



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013  
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo.

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA GRANULOMETRIA DO SOLO COMO SUPORTE NA  
MONTAGEM DE BIBLIOTECA ESPECTRAL EM ÁREA DE PASTAGEM**

Raquel M. Long<sup>1a</sup>; Célia R. Grego<sup>2b</sup>; Luiz E. Vicente<sup>2c</sup>; Marston H. D. Franceschini<sup>3c</sup>; Marcus V. Sato<sup>3c</sup>

<sup>1</sup>PUC-Campinas, CEATEC/Geografia; <sup>2</sup>Embrapa Monitoramento por Satélite; <sup>3</sup>ESALQ/USP,  
Departamento de solos e nutrição de plantas

**Nº 13511**

**RESUMO** - *O objetivo deste trabalho foi mapear, por meio da análise geoestatística, a variabilidade espacial da granulometria do solo na área da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS, para contribuir como suporte na montagem de bibliotecas espectrais do solo. A primeira etapa desta pesquisa consistiu na coleta de solos (0-20 cm de profundidade) em 74 pontos de amostragem georreferenciados, para os quais foi feita análise granulométrica em laboratório e foram determinados os teores de: (I) areia ( $g\ kg^{-1}$ ); (II) silte ( $g\ kg^{-1}$ ) e (III) argila ( $g\ kg^{-1}$ ). Na segunda etapa, os resultados foram analisados usando estatística descritiva e geoestatística. Para a análise geoestatística, foram calculados, elaborados e ajustados os semivariogramas, para identificar a dependência espacial e permitir que os valores de cada atributo fossem interpolados por krigagem ordinária, ou seja, interpolados sem tendência e com variância mínima. Após a interpolação, foram elaborados os mapas de isolinhas dos atributos granulométricos do solo. Os resultados encontrados demonstram que houve dependência espacial para todos os atributos e as áreas mapeadas apresentam relação inversamente proporcional entre os teores de argila e areia. Além disso, a área com maior concentração de argila separou-se da área com maior teor de silte. Esses resultados permitem concluir a importância da geoestatística para a identificação da variabilidade espacial da granulometria do solo, que servirá como suporte na montagem de bibliotecas espectrais de solo, auxiliando na visualização de atributos por meio da geração de superfícies contínuas de variabilidade, trabalhando de maneira coadunada com levantamentos espectrorradiométricos pontuais.*

**Palavras-chaves:** Variabilidade espacial, krigagem, atributos do solo, mapas de isolinhas.

<sup>a</sup> Estagiária: Graduação em Geografia, raquel.long@colaborador.embrapa.br; <sup>b</sup> Orientadora; <sup>c</sup> Colaboradores



**ABSTRACT** - *The purpose of this research was to map, through geostatistical analysis, the spatial variability of the soil granulometry at Embrapa Beef Cattle's experimental farm, in Campo Grande, MS, Brazil, with the hope of contributing to the elaboration of spectral libraries for soils. The first stage of this research comprised the collection of soil samples (0-20cm depth) from 74 georeferenced points and which were then subjected to granulometry laboratory analysis, and had the following contents determined: sand ( $\text{g kg}^{-1}$ ); silt ( $\text{g kg}^{-1}$ ) and clay ( $\text{g kg}^{-1}$ ). The second stage comprised the analysis of the results using descriptive statistics and geostatistics. In the geostatistical analysis, semivariograms were calculated, designed and adjusted for the aforementioned attributes, to identify the spatial variability and to enable data interpolation using ordinary kriging, i.e. interpolation with no tendency and with minimum variability. After the interpolation, soil granulometry isoline maps were produced. The results showed spatial dependence for sand, silt and clay, and the mapped areas were found to be inversely proportional in their distribution throughout the land. Moreover, the area with the highest concentration of clay was separated from the area with the highest concentration of silt. From the results, we were able to conclude that geostatistics is an important tool to support the assembly of soil spectral libraries, thus helping visualize its attributes by means of the generation of continuous variability surfaces, and working jointly with punctual spectroradiometric surveys.*

**Keywords:** Spatial variability, kriging, soil attributes, isoline maps.

## 1 INTRODUÇÃO

A análise granulométrica de um solo consiste na determinação do tamanho das partículas que o constituem e na sua distribuição em determinados intervalos. Entre as principais características do solo, a textura, que é considerada a mais estável e representa a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho, influencia tanto o comportamento do solo quanto a relação de dinâmica da água, permeabilidade, resistência à erosão, adubação e práticas conservacionistas (TORRADO, 1989). A textura do solo, resultante da proporção relativa entre os diferentes grupos de partículas primárias existentes no solo (areia, silte e argila) é determinada pela análise granulométrica, classificando-as em classes de diâmetro (WARRICK et al., 2000).

