Laboratório Nº 5

INTRODUÇAO

A geoestatística permite descrever a continuidade espacial, a qual é uma característica essencial de muitos fenómenos naturais. Modelos inferenciais para este objetivo vêm sendo propostos no ultimo tempo, por exemplo, a krigeagem, e sua base conceitual estão fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1971).O termo krigeagem é derivado do nome de Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (Delfiner e Delhomme, 1975). O que diferencia a krigeagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigeagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

O objetivo deste trabalho foi estimar as concentrações de argila no solo em locais não amostradas utilizando-se dos conceitos de geoestatística e da técnica de Krigeagem, bem como realizar uma avaliação dos erros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados foram obtidos no levantamento dos solos da Fazenda Canchim, em São Carlos - SP. Estes se referem a uma amostragem de 85 observações georreferenciadas coletadas no horizonte Bw (camada do solo com profundidade média de 1m). Dentre as variáveis disponíveis, selecionou-se para estudo o teor de argila. Considera-se o teor de argila ao longo do perfil, classificado do seguinte modo (Calderano Filho *et al.*, 1996):

· MUITO ARGILOSO: solos que apresentam 59% ou mais de argila;

· ARGILOSO: solos que apresentam de 35% a 59% de argila;

· MÉDIO: solos que apresentam de 15% a 35% de argila;

· ARENOSO: solos que apresentam menos de 15% de argila.

O software SPRING foi utilizado para a realização da análise exploratória dos dados, cálculo e modelagem do semivariograma e Krigeagem.

RESULTADOS

A análise exploratória dos dados revelou que se aproximam a uma distribuição normal (Tabela 1, Figura 1).

Tabela1. Estadística descritiva do teor de argila

	N	Media	SD	% CV	Min	Mna.	Max
Argila	85	33,05	16,97	0,51	04	33	73

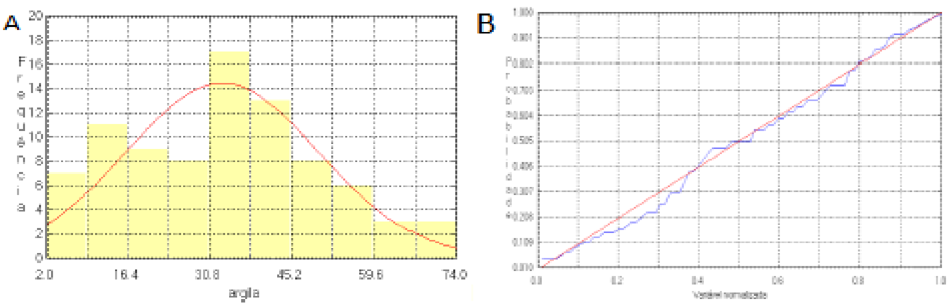

Figura 1. A) Histograma de frequências; B) Distribuição de probabilidades normal.

Análise da Variabilidade Espacial por Semivariograma

Caso Isotrópico

A isotropia em fenômenos naturais é um caso pouco frequente de ser observada. Neste caso, um único modelo é suficiente para descrever a variabilidade espacial do fenômeno em estudo. Na prática quando lidamos com semivariogramas, a primeira suposição é isotropia na tentativa de detectar uma estrutura de correlação espacial. Para tal, utiliza-se tolerância angular máxima (90 graus) assim a direção torna-se insignificante.

Calculou-se o semivariograma omnidirecional, sem e com ajuste de parâmetros (Figura 2).

