



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

SER300 - Introdução ao Geoprocessamento

## **Laboratório 5: Geoestatística**

Leandro Roberto

INPE  
São José dos Campos  
Junho/2014

## Introdução

Neste relatório são apresentados os procedimentos e os resultados obtidos do Laboratório 5 da disciplina Introdução ao Geoprocessamento (SER 300). Este laboratório teve como objetivo explorar através de procedimentos geoestatísticos a variabilidade espacial de propriedades naturais amostrados e distribuídos espacialmente. A seguir são descritos os procedimentos realizados neste laboratório.

### 1. Carregar os dados no Sistema Spring

Primeiro foi realizado a ativação do Banco de Dados “SaoCarlos” e do Projeto “Canchim”. Depois, foi ativado os PIs “Limites” e “Amostras\_campo” “Argila” (Figura 1).

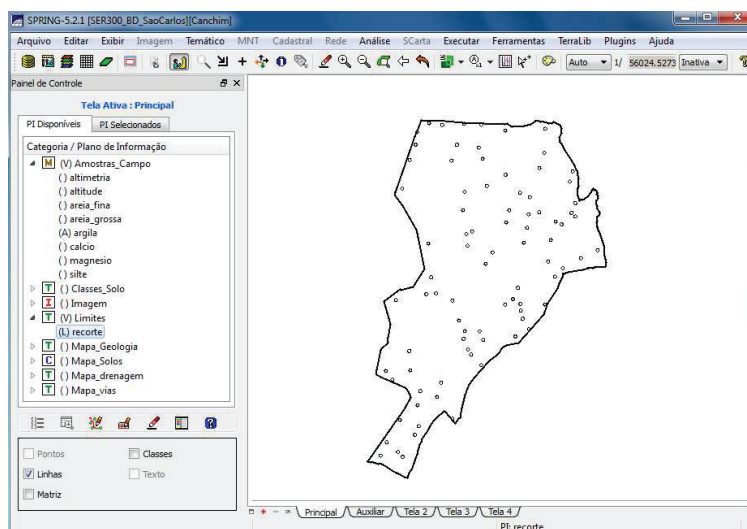


Figura 1: Visualização dos PI's selecionados.

### 2. Análise Exploratória

Nesta etapa do laboratório foi realizada a análise exploratória dos dados, executando: (1) estatísticas descritivas (Figura 2); (2) histograma (Figura 3); e (3) gráfico da probabilidade normal (Figura 4).

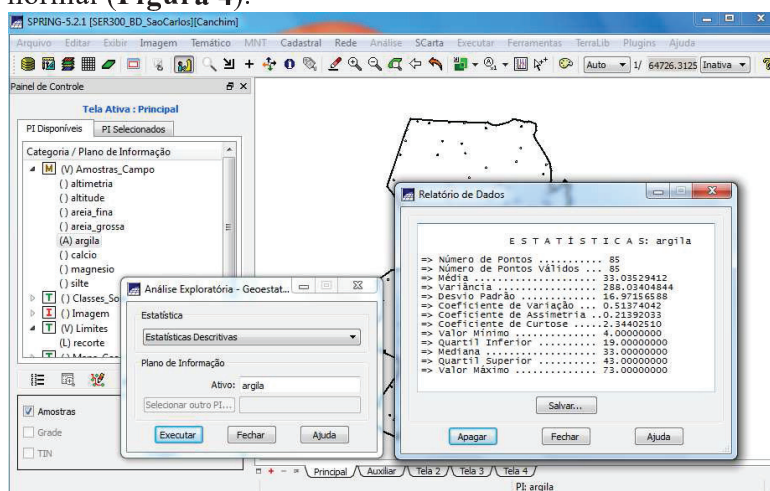


Figura 2: Executando estatísticas descritivas.

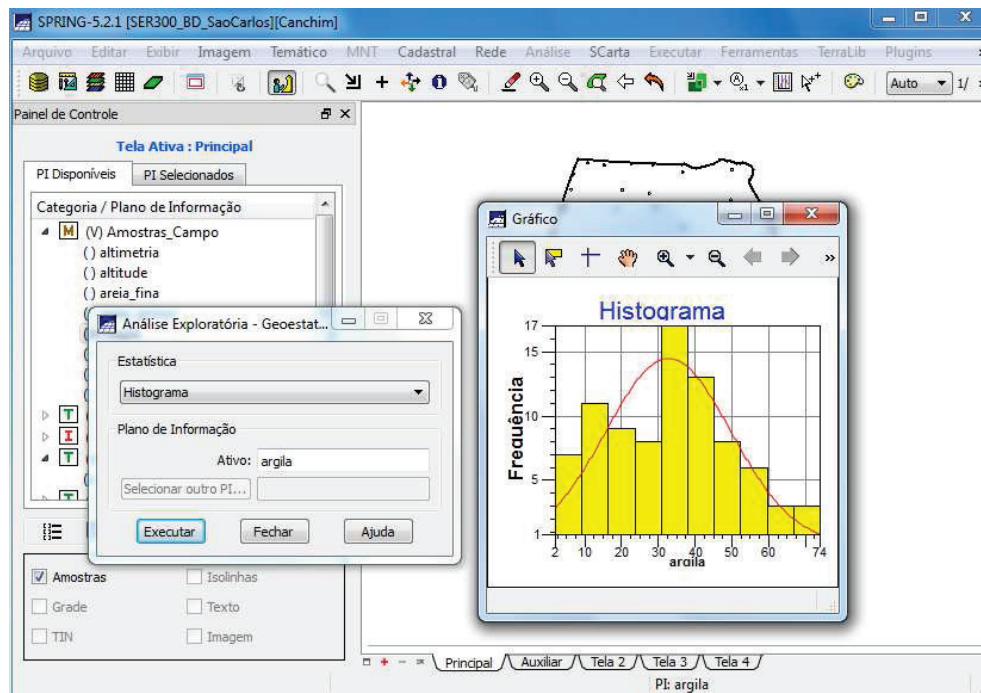


Figura 3: Executando histograma.

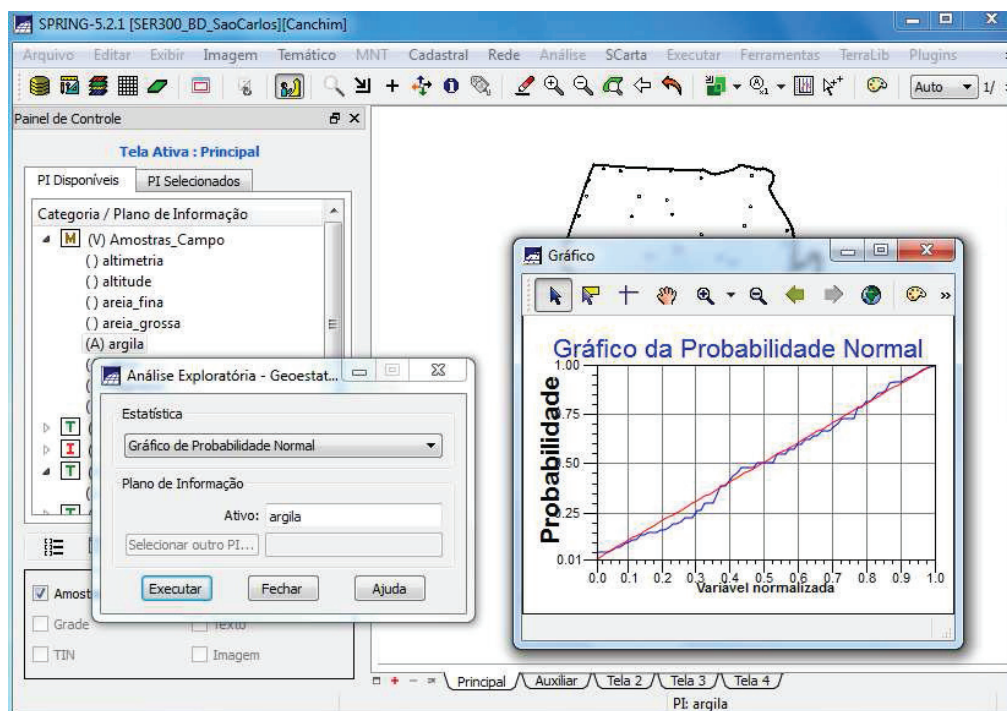


Figura 4: Executando o gráfico da probabilidade normal.