Estudos comprovam que os atributos do solo não ocorrem de maneira aleatória na paisagem, mas sim de forma espacialmente dependente. Vieira (2000) ressalta a necessidade de se avaliar a variabilidade espacial das amostragens de solo em campo por meio da análise geoestatística, no sentido de verificar a existência de dependência espacial, ou seja, a relação de



similaridade entre pontos vizinhos amostrados. Segundo o autor, depois de verificada essa dependência é possível estimar valores para locais não amostrados, com variância mínima e sem tendência, através do método de krigagem. Segundo Deutsch e Journel (2000), a geoestatística oferece um conjunto de ferramentas determinísticas e estatísticas que têm o objetivo de compreender e modelar a variabilidade espacial, que fornecem estimativas não enviesadas de valores no espaço a partir de um conjunto de observações recolhidas em várias localizações, e que usam o modelo de covariâncias espaciais estimado a partir dos dados observados. Segundo Chuvieco (2010) e Jensen (2009), a geoestatística utiliza pontos com valores conhecidos para estimar valores de outros pontos e constitui, portanto, um conjunto de técnicas que visam à criação de superfícies contínuas a partir de amostras pontuais, com base no pressuposto de que os pontos que estão mais próximos no espaço tendem a apresentar valores de atributos semelhantes. Dessa forma, a geoestatística revela-se uma ferramenta adequada para estudos que envolvem avaliação da granulometria do solo e de tudo o que deriva dela.

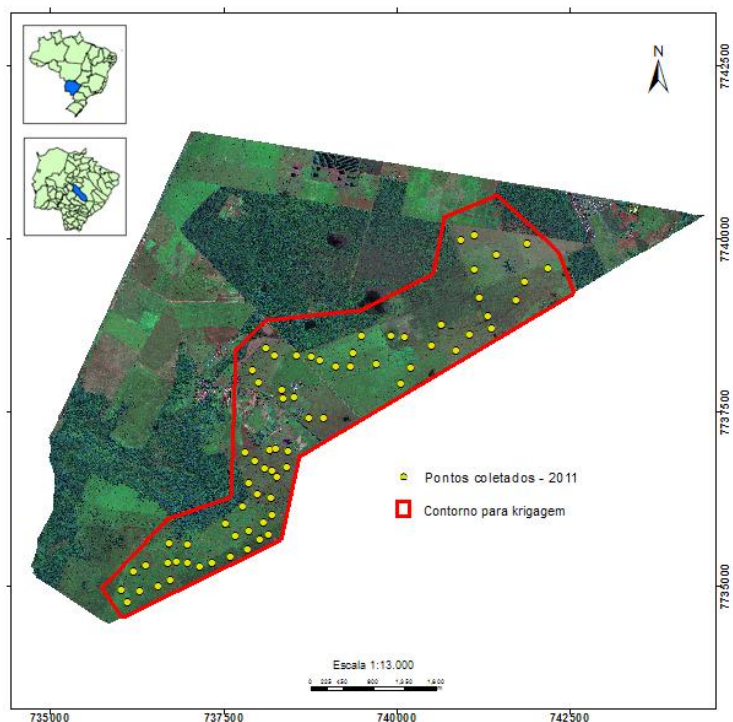
Para tornar o acesso às informações relacionadas aos atributos da paisagem, como o solo, mais dinâmico e preciso, o uso de acervos de medidas espectrorradiométricas, conhecidas como bibliotecas espectrais do solo, são uma importante ferramenta de análise e pesquisa (CLARK, 1999; HUNT; SALISBURY, 1971) e são utilizadas amplamente, tanto no nível laboratorial quanto como suporte ao sensoriamento remoto.