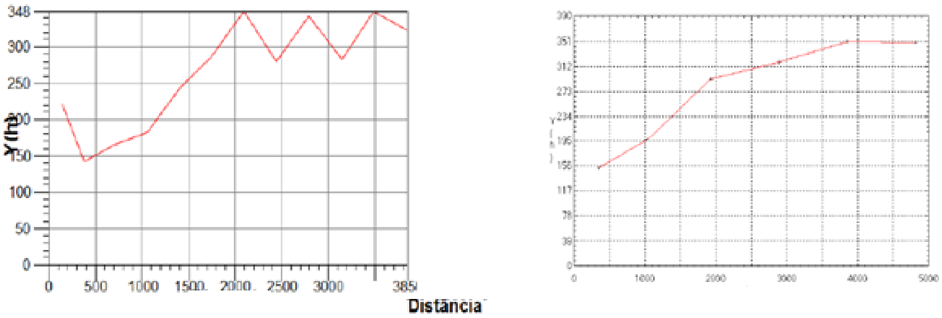

Figura 2. Semivariograma omnidirecional. A) Sem ajuste de parâmetros. B) Com ajuste de parâmetros.

Posteriormente, foi ajustado o semivariograma experimental como o modelo teórico gaussiano (Figura 3).

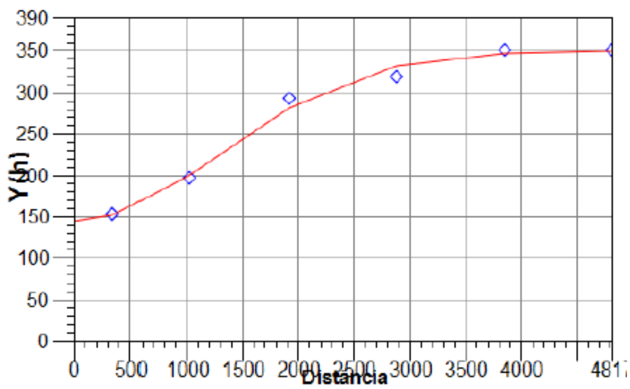

Figura 3. Semivariograma experimental ajustado com o modelo Gausseano.

Tabela 2. Comparação dos parâmetros iniciais e finais do modelo de semivariograma.

	Efeito pepita (Co)	Contribuição (C1)	Alcance (a)
Parâmetros iniciais	129,52	210,195	2408,269
Parâmetros finais	143,743	204,454	3176,397

O modelo de ajuste foi avaliado por meio da análise dos erros. As cruzes maiores apresentam os maiores erros. Não evidenciou-se que há tendência a concentração de erros por região (Figura 4).