### 3. 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.

#### 3.1 Análise da Variabilidade Espacial por Semivariograma

A geração do semivariograma, primeiramente, foi realizada de acordo com os parâmetros estabelecidos. Entretanto, se observarmos a **Figura 5**, verificamos que o semivariograma possui uma variação ou forma não muito adequada quando comparado a um semivariograma ideal. Para melhorar sua forma foi necessário alterar os parâmetros de Lag. Os parâmetros de Lag foram modificados para: (a) No. Lag = 4; (b) Incremento = 968; e (c) Tolerância = 484. O resultado desta modificação pode ser observado na **Figura 6**.

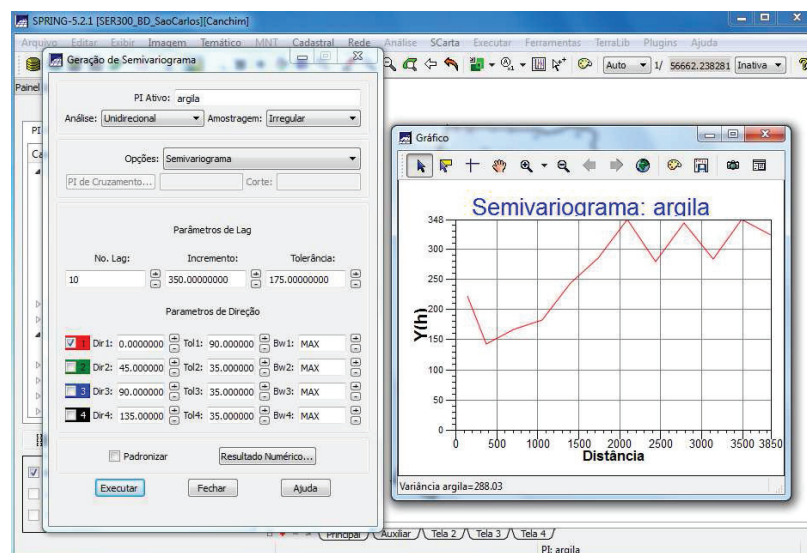


Figura 5: Geração do semivariograma.

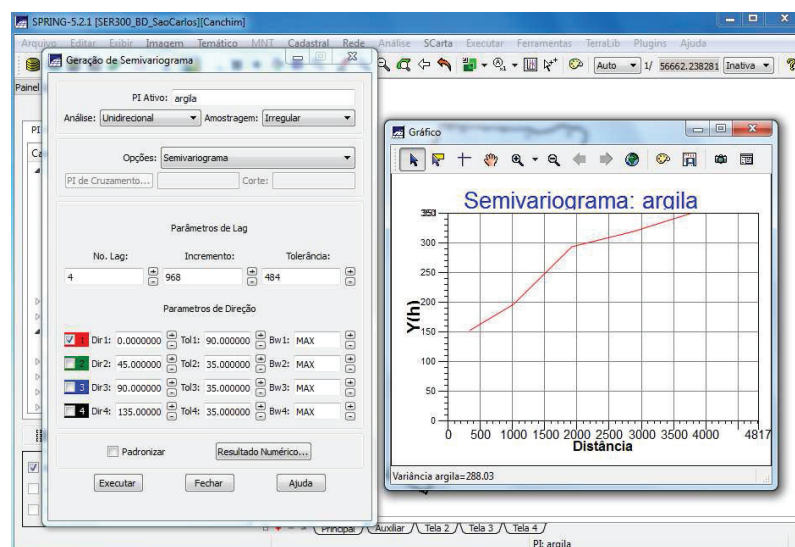
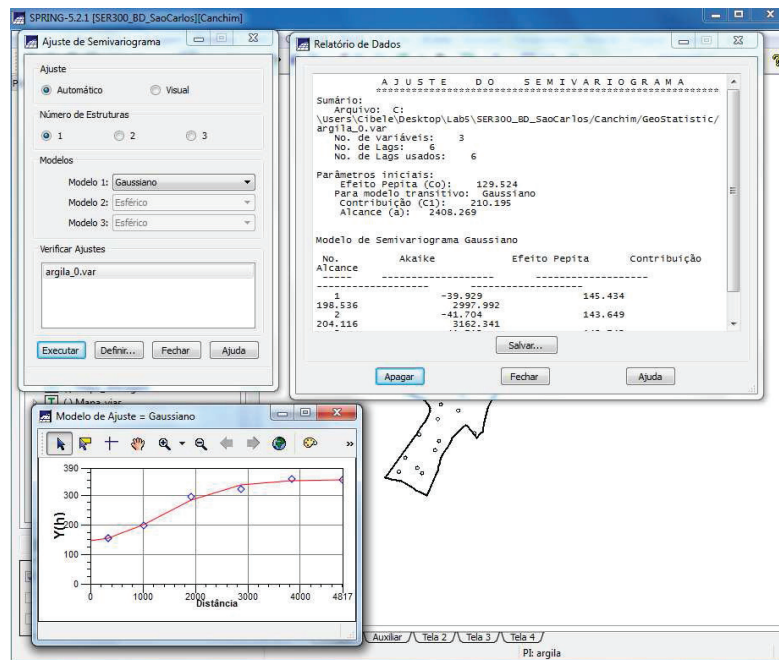


Figura 6: Geração do semivariograma com parâmetros de Lag modificados.

### 3.2 Modelagem do semivariograma experimental

A partir do semivariograma gerado, foi aplicado o modelo gaussiano, para ajustar o modelo às curvas geradas pelo semivariograma (**Figura 7**). Os parâmetros do modelo (Efeito Pepita, Contribuição e Alcance) são tomados sempre com referência ao menor valor de Akaike. Foram obtidos os seguintes valores: (a) Menor valor de Akaike: - 41.713; (b) Efeito Pepita: 143.743; (c) Contribuição: 204.454; (d) Alcance: 3176.397. Com base nestes resultados do ajuste do modelo pelo semivariograma, foram definidos os parâmetros do modelo isotrópico (**Figura 8**).



**Figura 7:** Modelo de Ajuste: Gaussiano.

The 'Parâmetros Estruturais' window shows the following parameters:

- Número de Estruturas: 1
- Efeito Pepita: 143.743
- Primeira Estrutura:
  - Tipo: Gaussiano
  - Contribuição: 204.454
  - Ângulo Anis.: 0
  - Alcance Máx.: 3176.39
  - Alcance Mín.: 3176.39
- Segunda Estrutura:
  - Tipo: Esférico
  - Contribuição:
  - Ângulo Anis.:
  - Alcance Máx.:
  - Alcance Mín.:
- Terceira Estrutura:
  - Tipo: Esférico
  - Contribuição:
  - Ângulo Anis.:
  - Alcance Máx.:
  - Alcance Mín.:

**Figura 8:** Definindo os parâmetros do modelo isotrópico.



### 3.3 Validação do Modelo de Ajuste

O processo de validação (Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12) do modelo de ajuste é uma etapa que precede as técnicas de krigeagem. Seu principal objetivo é avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos.