No processo de montagem de bibliotecas espectrais do solo, pode-se verificar a importância da utilização da geoestatística, que oferece a possibilidade de estimar valores para locais não amostrados por meio, por exemplo, de krigagem ordinária, gerando, assim, uma malha adensada de pontos e permitindo a avaliação da variabilidade espacial em determinada área.

O objetivo deste trabalho foi verificar, por meio da análise geoestatística, a variabilidade espacial da granulometria do solo na área da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS, a fim de contribuir para a montagem de bibliotecas espectrais do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi elaborado na área da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, localizada nas coordenadas geográficas 20°26'38,77"S e 54°43'24,26"W. A altitude da área amostrada varia entre 503 m e 570 m do nível do mar. Foi feita coleta de solo em 74 pontos georreferenciados (0-20 cm de profundidade) em área predominantemente composta por pastagem de braquiária, como mostra a Figura 1.



**Figura 1.** Área de estudo com os pontos georreferenciados amostrados em amarelo e, em vermelho, o contorno da área para análise geoestatística. Fonte: Imagem do satélite Worldview-2 captada em 11 de agosto de 2012.

Após a coleta, foi feita a análise granulométrica do solo em laboratório, para determinação dos atributos (I) areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ), (II) silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e (III) argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ), utilizando o método do densímetro (BOUYOUCOS, 1927).

Com os dados por ponto correspondente às coordenadas em UTM, foram realizadas as análises de estatística descritiva e geoestatística. Para a análise de estatística descritiva foram calculados os valores de média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação (%), mínimo, máximo, assimetria e curtose.

Para verificar a dependência espacial das variáveis, interpolar dados e elaborar os mapas, foi empregada a análise geoestatística segundo Vieira (2000). Foram obtidos semivariogramas a partir das pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância, estimada pela equação:

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



## VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo.

Os semivariogramas foram ajustados ao modelo matemático teórico de melhor correspondência, neste caso, o modelo esférico. Após o ajuste, foi possível estimar valores para os locais não amostrados, sem tendência e variância mínima, por meio da krigagem ordinária.

Os programas computacionais, os procedimentos para construção e ajuste do modelo do semivariograma e a krigagem foram baseados em Vieira et al. (2002).

Os valores interpolados por krigagem foram importados para o programa ArcGIS 10, no qual, utilizando os pacotes Spatial Analyst e Geostatistical Analyst, foram obtidos os mapas de isolinhas da granulometria do solo para a área amostrada.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Com a finalidade de exploração inicial, os dados foram submetidos à estatística descritiva (Tabela 1). Os valores médios indicam que o solo é, na média, argiloso, pois os valores médios observados enquadram-se nessa classe textural. Considerando-se os valores de assimetria e curtose, os dados apresentaram, em sua maioria, normalidade de distribuição de frequência, com exceção do silte, que apresentou anormalidade por terem sido encontrados valores de assimetria e curtose mais distantes de 0.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos atributos estudados: areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ); silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

Atributos	Média	Variância	D.P.	Coef. Var.	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Areia	353.70	14000.00	118.30	33.45	161.00	569.00	0.62	-1.17
Silte	91.22	902.40	30.04	32.93	49.00	257.00	2.78	12.92
Argila	556.40	11310.00	106.30	19.11	360.00	681.00	-0.67	-1.18

D.P., desvio padrão; Coef. var., coeficiente de variação em %.

Os dados foram submetidos à análise de variabilidade espacial utilizando análise geoestatística, com o intuito de contribuir, como suporte, para a montagem de bibliotecas espectrais de solo da área de estudo para locais não amostrados. A análise geoestatística, através da geração dos mapas de isolinhas (para visualização espacial dos resultados), e a malha adensada de dados, gerada através da krigagem ordinária, auxiliam na montagem da biblioteca espectral de solos, tornando-a mais precisa e completa. O uso da análise geoestatística é de grande utilidade nesse processo, pois, segundo Grego et al. (2013), minimiza as possibilidades de erro na espacialização dos dados, aumentando, assim, a precisão dos resultados obtidos.