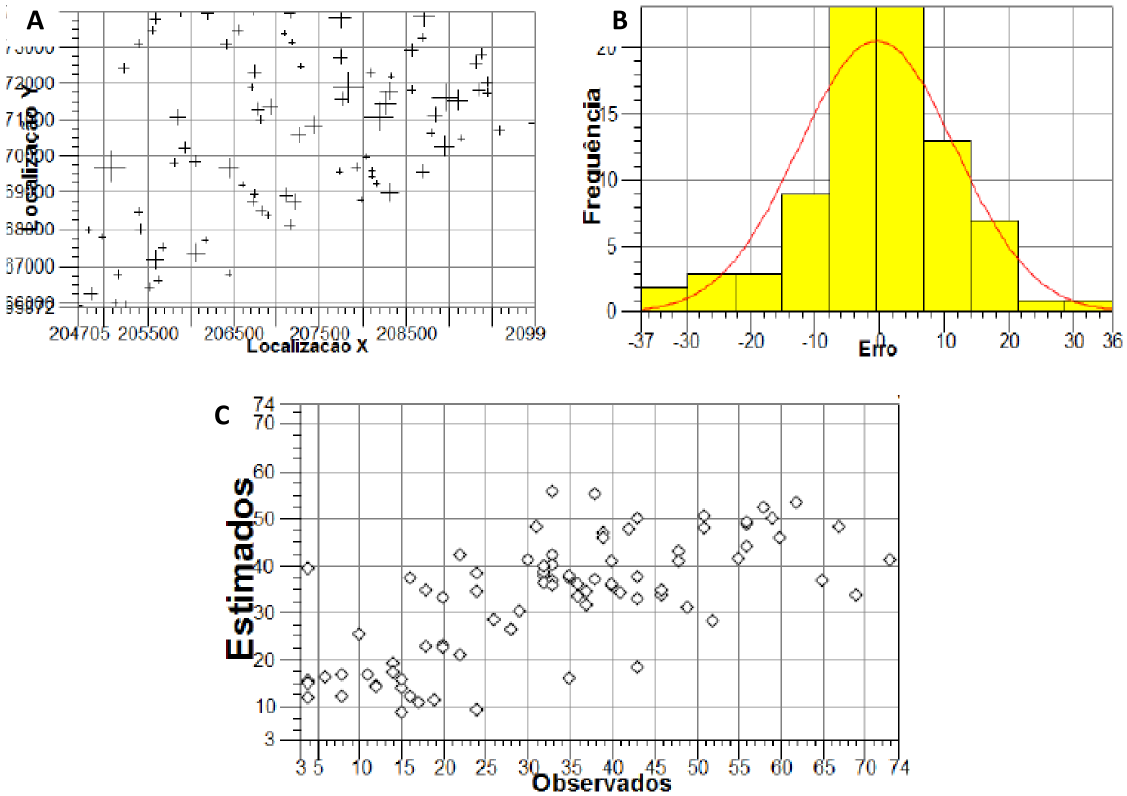

Figura 4. Análise dos erros. A) Distribuição espacial dos erros. B) Histograma de frequências. C) Validação cruzada da variável argila.

Interpolação por krigeagem ordinária

A krigeagem é um algoritmo de inferência ou interpolação geoestatístico baseado na análise e modelagem da variabilidade espacial do atributo a partir de um conjunto amostral pontual desse atributo. Supõe, ainda, a hipótese de estacionariedade de segunda ordem para a propriedade que está sendo modelada, ou seja, a média é constante em todas as posições do campo e a covariância só depende da distância entre as amostras.

A krigeagem ordinária é um estimador de krigeagem linear, ou seja, estima um valor em posição espacial não observada segundo uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local. A krigeagem ordinária possibilita a inferência do atributo, numa posição u, sem a necessidade de se conhecer a média estacionária m. Sob a condição de que a somatória dos ponderadores da krigeagem ordinária l0a (u) é igual a 1, ou seja:

$$\sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) = 1$$

Assim, têm-se a seguinte formulação para o estimador de krigeagem ordinária (Felgueiras, 1999):

$$z_0^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u).z(u_\alpha)$$

Journel (1988) monstra que a aplicação dos critérios de mínima variância do erro de estimação e de não tendenciosidade do estimador possibilita o cálculo dos pesos, $\lambda_{0\alpha}(u)$, pela solução do seguinte sistema de equações de krigeagem ordinária:

$$\begin{cases} \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) C(u_\alpha, u_\beta) + \phi(u) = C(u, u_\beta)\ para \beta = 1,\dots, n(u) \\ \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) = 1 \end{cases}$$

onde: $C(u_\alpha, u_\beta)$ é a covariância entre as amostras observadas em μ_α, e μ_β ; $C(\mu,\mu_\beta)$ é a covariância entre a amostra observada em μ_β e a posição μ e; f(u) é o multiplicador de Lagrange, necessário para a minimização da variância do erro e associado com a restrição $\sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) = 1$

Neste estudo, como primeiro passo foi gerado o krigeagem ordinário, depois se visualizou a grade de krigeagem gerada para a argila (Figura 5A), logo foi gerada a imagem para a visualização da superfície da argila e recortou-se a utilizando o programa Legal (Figura 5B). Por ultimo, executou-se o fatiamento e recorte da grade do teor de argila (Figura 5 C).