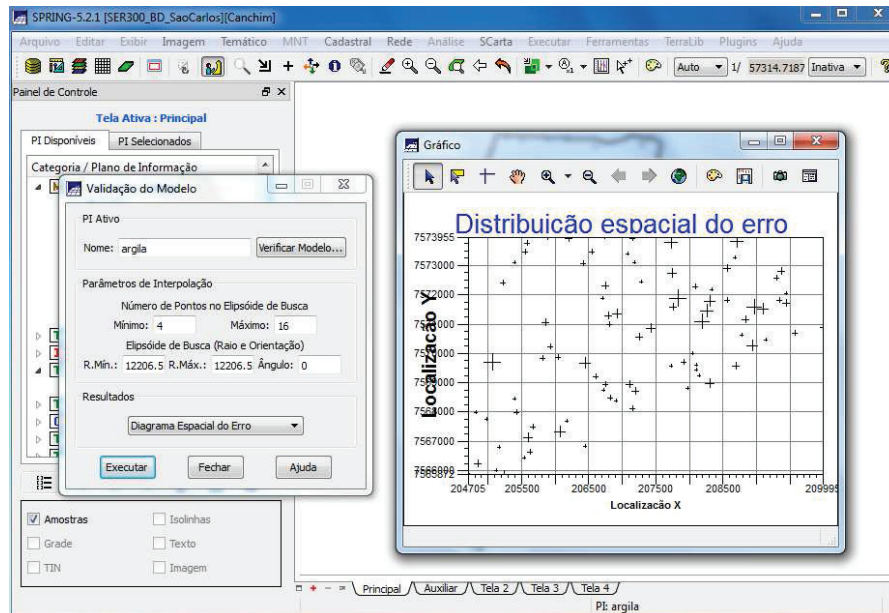


Figura 9: Diagrama Espacial do Erro.

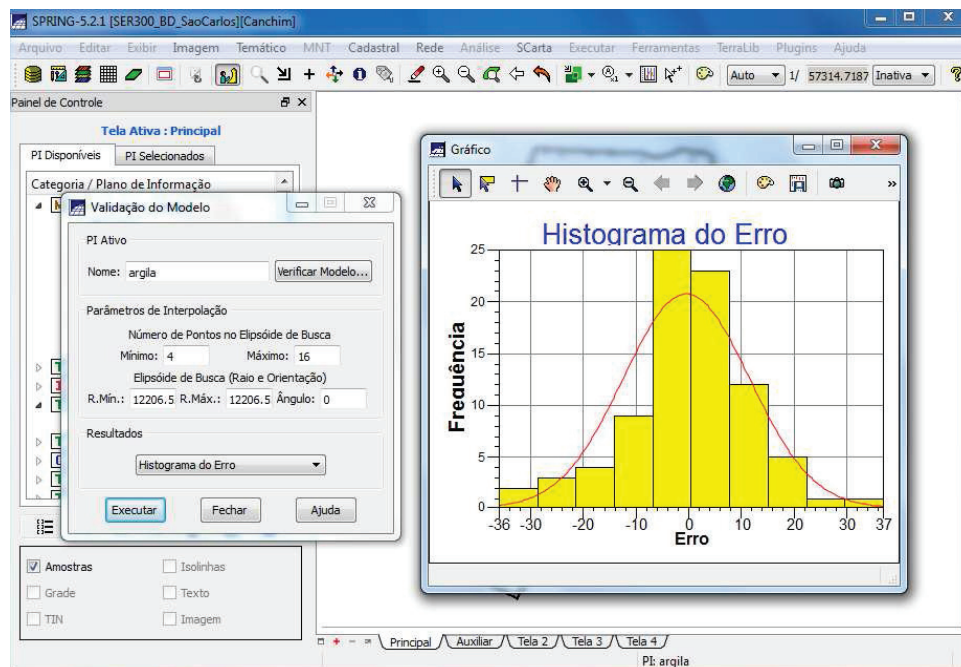


Figura 10: Histograma do Erro.

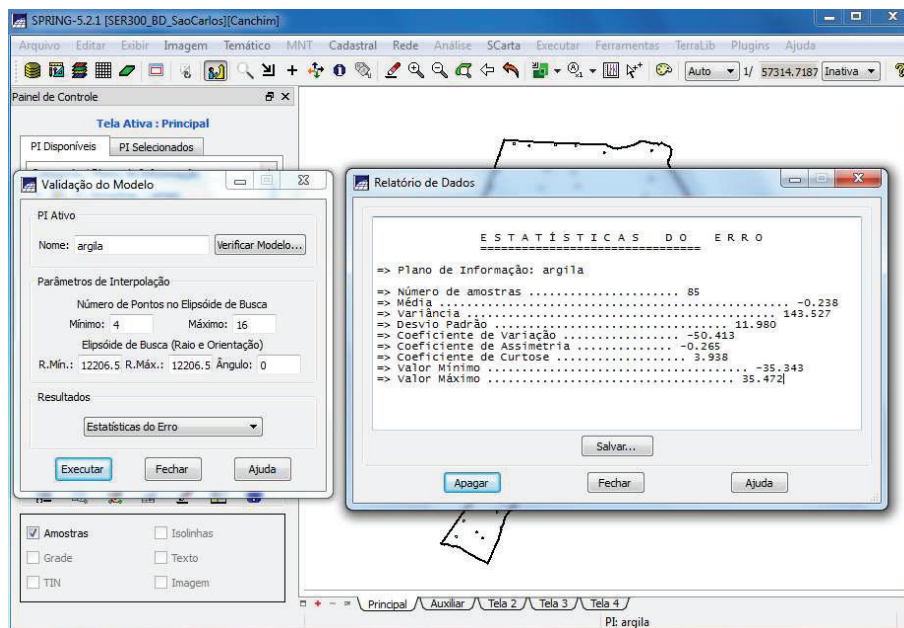


Figura 11: Estatísticas do Erro.

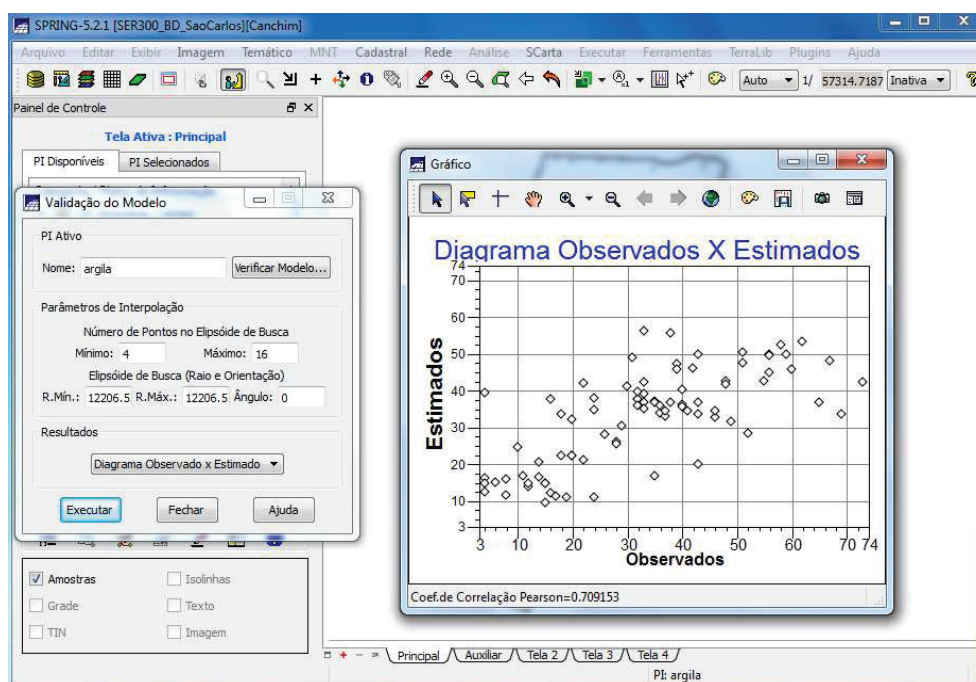
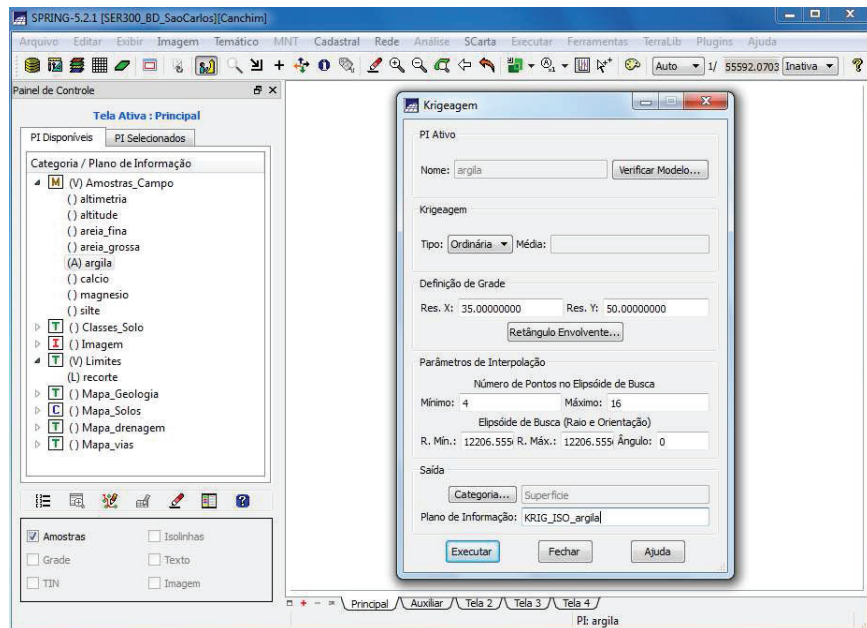


Figura 12: Diagrama de valores observados versus estimados.

