

*SER-300 – Introdução ao Geoprocessamento*  
*Aluna: Silvia Cristina de Jesus*

### **Objetivo**

Explorar através de procedimentos geoestatísticos a variabilidade espacial de propriedades naturais amostrados e distribuídos espacialmente. Resumidamente, os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas inclui: (a) análise exploratória dos dados, (b) análise estrutural (cálculo e modelagem do semivariograma) e (c) realização de inferências (Krigagem ou Simulação).

### **Procedimentos**

O exemplo aqui apresentado refere-se à análise da variação espacial do teor de argila sobre a área da Fazenda Canchim (São Carlos - SP). Considera-se o teor de argila ao longo do perfil, classificado do seguinte modo:

- ✓ 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.

Dentro dos limites da Fazenda Canchim, afloram as seguintes litologias: Arenito Superficial (areias consolidadas), Diabásio (Formação Serra Geral) e Arenito Botucatu (rocha constituída por grãos de quartzo arredondados), conforme ilustrado acima.

### **1 Análise exploratória**

No Spring, a análise exploratória dos dados é realizada através de estatísticas univariadas e bivariadas. As estatísticas univariadas fornecem um meio de organizar e sintetizar um conjunto de valores, que se realiza principalmente através do histograma. As estatísticas bivariadas fornecem

meios de descrever o relacionamento entre duas variáveis, isto é, entre dois conjuntos de dados ou de duas distribuições. Esta relação pode ser visualizada através do diagrama de dispersão e o grau da relação linear entre as variáveis pode ser medido através do coeficiente de correlação.

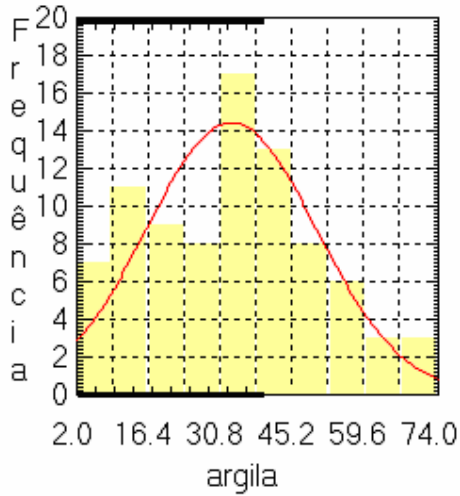
### 1.1 Estatísticas descritivas

E S T A T Í S T I C A S: argila

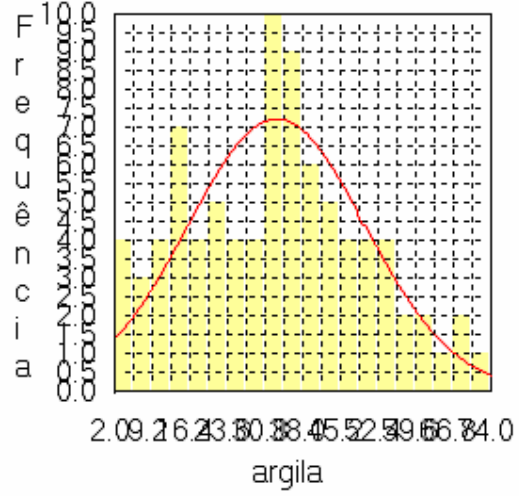
=> Número de Pontos ..... 85  
=> Número de Pontos Válidos ... 85  
=> Média ..... 33.03529412  
=> Variância ..... 288.03404844  
=> Desvio Padrão ..... 16.97156588  
=> Coeficiente de Variação ... 0.51374042  
=> Coeficiente de Assimetria ..0.21392033  
=> Coeficiente de Curtose .....2.34402510  
=> Valor Mínimo ..... 4.00000000  
=> Quartil Inferior ..... 19.00000000  
=> Mediana ..... 33.00000000  
=> Quartil Superior ..... 43.00000000  
=> Valor Máximo ..... 73.00000000

### 1.2 Histograma

O histograma do PI ativo (neste caso: argila) está representado na cor amarela. A curva contínua em vermelho é uma distribuição Gaussiana e serve de referência para efeito de comparação (Figuras 1 e 2). Neste caso observa-se que a distribuição da argila é pouca assimétrica com coeficiente de assimetria igual a 0,214.