Os semivariogramas (Figura 2) foram construídos e ajustados de acordo com o modelo esférico que melhor representou a dependência espacial para os atributos da granulometria do

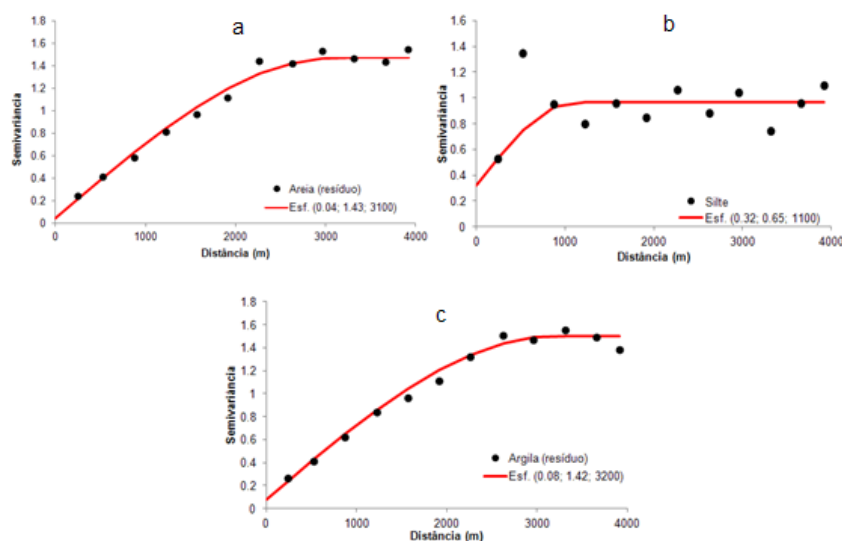


## VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo.

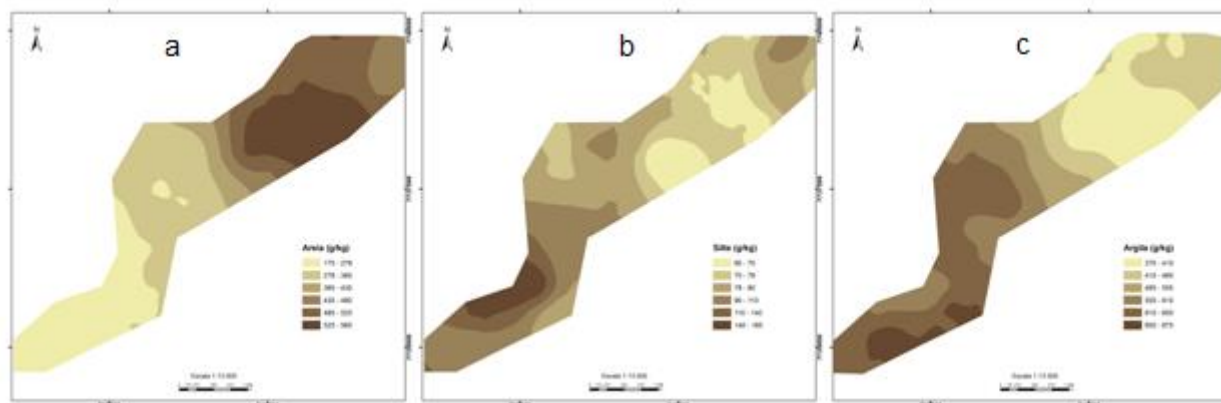
solo. De acordo com Vieira (2000), para os estudos de variáveis de interesse agrônomo, tais como solo e planta, os ajustes que melhor representam a variabilidade espacial são, na maioria, esféricos. Todos os atributos indicaram dependência espacial, porém, para os atributos areia e argila houve tendência na distribuição espacial, por isso foi retirada a tendência linear dos dados originais e foram ajustados os resíduos. Grego et al. (2012), estudando a variabilidade espacial em área de pastagem localizada no Estado de São Paulo, encontraram dependência espacial somente para areia, também com ajuste esférico, porém com amostragem realizada em apenas 50 pontos.