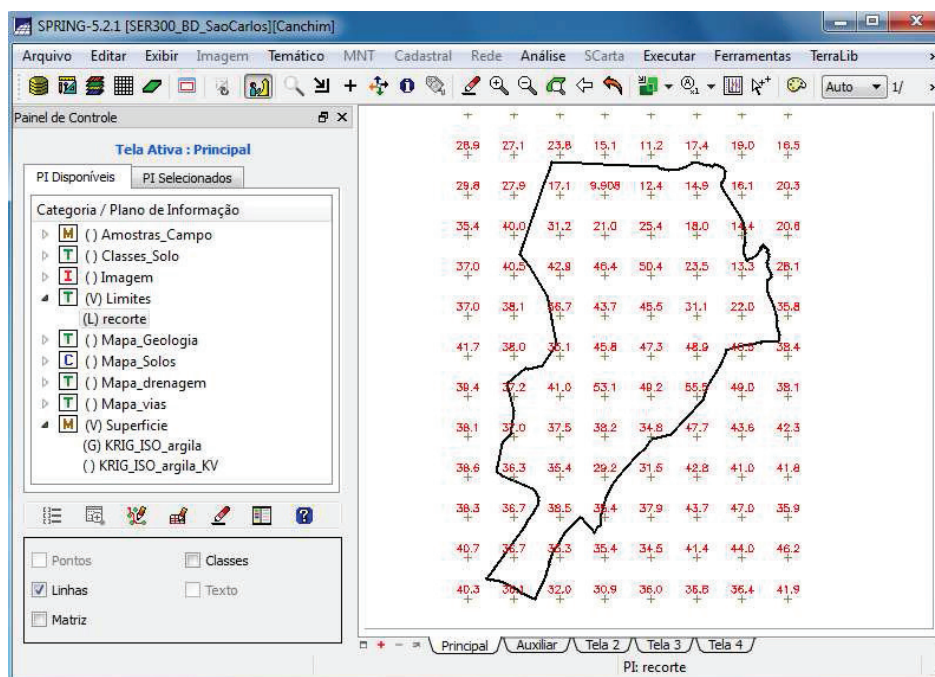
### 3.4 Interpolação por krigeagem Ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigeagem (Figura 13).



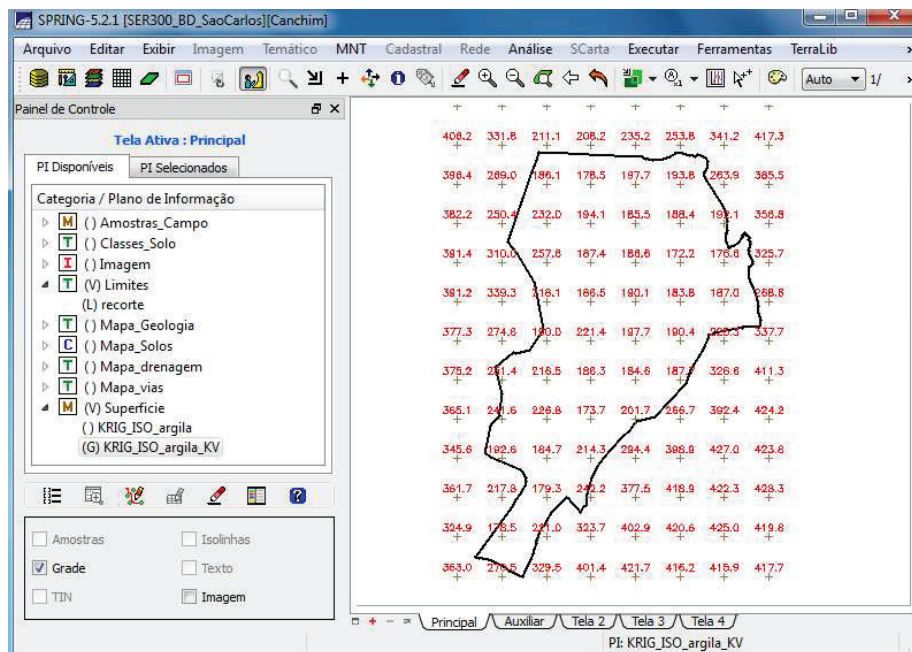
**Figura 13:** Interpolação por krigeagem ordinária.

Após executar a krigeagem observe na Interface do Painel de Controle que o Plano de Informação KRIG\_ISO\_argila, definido no passo 5, está disponível para visualização. Além disso, o PI KRIG\_ISO\_argila\_KV é gerado e refere-se à variância de Krigeagem (Figura 14 e 15).