(a)



(b)

Figura 1. Histograma com (a) 10 e (b) 20 classes

### 1.3 Gráfico da Probabilidade Normal

Gráfico da Probabilidade Normal, apresentando em linha azul os dados amostrais e, em vermelho, a distribuição Gaussiana (Figura 2).

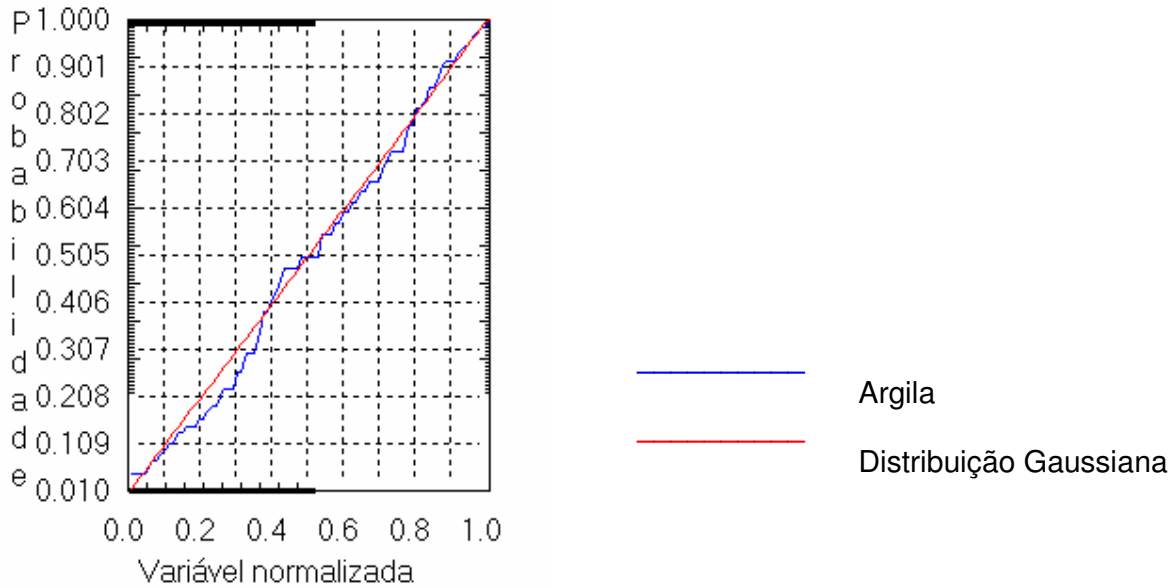


Figura 2. Probabilidade Normal

## 2 Caso isotrópico

A isotropia em fenômenos naturais é um caso pouco freqüente 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.

