



Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas

PAULO M. BARBOSA LANDIM

Professor Voluntário do Depto. Geologia Aplicada
UNESP/Rio Claro

UNESP/campus de Rio Claro
Departamento de Geologia Aplicada - IGCE
— Laboratório de Geomatématica —
Texto Didático 02
2000

Reprodução autorizada desde que citada a fonte

Norma 6023-2000/ABNT (<http://www.abnt.org.br>):

LANDIM, P.M.B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas.

DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 02, 20 pp. 2000. Disponível em

<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>.

MÉTODOS DE ESTIMATIVA ESPACIAL PARA CONFECÇÃO DE MAPAS

• Natureza dos dados geológicos

- qualitativos: cor do solo
grau de alteração
mineralogia
tipo de rocha
textura
estrutura, etc.
- quantitativos: teor de elementos maior e/ou traço
propriedades físicas de rochas
espessura de camadas
medidas geofísicas
dados de aerolevantamentos, etc.

• Interpolação

- procedimento matemático de ajuste de uma função à pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados
- definição do reticulado, espaçamento e origem
- reticulagem estimando o valor de cada nó por seleção de pontos próximos com valores conhecidos
- observações discretas em rede de amostragem
- filtragem dos valores dos nós de modo a suavizar os contornos resultantes e permitir o melhor ajuste com os valores originais
- resultado: mapas e sistemas de informações georreferenciadas
- interpoladores exatos (resíduo nulo) e aproximados (algum resíduo)

• Campo de validade da interpolação

- geológica (soft data)
- quantitativa (hard data)

• Métodos de interpolação

- funções globais: consideram todos os pontos da área; permite interpolar o valor da função em qualquer ponto dentro do domínio dos dados originais; a adição ou remoção de um valor terá conseqüências no domínio de definição da função
 - polinômios
 - equações multiquádricas
- funções locais: definidas para porções do mapa; alteração de um valor afetará localmente os pontos próximos ao mesmo
 - triangulação
 - inverso da potência das distâncias
 - base radial (krigagem, multiquádrica-biharmônica, splines)

• Avaliação dos métodos de interpolação

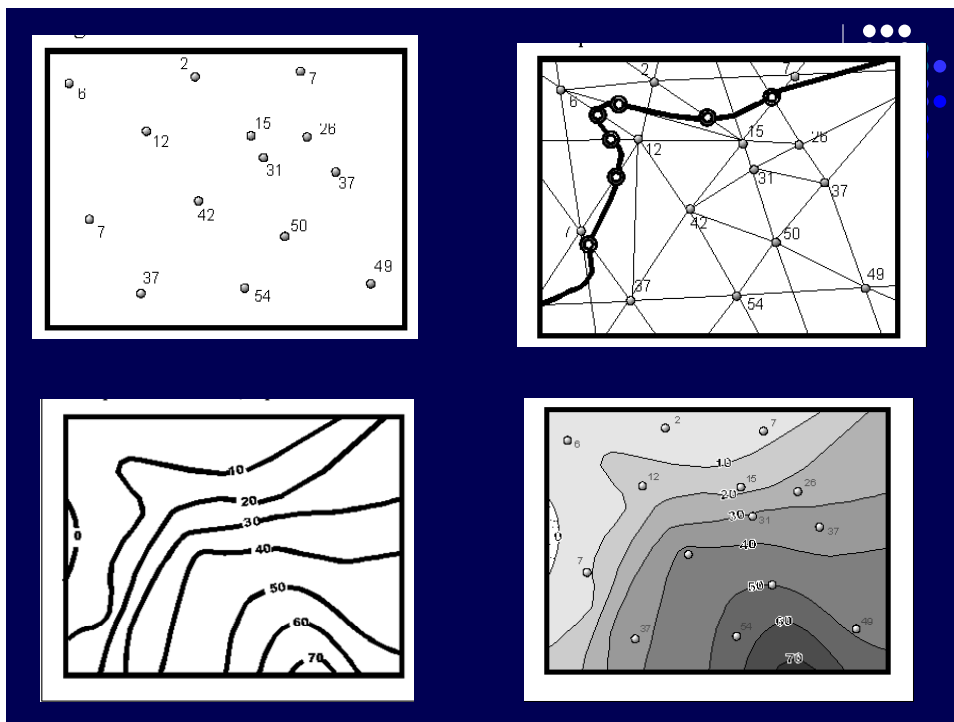
- Um método é "melhor" do que outro?
- Quão fiel aos dados originais é o resultado obtido?
- A superfície estimada representa uma solução plausível?
- resultado é esteticamente agradável?