**Figura 14:** Visualizando a grade de krigeagem gerada para a argila (KRIG\_ISO\_argila).

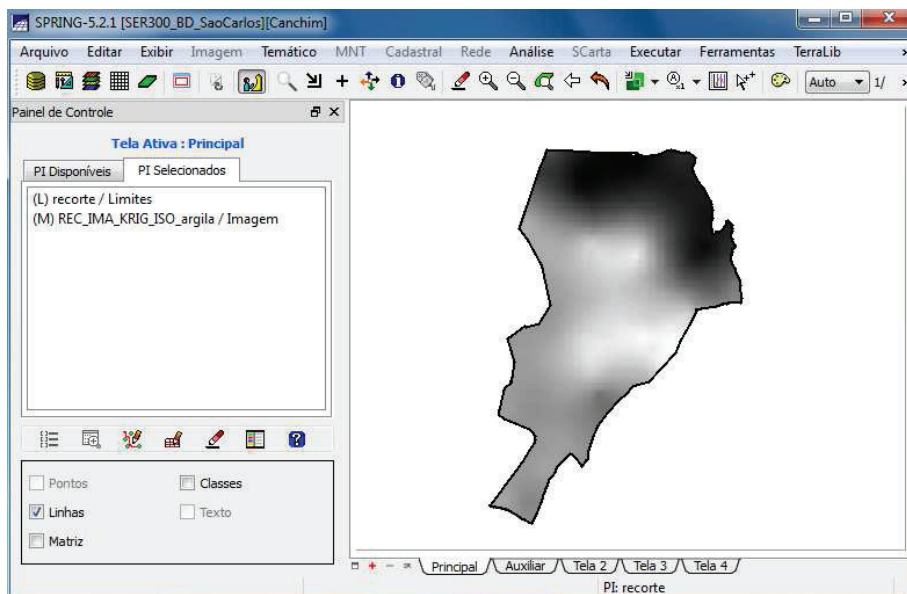




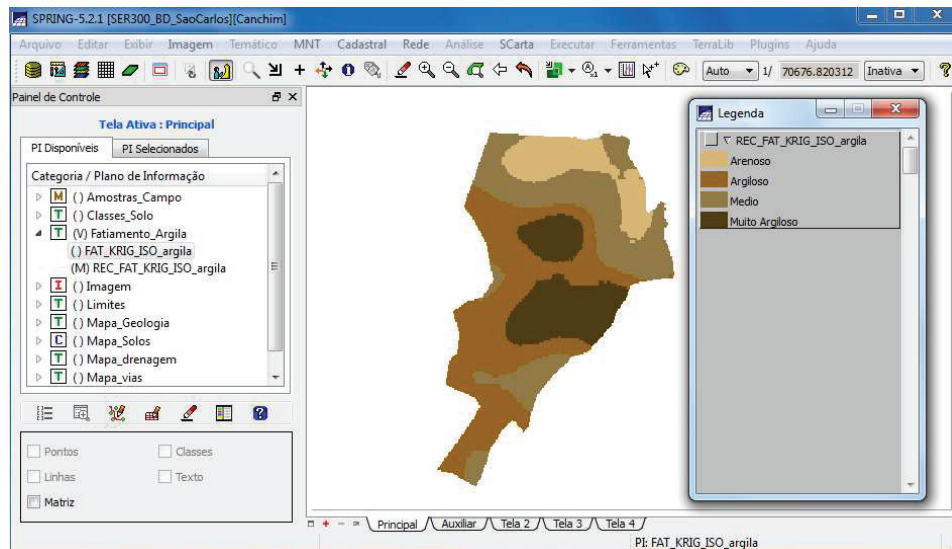
**Figura 15:** Plano de Informação KRIG\_ISO\_argila\_KV, que refere-se à variância de Krigeagem.

### 3.5 Visualização da superfície de argila

Nesta etapa, foi gerada uma imagem, a qual foi recortada, através do LEGAL, para análise da variação gerada pelo modelo (Figura 16). Em seguida, a grade foi fatiada (Figura 17).



**Figura 16:** Recorte da grade do teor de argila.



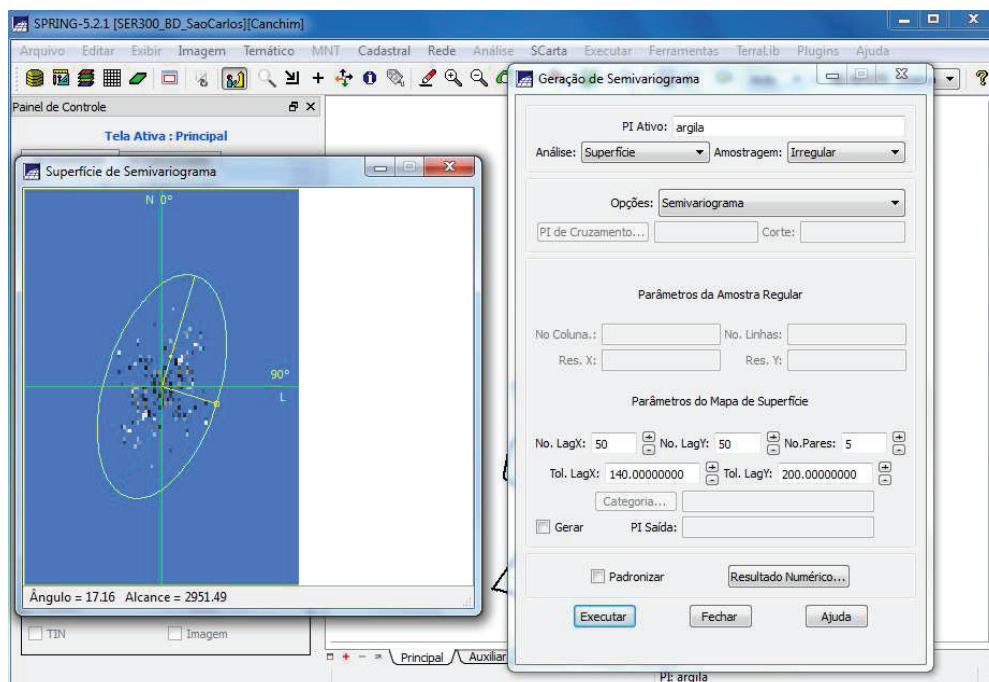
**Figura 17:** Fatiamento da grade do teor de argila.

#### 4. 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, conforme descrito a seguir.

##### 4.1 Detecção da anisotropia

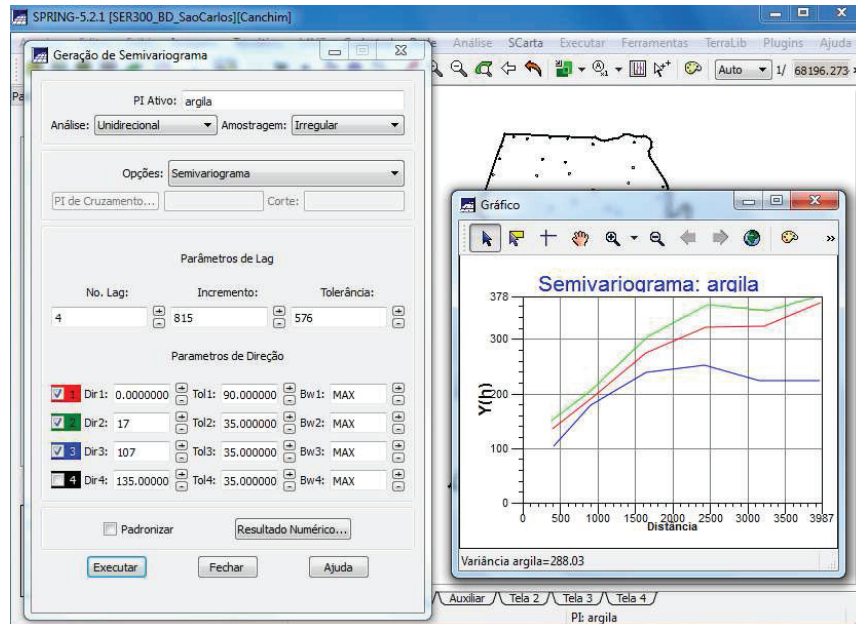
A superfície de semivariograma é um gráfico, 2D, que fornece uma visão geral da variabilidade espacial do fenômeno em estudo. É utilizado para detectar os eixos de Anisotropia, isto é, as direções de maior e menor continuidade espacial da propriedade em análise (**Figura 18**). Também conhecido como Mapa de Semivariograma.



**Figura 18:** Detecção dos eixos de anisotropia.

## 4.2 Geração dos semivariogramas direcionais

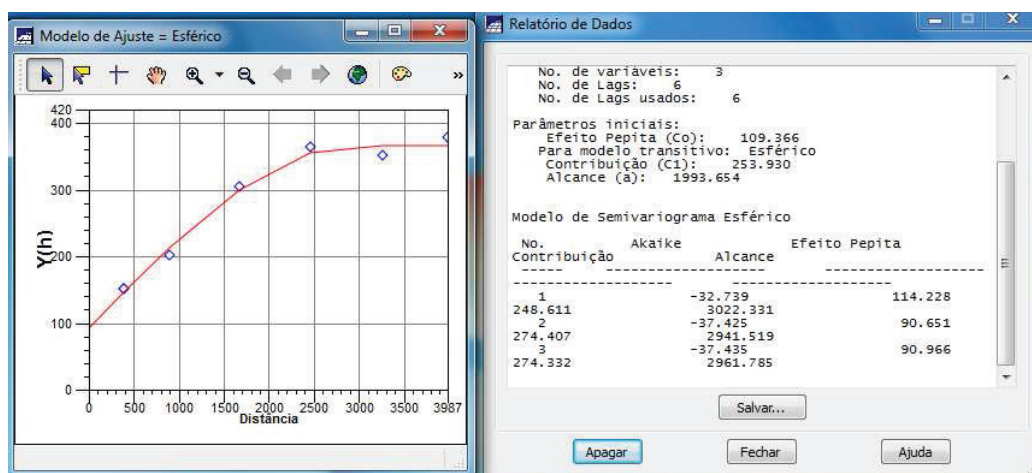
Uma vez detectado as direções da anisotropia procede-se a geração dos semivariogramas direcionais (**Figura 19**).