### 2.1 Análise da variabilidade espacial por semivariograma

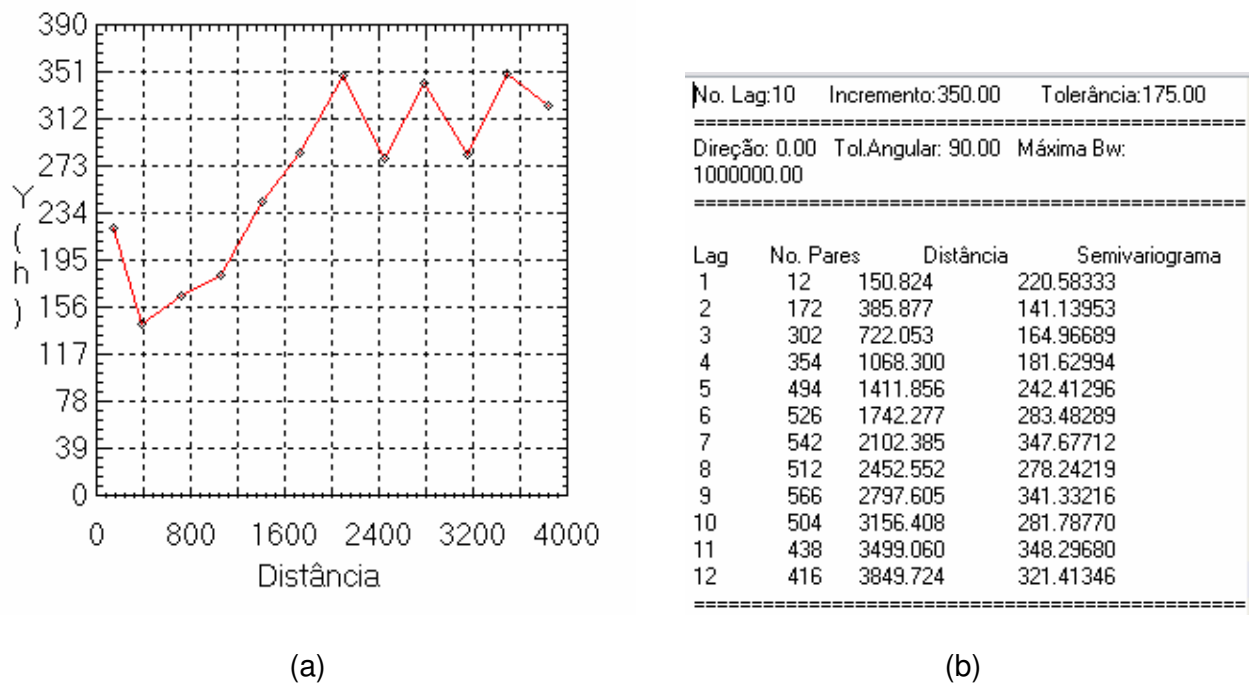
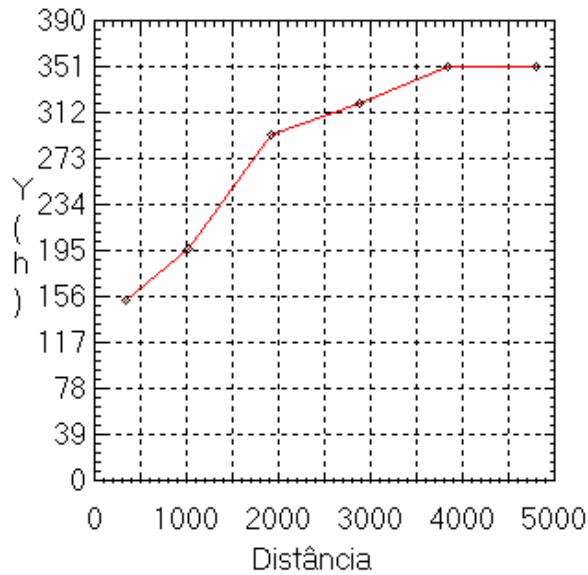


Figura 3 (a) Semivariograma e (b) Resultados numéricos

O semivariograma apresentado na Figura 3 possui uma variação ou forma não muito adequada quando comparado a um semivariograma ideal. Para melhorar sua forma é necessário alterar os parâmetros de Lag (Figura 4).



(a)

No. Lag:4    Incremento:968.00    Tolerância:484.00			
Direção: 0.00    Tol. Angular: 90.00    Máxima Bw: 1000000.00			
Lag	No. Pares	Distância	Semivariograma
1	156	346.653	151.69231
2	982	1027.794	195.25153
3	1464	1929.250	292.46311
4	1454	2889.844	318.50481
5	1154	3855.357	350.65511
6	860	4816.537	349.99767

(b)

Figura 4 (a) Semivariograma e (b) Resultados numéricos alterados

O semivariograma experimental (Omnidirecional) possui uma variabilidade muito mais próxima de um modelo ideal.

