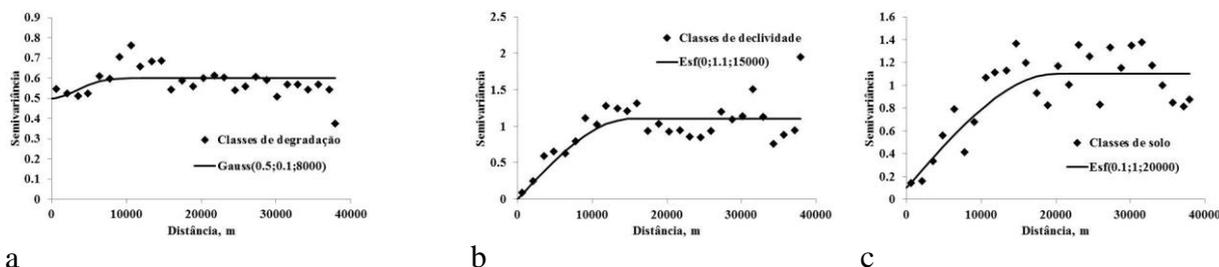


Figura 2. Semivariogramas ajustados para: a) classes de degradação da pastagem (modelo gaussiano), b) classes de declividade e c) classes de solos (modelos esféricos), com seus respectivos parâmetros de ajustes ( $C_0$ ,  $C_1$  e  $a$ ).

Os mapas de isolinhas com valores interpolados por krigagem ordinária podemos verificar que houve semelhança no comportamento espacial das classes de degradação, declividade e solos (Figura 3 a, b, c), indicando que a degradação da pastagem pode estar ocorrendo em parte devido aos próprios fatores físicos da paisagem. As classes de pastagem mais degradada (classe 3), no canto superior direito da Figura 3, coincidem com a área de maior declividade e de predomínio dos NEOSSOLOS. Esta região é tão heterogênea que houve irregularidade na distribuição das manchas de dependência espacial.

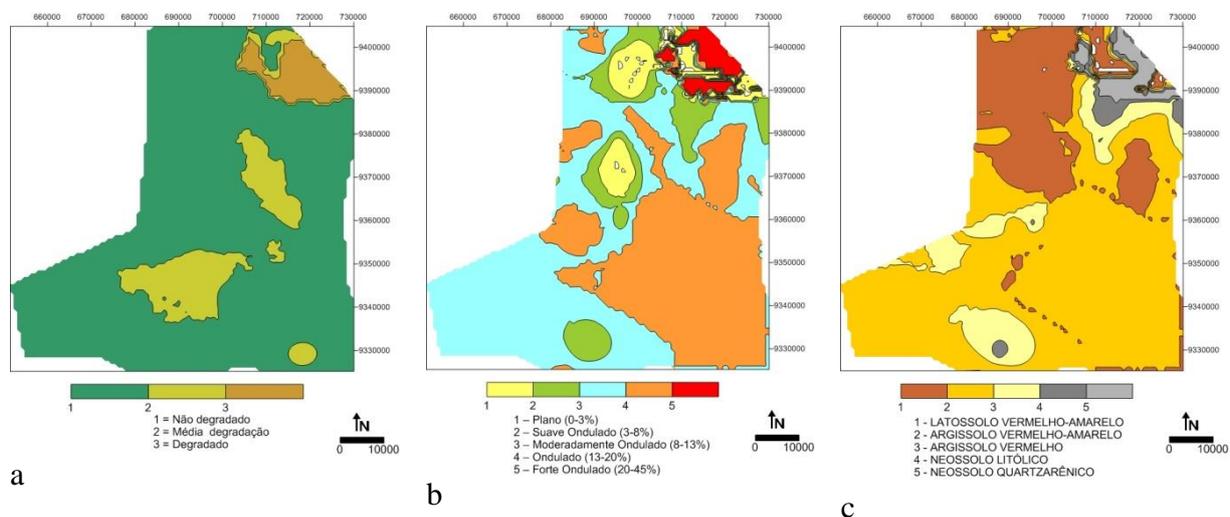


Figura 3. Mapas de isolinhas após interpolação por krigagem ordinária: a) classes de degradação da pastagem, b) classes de declividade e c) classes de solos.

Em virtude desta semelhança verificou-se a correlação espacial por meio do semivariograma cruzado. Houve correlação espacial positiva e dependência espacial para a relação entre a classe de degradação e classe de solo como mostra o semivariograma cruzado ajustado pelo modelo esférico (Figura 4), com alcance de 10000 m. Segundo Vieira (2000) e Ortiz et al. (2007), a elaboração do semivariograma cruzado requer o ajuste dos semivariogramas diretos e também do semivariograma cruzado garantindo boa representação da variabilidade espacial.