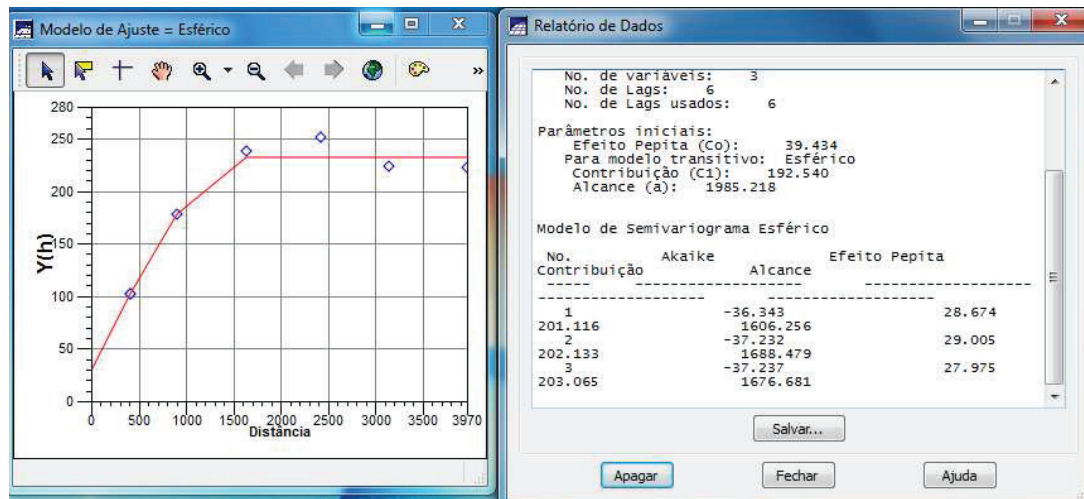
**Figura 19:** Geração dos semivariogramas direcionais.

## 4.3 Modelagem dos semivariogramas direcionais

A partir do semivariogramas experimentais direcionais, foi feita a modelagem (ajuste) esférica para a direção de maior continuidade ( $17^\circ$ ) (**Figura 20**) e de menor continuidade ( $107^\circ$ ) (**Figura 21**).



**Figura 20:** Modelagem do semivariograma na direção de maior continuidade 17 graus.



**Figura 21:** Modelagem do semivariograma na direção de menor continuidade 107 graus.

#### 4.4 Modelagem da anisotropia

Esta etapa consiste em unir os dois modelos anteriormente definidos num único modelo consistente, o qual descreva a variabilidade espacial do fenômeno em qualquer direção. Após a realização da modelagem da anisotropia, o próximo passo é gravar o modelo proposto (**Figura 22**).

**Parâmetros Estruturais**

Parâmetros

Número de Estruturas: ☐ 1 ☐ 2 ☒ 3

Efeito Pepita: 28

Primeira Estrutura

Tipo:

Contribuição: 63 Ângulo Anis.: 17

Alcance Máx.: 1677 Alcance Mín.: 0.00001

Segunda Estrutura

Tipo:

Contribuição: 140 Ângulo Anis.: 17

Alcance Máx.: 2962 Alcance Mín.: 1677

Terceira Estrutura

Tipo:

Contribuição: 71 Ângulo Anis.: 17

Alcance Máx.: 100000 Alcance Mín.: 2962

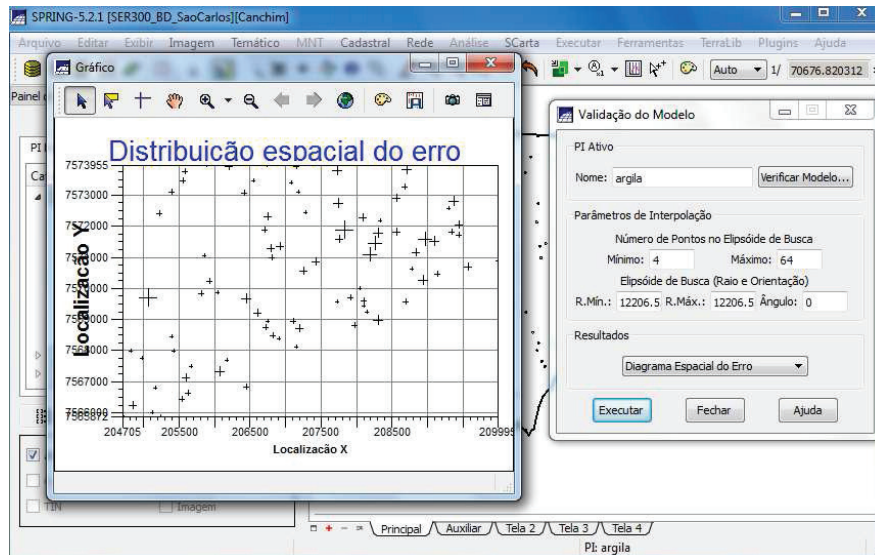
Salvar Fechar Ajuda

**Figura 22:** Interface de Parâmetros Estruturais.

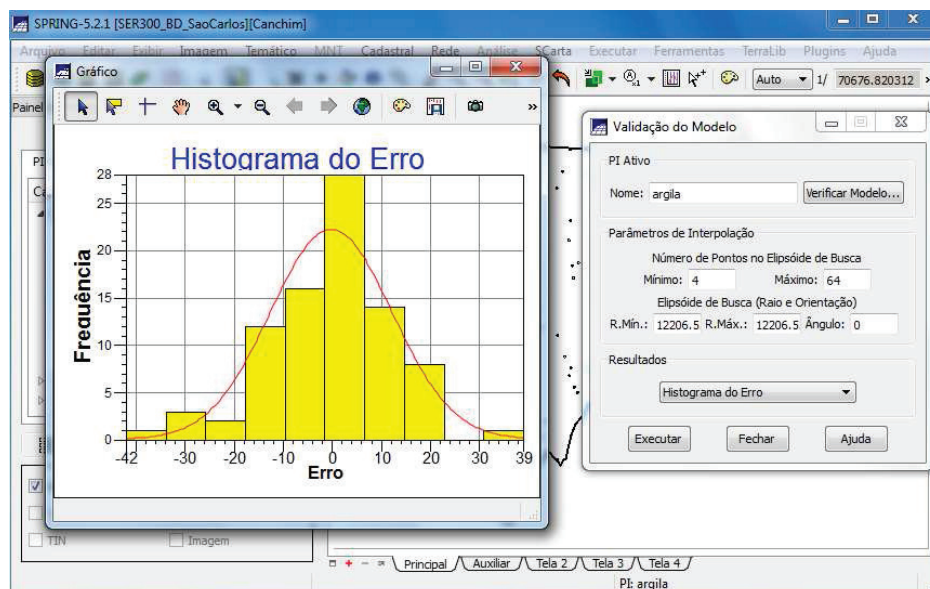


#### 4.5 Validação do modelo de ajuste

O processo de validação do modelo de ajuste (**Figura 23, 24, 25 e 26**) 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 23:** Diagrama Espacial do Erro.



**Figura 24:** Histograma do Erro.



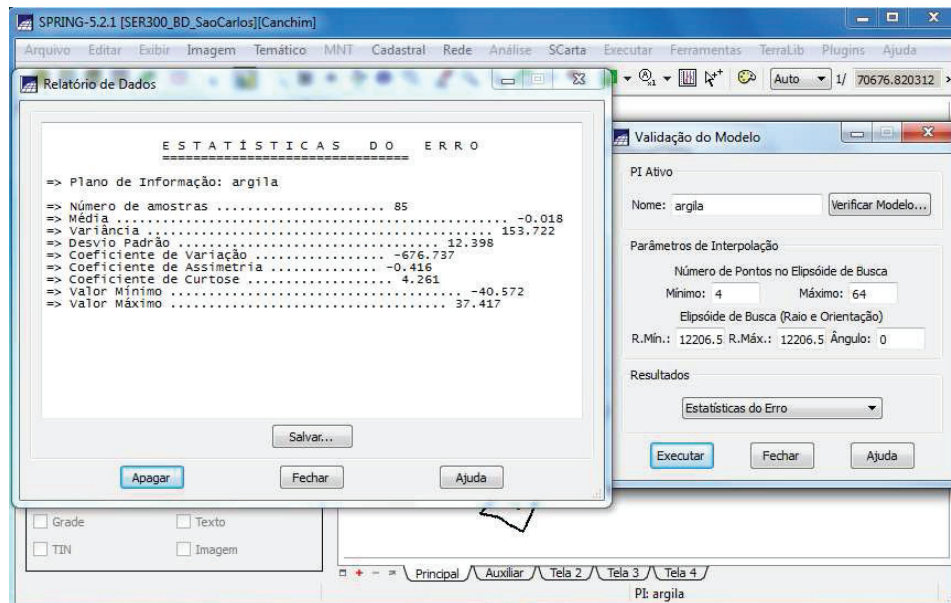


Figura 25: Estatísticas do Erro.