## 2.2 Modelagem do semivariograma experimental

A tela de "**Relatório de Dados**" apresenta um conjunto de informações, tais como: o tipo de modelo teórico escolhido, os valores de *Efeito Pepita*, *Contribuição* e *Alcance* que são parâmetros que compõem o modelo. É expresso também o valor de Akaike, que é um indicador do ajuste realizado; pois quanto menor seu valor melhor o ajuste. Então, os parâmetros *Efeito Pepita*, *Contribuição* e *Alcance* são sempre tomados com relação ao menor valor de Akaike.

## 2.3 Validação do modelo de ajuste

O processo de validação do modelo de ajuste é uma etapa que precede as técnicas de krigagem. Seu principal objetivo é avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos (Figura 5).

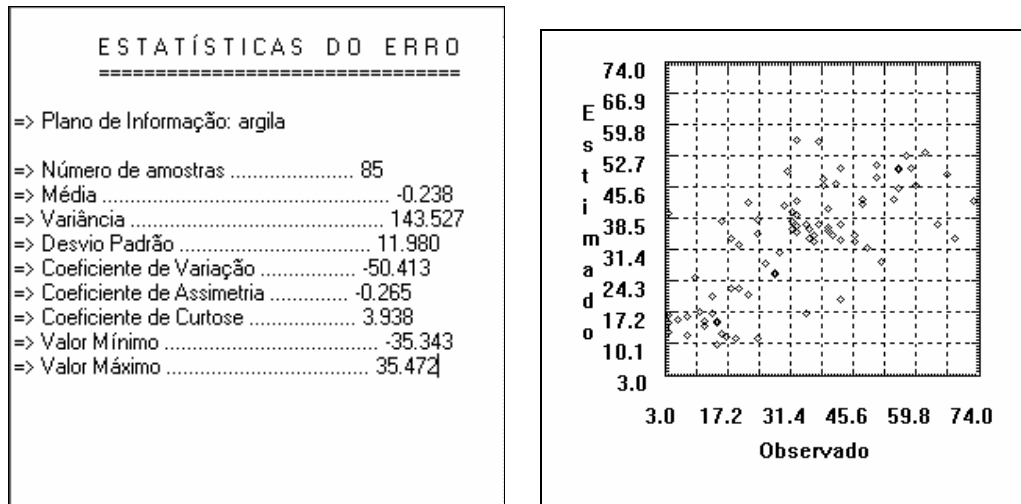


Figura 5. Análise dos erros

## 2.4 Interpolação por krigeagem ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigeagem (Figura 6).

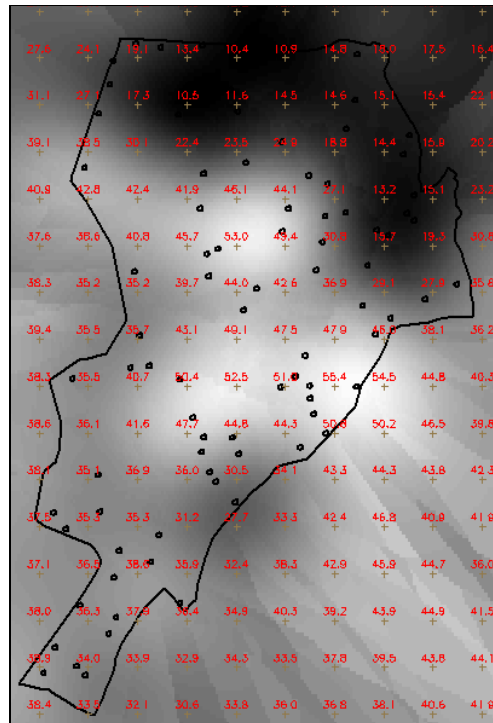


Figura 6. Imagem e grade resultante da krigeagem ordinária

### 2.5 Visualização da superfície de argila

A análise geoestatística é seguida da análise da variação gerada pelo modelo e posterior fatiamento da grade (Figura 7).