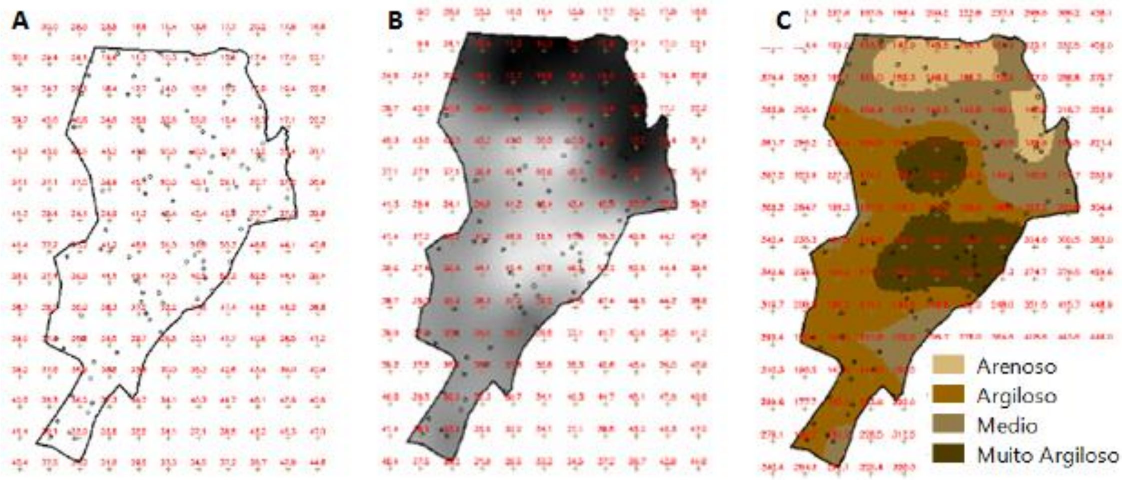

Figura 5. Krigeagem ordinária. A) Grade de krigeagem B) Superfície da argila C) fatiamento da grade do teor de argila

Caso Anisotrópico

O semivariograma de superfície serve para nos indicar os eixos de maior e menor descontinuidade espacial do fenômeno. Gerou se o semivariograma de superfície para os dados e detectou-se uma maior variabilidade em torno de 17º e uma menor em 107º.

(Figura 6).

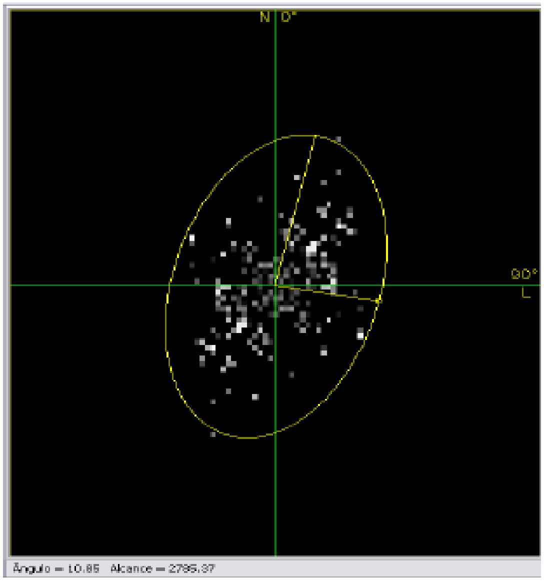

Figura 6. Semivariograma de Superfície.

Logo, foram obtidos os semivariogramas direcionais com os respectivos ângulos de anisotropia (Figura 7).

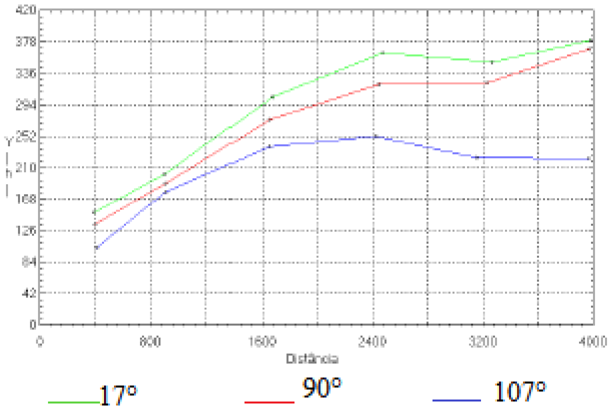

Figura 7. Semivariogramas direcionais.

Os semivariogramas de maior (17°) e menor continuidade (107°) espacial foram ajustados mediante um modelo esférico (Figura 8) e posteriormente foram avaliados mediante a análise dos erros (Figura 9).