De acordo com a Figura 2, pode-se observar que o alcance de dependência espacial variou de 1.100 m a 3.200 m, ou seja, os dados são dependentes entre esses alcances de distâncias. O menor efeito pepita em relação ao patamar ocorreu para areia e argila, e indica dependência espacial mais forte do que para o silte.



**Figura 2.** Semivariogramas ajustados das variáveis que apresentaram dependência espacial juntamente com os parâmetros efeito pepita ( $C_0$ ), variância estrutural ( $C_1$ ) e alcance (a). a) Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ), b) silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e c) argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

Após a identificação da dependência espacial, os dados foram interpolados para os locais não amostrados por krigagem ordinária, sem tendência e com variância mínima, utilizando os parâmetros de ajuste de dependência espacial ( $C_0$ ,  $C_1$  e alcance). Após a interpolação, foram construídos mapas de isolinhas para representar espacialmente os teores de areia, silte e argila. Os mapas de isolinhas podem ser visualizados na Figura 3.



**Figura 3:** Mapas de isolinhas dos atributos interpolados por krigagem: a) areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ); b) silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e c) argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

Os resultados encontrados a partir da análise dos mapas elaborados mostraram relação entre a dependência espacial da areia, do silte e da argila, sendo que as áreas a sudoeste da fazenda, as quais apresentaram maior teor de argila, também tiveram menor teor de areia. A área com maior concentração de argila está localizada no lado oposto ao da área de maior concentração de silte, que também está localizada na porção sudoeste da área amostrada, com algumas manchas de quantidade elevada também presentes no limiar dessa área, mais a nordeste. Já a areia, como anteriormente mencionado, está concentrada em maior quantidade em posição oposta à da argila e do silte, ou seja, a nordeste. Portanto, os solos no local estudado (na média, argilosos) apresentaram variações espaciais quanto aos teores de areia, silte e argila, que puderam ser identificadas nos mapas após interpolação por krigagem.

#### 4 CONCLUSÃO

Houve dependência espacial para areia, silte e argila, e as áreas com pastagem onde havia maior quantidade de argila no solo foram as com menor quantidade de areia. A área com maior concentração de argila ficou oposta à área com maior concentração de silte.

Os resultados permitem concluir a importância do uso da geoestatística para a identificação da variabilidade espacial da granulometria do solo, e servirão como suporte na montagem de bibliotecas espectrais de solo em área de pastagem. Os dados interpolados por krigagem ordinária geraram uma superfície de isolinhas para locais não amostrados, e podem auxiliar na visualização espacial dos atributos por meio da geração de superfícies contínuas de variabilidade desses atributos, trabalhando de maneira coadunada com levantamentos espectrorradiométricos pontuais.



## VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo.

### 5 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Embrapa Monitoramento por Satélite e o projeto AgSpec, pela bolsa e oportunidade de estágio, e a minha orientadora, Célia Regina Grego, pelo apoio e aprendizado.

### 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, v. 23, p. 343-353, 1927.

CHUVIECO, E. **Teledetección ambiental**: la observación de la tierra desde el espacio (Ariel Ciencia). Madrid: Huertas Industrias Gráficas, 2010. 596 p.

CLARK, R. N. Spectroscopy of rock and minerals, principles of spectroscopy. In: RENCZ, A. (Ed.). **Manual of remote sensing**. 3. ed. New York: J. Wiley and Sons, 1999. p. 3-58.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **Geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University Press, 2000.

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, C. G. F.; FURTADO, A. L. S.; DEMARCHI, J. J. A. A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geostatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1404-1412, 2012.

GREGO, C. R.; LONG, R. M.; VICENTE, L. E.; GOMES, D.; VEDOVATO, L. B.; OLIVEIRA, B. P.; LEIVAS, J. F.; VICTÓRIA, D. C. Otimização de modelo digital de elevação - ASTER utilizando análise geoestatística. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1237-1243.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: II Carbonate. **Modern Geology**, v. 2, p. 23-30, 1971.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2009.

TORRADO, P. V. **Relações solo x relevo em Mococa (SP)**: influência das características topográficas e posição na vertente nos atributos do solo. 1989. 205 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J. A.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p.1-45.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. (Ed.). Application of soil physics. New York: Academic Press, 2000. p. 319-324.