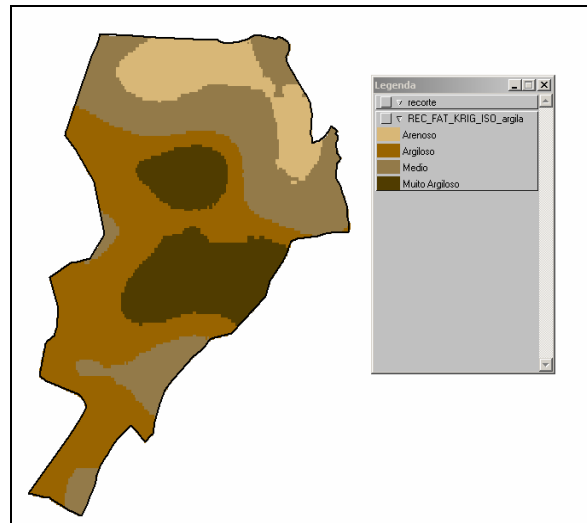


Figura 7. Fatiamento da grade gerada

### 3 Caso anisotrópico

A anisotropia em propriedades naturais é um caso muito freqüente de ser observado. Neste caso, a anisotropia, pode ser facilmente constatada através da observação da superfície de semivariograma,

#### 3.1 Detecção da anisotropia

A superfície de semivariograma é um gráfico, 2D, que fornece uma visão geral da variabilidade espacial do fenômeno em estudo. É utilizado para detectar os eixos de Anisotropia, isto é, as direções de maior e menor continuidade espacial da propriedade em análise. Também conhecido como *Mapa de Semivariograma*.

A Figura 8 mostra a detecção dos eixos de maior e menor variação dos dados. Os ângulos criados pelos vetores de maior variabilidade e o de menor variabilidade parecem situar-se em torno de 15° e 105° respectivamente.

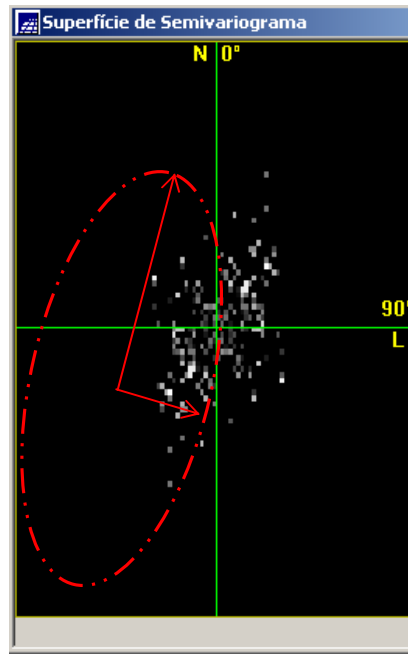


Figura 8. Detecção de anisotropia.

### 3.2 Geração dos semivariogramas direcionais

A Figura 9 mostra a geração do semivariograma para o caso da detecção da presença de anisotropia.

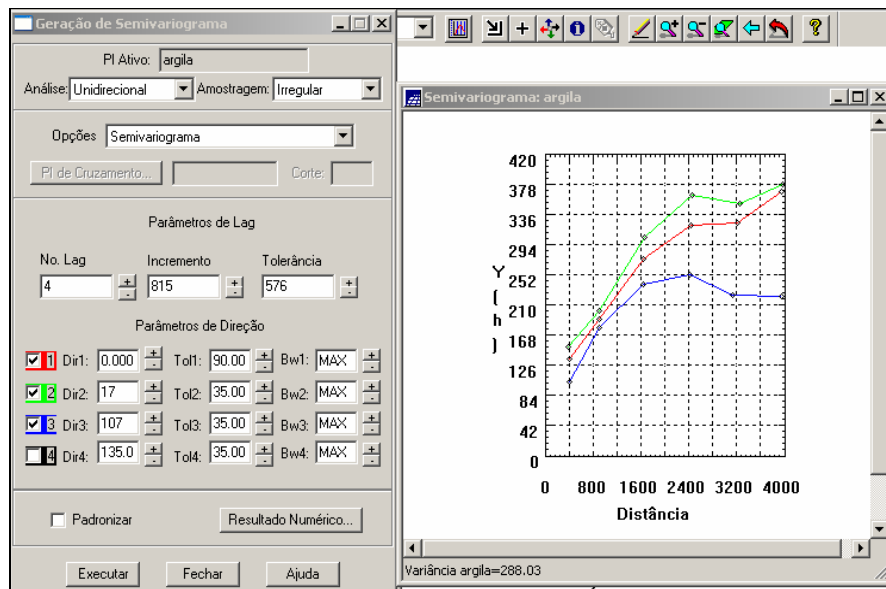


Figura 9. Geração do semivariograma.