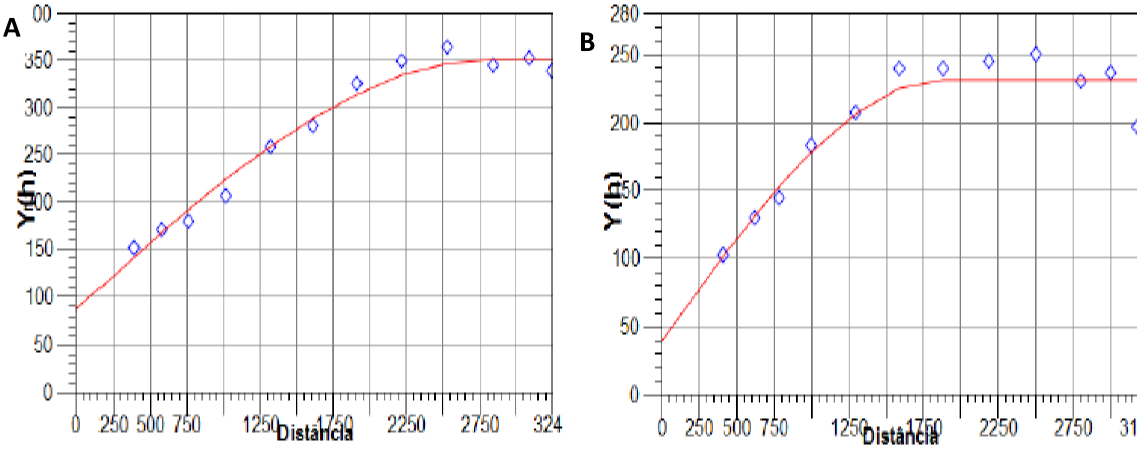

Figura 8. Semivariogramas experimentais ajustados pelo modelo esférico.A) Semivariograma de maior continuidade espacial (17°). B) Semivariograma de menor continuidade espacial (107°).