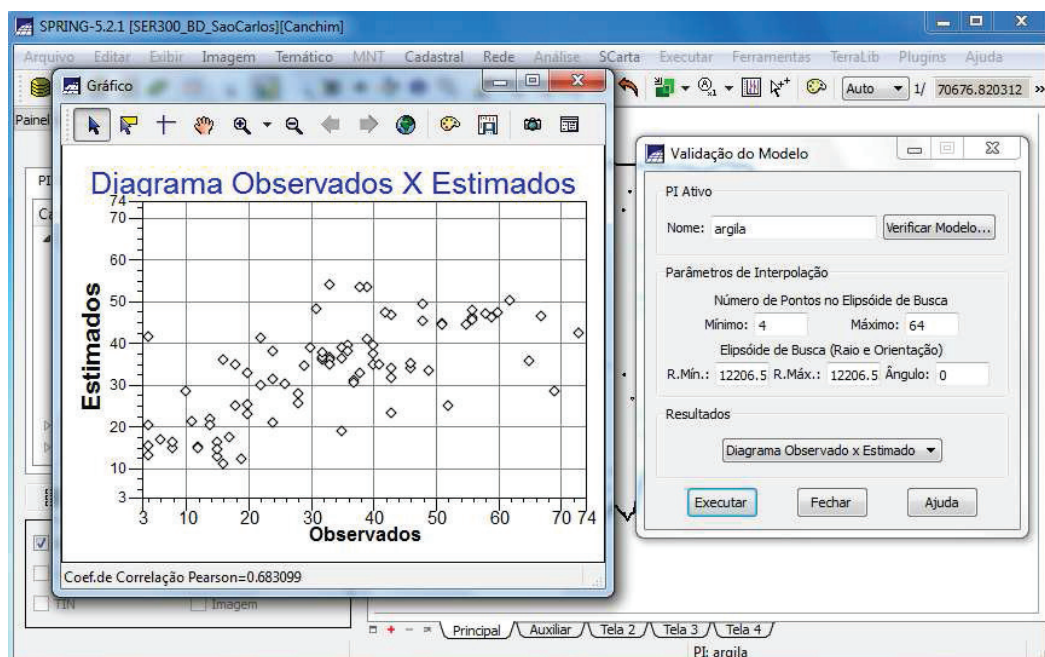
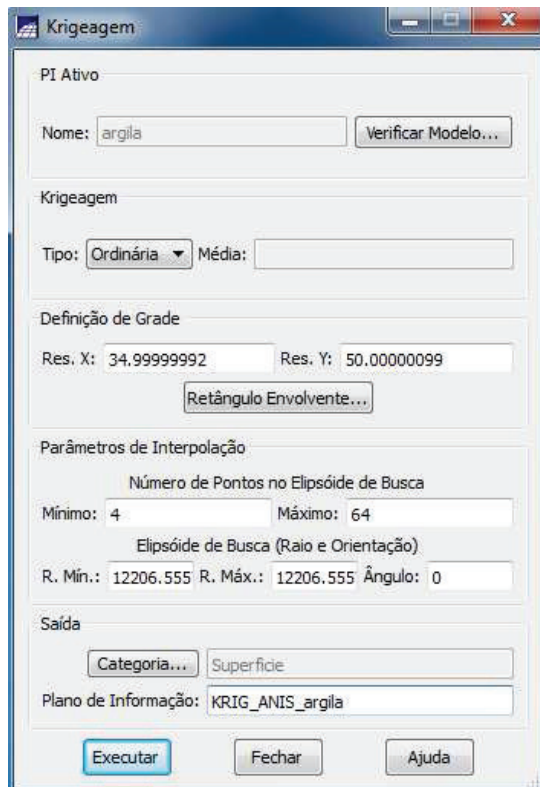


Figura 26: Diagrama de valores Observados versus Estimados.

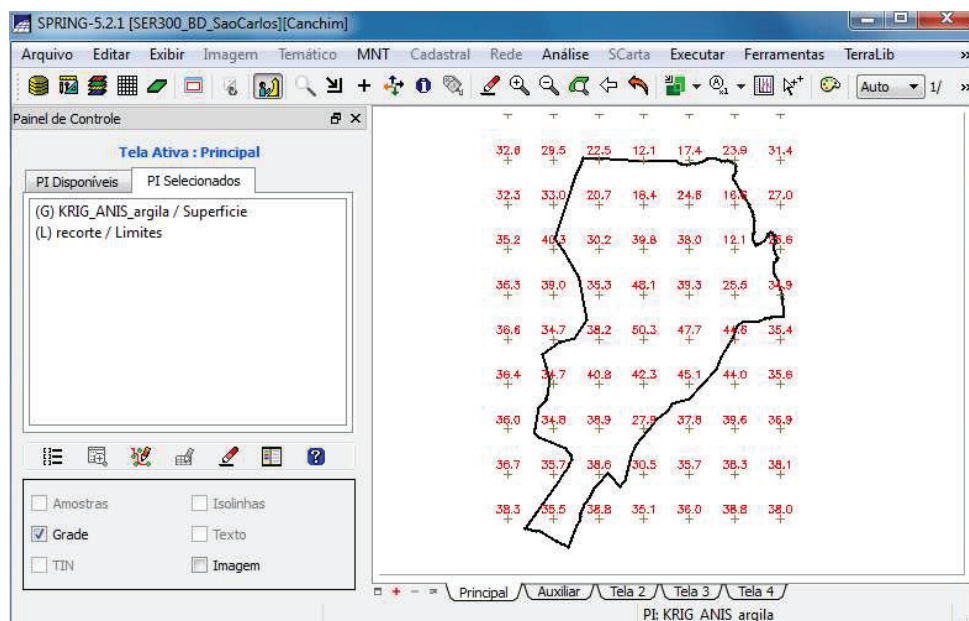
#### 4.6 Interpolação por krigeagem ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigeagem (**Figura 27**).

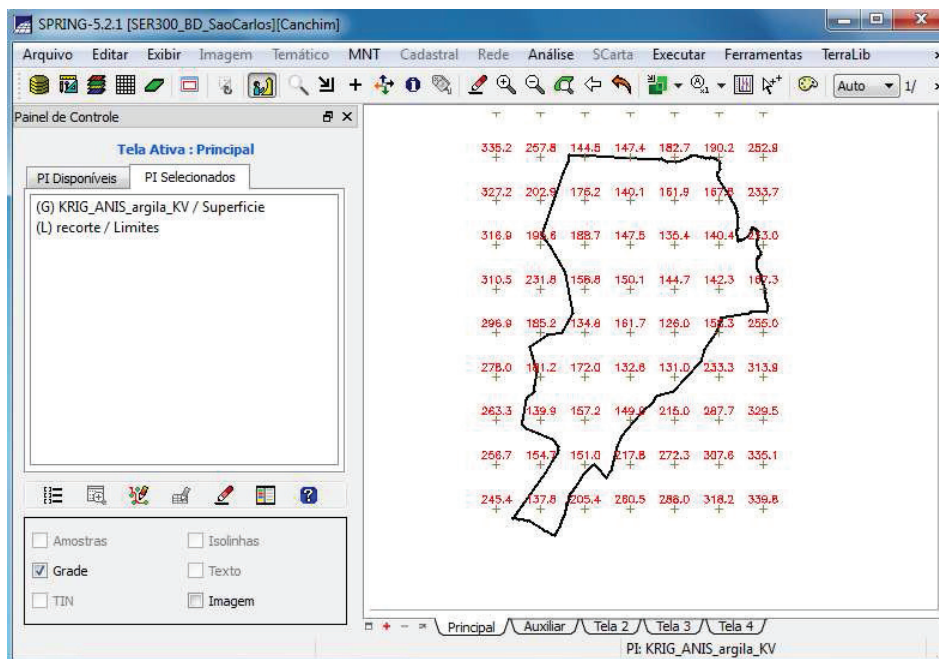


**Figura 27:** Interpolação por krigagem ordinária.

Após executar a krigagem observe na Interface do Painel de Controle que o Plano de Informação KRIG\_ANIS\_argila (**Figura 28**) está disponível para visualização. Além disso, o PI KRIG\_ANIS\_argila\_KV (**Figura 29**) é gerado e refere-se à variância de Krigagem.