### 3.3 Modelagem dos semivariogramas direcionais

A Figura 10 mostra a modelagem dos semivariogramas direcionais.

The image shows a dialog box titled "Parâmetros Estruturais" with the following settings:

- Parâmetros:**
  - Número de Estruturas: 3 (selected)
  - Efeito Pepita: 28
- Primeira Estrutura:**
  - Tipo: Estérico
  - Contribuição: 63
  - Ângulo Anis.: 17
  - Alcance Máx.: 1677
  - Alcance Mín.: .00001
- Segunda Estrutura:**
  - Tipo: Estérico
  - Contribuição: 140
  - Ângulo Anis.: 17
  - Alcance Máx.: 2962
  - Alcance Mín.: 1677
- Terceira Estrutura:**
  - Tipo: Estérico
  - Contribuição: 71
  - Ângulo Anis.: 17
  - Alcance Máx.: 00000
  - Alcance Mín.: 2962

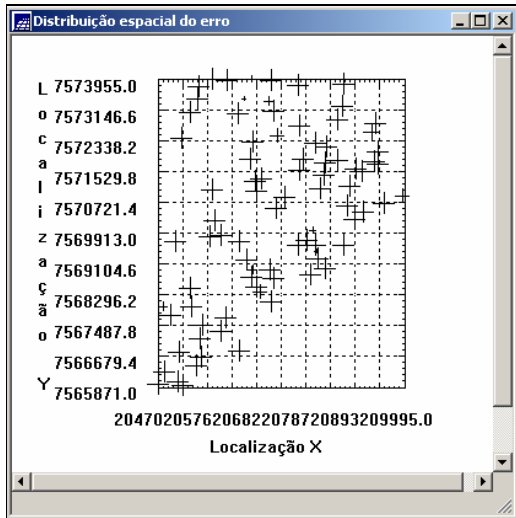
Buttons at the bottom: Executar, Fechar, Ajuda.

Figura 10. Ajuste dos semivariogramas para os vetores de maior e menor variabilidade espacial.

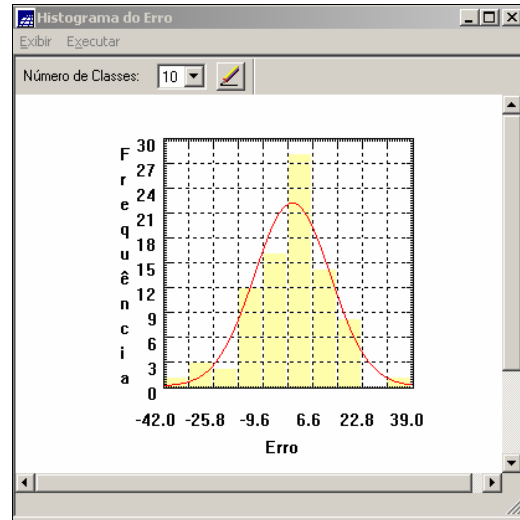
### 3.4 Validação do modelo de ajuste

O processo de validação do modelo de ajuste é uma etapa que precede as técnicas de krigagem. Seu principal objetivo é avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos (Figura 11).