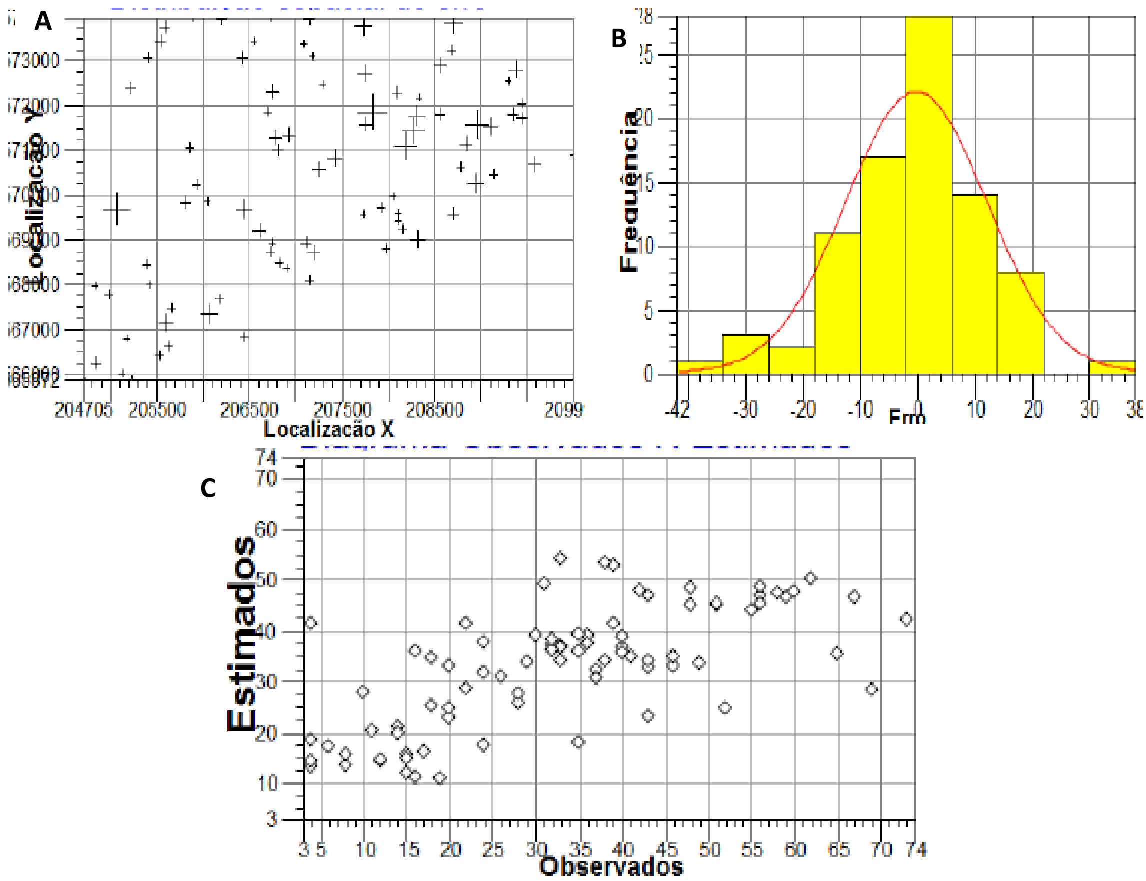

Figura 9. Análise dos erros. A) Distribuição espacial dos erros. B) Histograma de frequências. C) Validação cruzada da variável argila.

Tal como na analise de tipo isotrópico, neste caso o primeiro passo foi gerar o krigeagem para o teor de argila oriunda de um modelo anisotrópico (Figura 10 A), logo foi gerada a imagem para a visualização da superfície da argila e recortou-se a utilizando o programa Legal (Figura 10 B). Por ultimo, executou-se o fatiamento e recorte da grade do teor de argila (Figura 10 C).

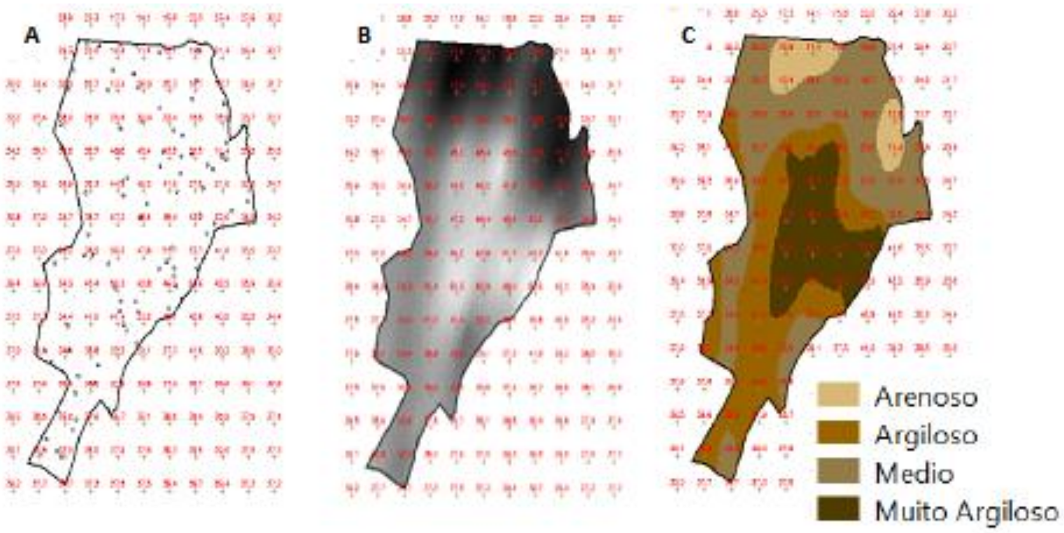

Figura 10. Figura 5. Krigeagem ordinária-Modelo Anisotrópico. A) Grade de krigeagem B) Superfície da argila C) fatiamento da grade do teor de argila

Paola Cardozo