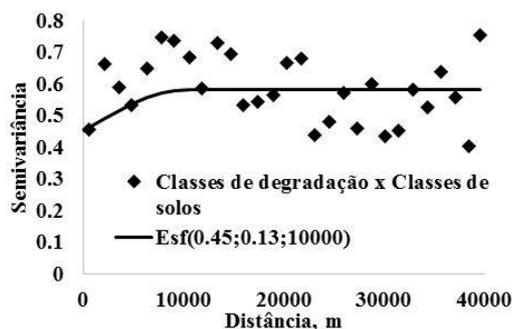


Figura 4. Semivariograma cruzado entre as classes de degradação da pastagem e as classes de solo. Ajuste pelo modelo esférico (Co, C1 e a).

Este resultado indica que a maior degradação da pastagem na região amostrada de Marabá, PA, ocorre em função de solos pouco evoluídos com ausência de horizonte B diagnóstico, textura arenosa de baixa fertilidade, característica dos NEOSSOLOS (SANTOS et al., 2006) e regiões não degradadas e de média degradação ocorrem com predomínio de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, apesar de se caracterizarem como restrições à fertilidade, em alguns casos, e susceptibilidade à erosão segundo Santos et al. (2006). Nestes casos, poderia estar associado ao manejo das pastagens.

#### 4. Conclusões

A geoestatística aplicada na área de estudo (Marabá, PA) auxiliou na identificação da dependência espacial sendo possível especializar classes de degradação da pastagem, classes de declividade e classes de solos.

Ao considerar a variabilidade espacial, foi possível identificar áreas coincidentes quanto às pastagens em níveis mais elevados de degradação, com maior declive e solos pouco desenvolvidos, podendo ser útil também em áreas mais abrangentes da Amazônia.

Houve correlação espacial positiva entre as classes de degradação da pastagem e as classes de solo, indicando ser o solo um dos principais fatores, entre os analisados, na indicação da degradação da pastagem da região de estudo.

#### Agradecimentos

Ao pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Carlos Fernando Quartarolli, por fornecer as classes de solos na escala 1:250.000 oriundas do RADAMBRAZIL para a região de estudo. Ao projeto “Desenvolvimento de geotecnologias para identificação e monitoramento de níveis de degradação em pastagens – GeoDegrade” (Embrapa – SEG n. 02.10.06.011.00.00)

#### Referências bibliográficas

Bolfe, E. L.; Andrade, R. G.; Vicente, L.E.; Batistella, M.; Grego, C. R.; Victoria, D. C. Uso de geotecnologias no monitoramento de sistemas de iLPF. In: Bungenstab, J.D. (Ed.) **Sistemas de Integração: a produção sustentável**. 2ed. Brasília: Embrapa, 2012. v. 1, p. 199-208.

Dias-Filho, M. B.; Andrade, C. M. S. **Pastagens no trópico úmido. Belém, PA**: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 30 p. (Documentos, 241).

Dias-Filho, M. B.; Ferreira, J. N. Influência do pastejo na biodiversidade do ecossistema da pastagem. In: Pereira, O. G.; Obeid, J. A.; Fonseca, D. M.; Nascimento Júnior, D. do. (Ed.). **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008, p. 47-74.

Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Censo agropecuário. 2006.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=23&i=P&c=854>>. Acesso em: 24 out.2014.

Morton, D. C.; Defries, R. S.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O.; Arai, E.; Espirito-Santo, F. Del B.; Freitas, R.; Morisette, J. Cropland expansions changes dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, p. 14637-14641, 2006.

Nogueira, S. F.; Silva, G. B. S.; Andrade, R. G.; VICENTE, L. E. **Geotecnologias para o monitoramento dos níveis de degradação das pastagens no Brasil.** Infogeo (Curitiba), v. 15, p. 62-64, 2013.

Ortiz, J.O., Felgueiras, C.A., Druck, S., Monteiro, A.M.V. Avaliação de procedimentos geoestatísticos de cokrigagem para determinação da distribuição espacial de propriedades de solos. In: Meirelles, M.S.P. Camara, G., Almeida, C.M. (Ed). **Geomática: modelos e aplicações ambientais.** Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2007. p.387-408.

Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumberras, J.F.; Cunha, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 316p.

Soares, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente.** 2. Ed. Lisboa: IST Press, 2006. 232 p.

Valeriano, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Serviço de Informação e Documentação (SID) 2008.72 p.

Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Chaefer, G.R. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54. 2000.

Vieira, S.R.; Hatfield, J.L.; Nielsen, D.R.; Biggar, J.W. **Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties.** Hilgardia, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

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 Press, 1980. p.319-344.