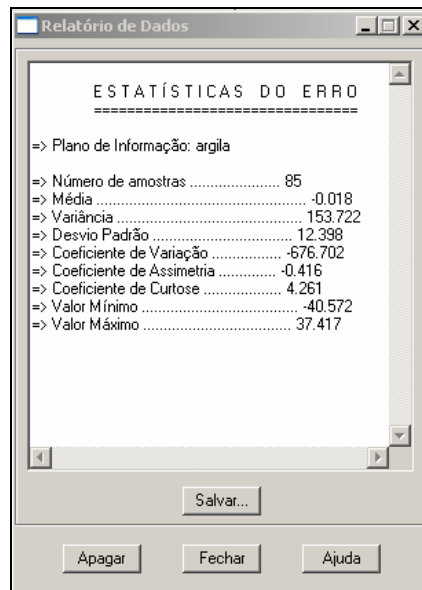
# Relatório do Laboratório 5 - Geoestatística Linear



(a)



(b)



(c)

Figura 11. (a) Diagrama espacial do erro (b) Histograma do erro (c) Estatísticas do erro

### 3.5 Interpolação por krigeagem ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigeagem. A Figura 12 mostra os resultados da interpolação levando em conta o ângulo de anisotropia e a geração do mapa temático contendo as classes de argila.

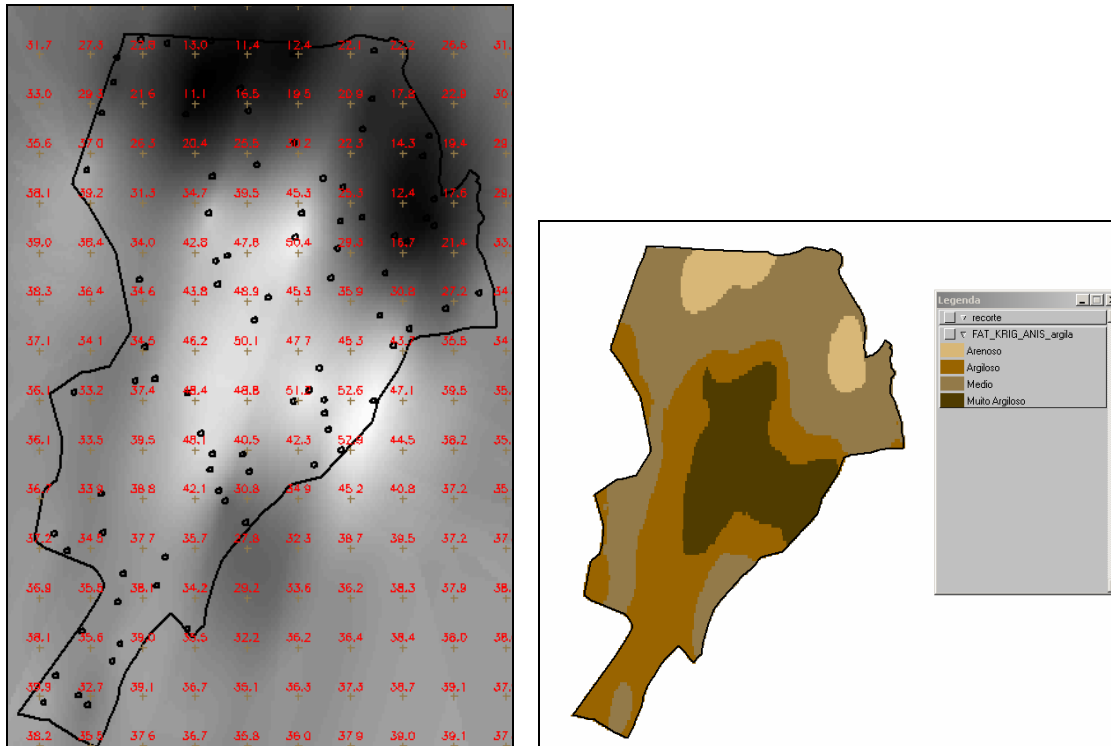


Figura 12. Interpolação considerando os ângulos de anisotropia.

#### 4 Comparação de resultados entre a krigeagem isotrópica e anisotrópica.

A Figura 13 mostra os resultados da interpolação levando em conta o ângulo de anisotropia e a geração do mapa temático contendo as classes de argila.