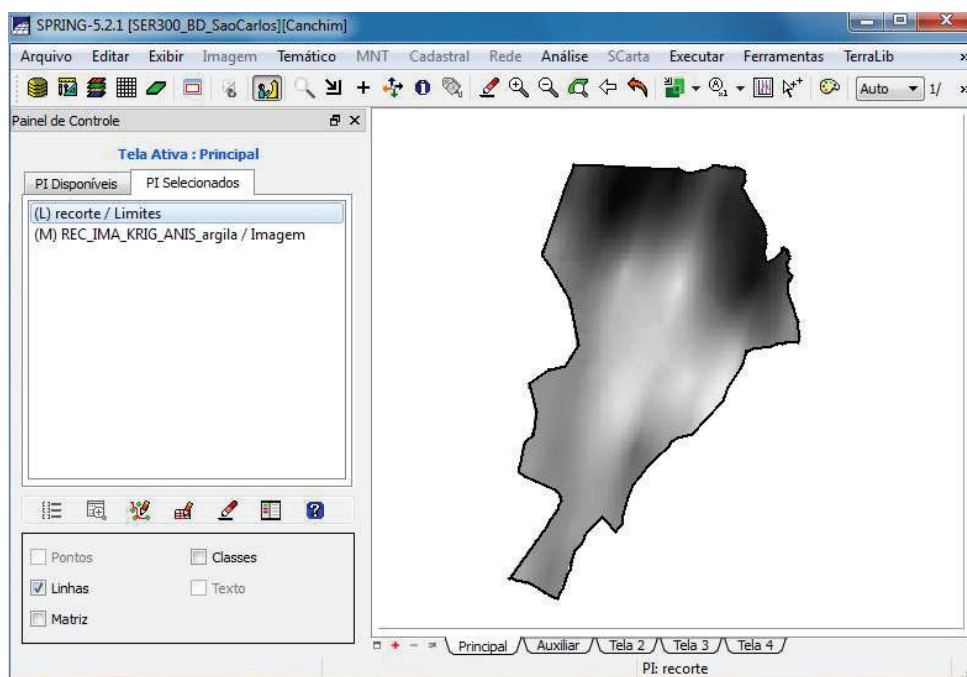
**Figura 28:** Visualizando a grade de krigagem, oriunda de um modelo anisotrópico, gerada para o teor de argila (KRIG\_ANIS\_argila).



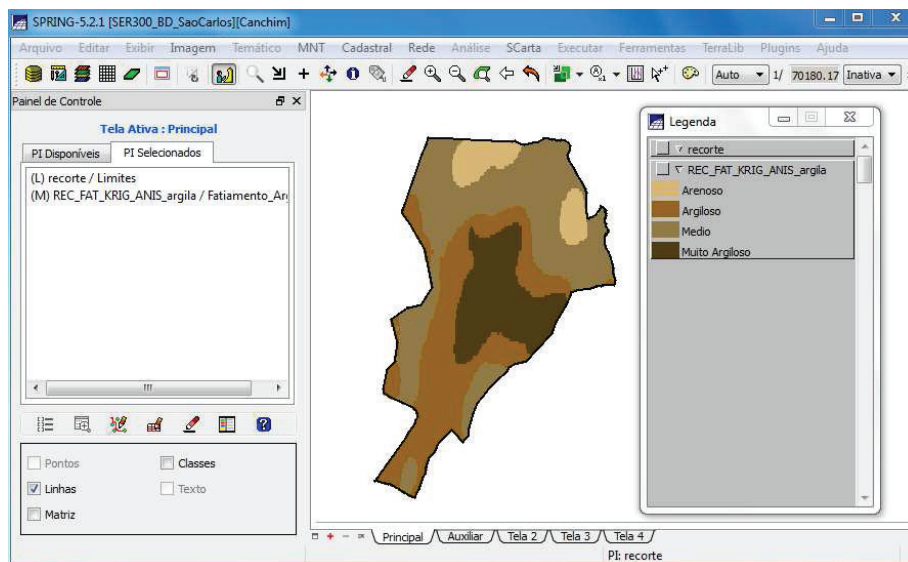
**Figura 29:** Plano de Informação KRIG\_ANIS\_argila\_KV, que refere-se à variância de Krigagem.

#### 4.7 Visualização da superfície de argila oriunda do modelo anisotrópico.

Nesta etapa, foi gerada uma imagem, a qual foi recortada, para análise da variação gerada pelo modelo (**Figura 30**). Em seguida, a grade foi fatiada (**Figura 31**).



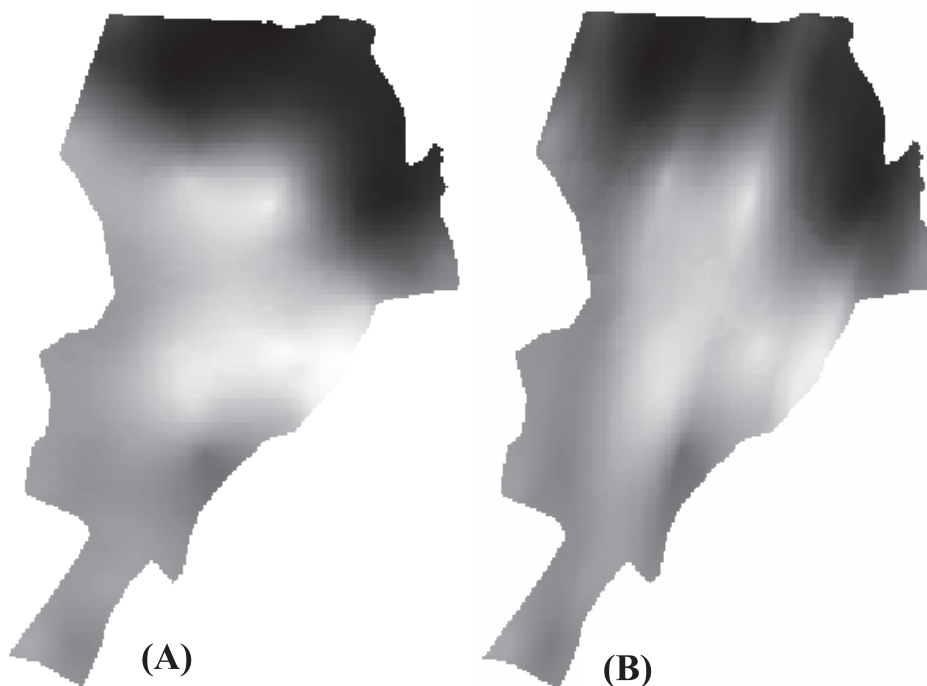
**Figura 30:** Recorte da grade do teor de argila.



**Figura 31:** Fatiamento da grade do teor de argila.

## 5. Análise dos resultados

Comparando a variabilidade espacial, do teor de argila, entre o caso isotrópico e anisotrópico (**Figura 32**).



**Figura 32:** Em (a) caso isotrópico e (b) caso anisotrópico.