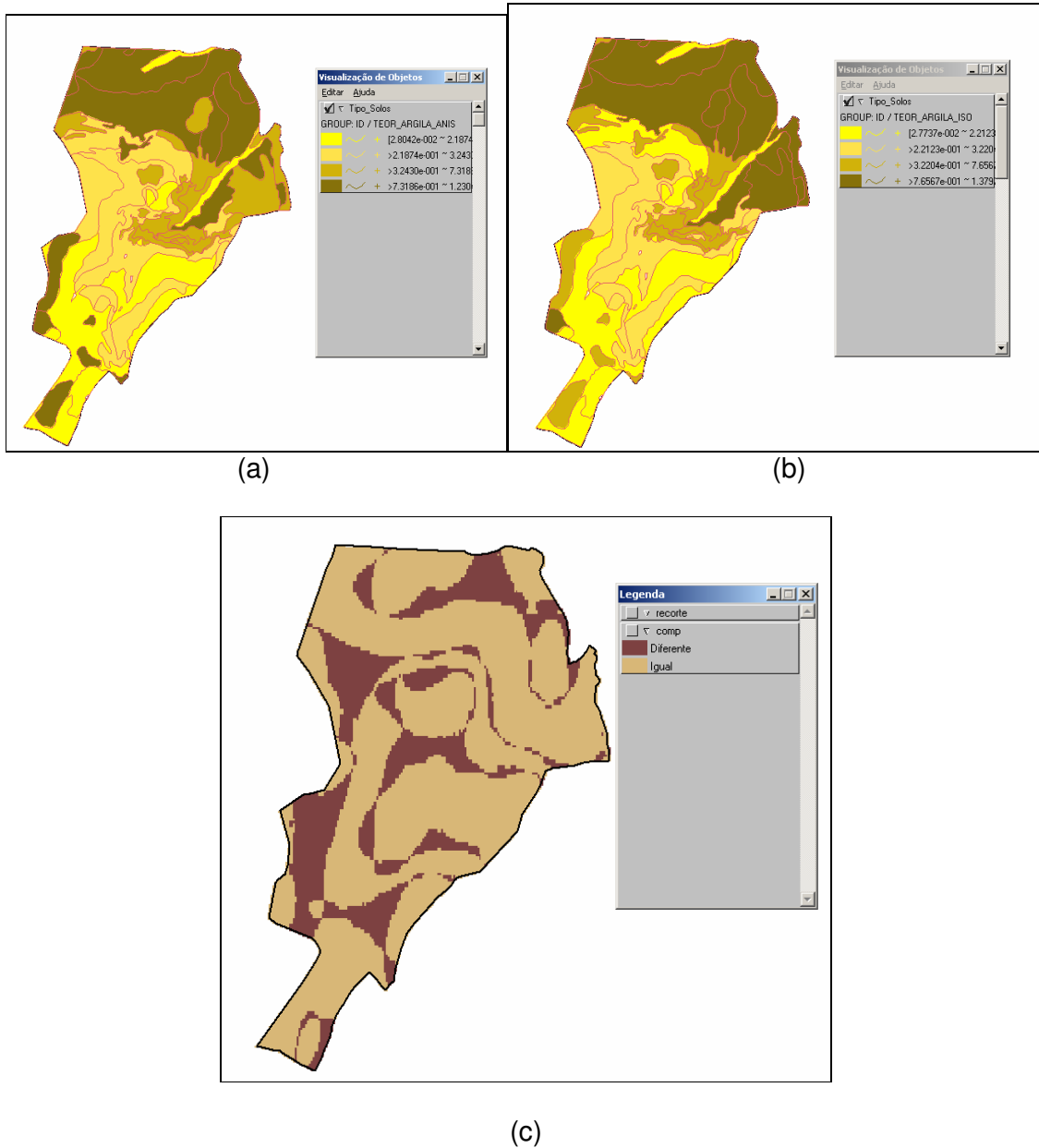


Figura 13. Teores de argila obtidos pela krigeagem a) anisotrópica e b) isotrópica e c) comparação das classificações temáticas