- **Interpolação ideal**

- superfície interpolada ajusta-se aos dados a um determinado nível de precisão, ou seja, é fiel aos dados dentro de um limite arbitrário definido pelo usuário
- superfície interpolada é contínua e suave em todos os locais, ou seja, tem um gradiente finito em todo local onde a interpolação for necessária
- cada valor interpolado depende apenas do subgrupo local de dados, e os membros deste subgrupo são determinados somente pela configuração dos dados que, de algum modo, são próximos ao ponto interpolado
- método de interpolação pode ser aplicado à todas as configurações e padrões de densidade dos dados.

MÉTODOS DE ESTIMATIVA PARA MODELAGEM DE SUPERFÍCIES

- **TRIANGULAÇÃO:** conecta pontos amostrados através de triângulos e interpola os valores entre eles; são considerados métodos de estimação diretos, pois os contornos derivam do padrão original dos dados; não permite a extrapolação, as estimativas limitam-se estritamente à área amostrada.



- **RETICULAÇÃO (GRIDDING):** estabelece uma grade regular (*grid*) sobre a área estudada e calcula os valores nos nós do reticulado com base nos valores dos pontos já amostrados; são considerados métodos de estimação indiretos, uma vez que os contornos são construídos a partir dos dados estimados para os nós da grade e não a partir dos dados originais; permite tanto a interpolação quanto a extrapolação de valores

um algoritmo matemático é utilizado para ajustar uma superfície através dos dados estimados para os nós; há um grande número de algoritmos e os mais utilizados são *triangulação linear*, *inverso ponderado da distância*, *mínima curvatura*, *regressão polinomial* e *krigagem*;

Razões para estimar por reticulação	Razões para não fazê-lo
<ul style="list-style-type: none"> • a partir de dados irregularmente amostrados são originados um número maior dispostos em rede regular • extrapola a superfície estimada para além dos limites da área amostrada • possui dados regularmente espaçados para: <ul style="list-style-type: none"> • obter melhores isolinhas ; • realizar operações matemáticas entre <i>grids</i> utilizando operadores +, -, *, /, ^ ou operadores booleanos • conforme o método de estimação selecionado pode-se 'suavizar ou realçar' a variabilidade da superfície estimada. 	<ul style="list-style-type: none"> • os valores podem ser extrapolados de forma incorreta nas áreas com pouco ou nenhum dado; como resultado, a precisão pode ser sacrificada e os contornos inválidos. • descontinuidades são dificilmente modeladas • artefatos (<i>artifacts</i>) podem ser introduzidos; padrões 'fantasma' não reais: <ul style="list-style-type: none"> • ruídos (<i>noise</i>) matemáticos; • ondulações irreais na superfície em áreas entre pontos amostrados irregularmente. • muitas tentativas podem ser necessárias para identificar a melhor opção.

• TRIANGULAÇÃO LINEAR

- pares de dados são unidos por linhas retas para formação de uma rede triangular (*triangular network*);
- uma equação matemática (algoritmo) é utilizada para ajustar uma superfície através dos pontos de dados; vários algoritmos encontram-se disponíveis, mas os mais utilizados são a triangulação linear e a de Delaunay.
- pontos estimados de igual valor (isovalores) entre os dados medidos e posicionados nos vértices dos triângulos são conectados para os intervalos especificados.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • fácil de ser entendido • rápido • fiel aos dados originais • bom para uma visualização rápida • superfície pode ser interpolada entre os pontos amostrados. 	<ul style="list-style-type: none"> • valores acima ou abaixo dos valores reais não podem ser extrapolados. • valores além da área de distribuição dos pontos amostrados não podem ser extrapolados. • contornos podem ser 'angulares' nas bordas dos triângulos. • gera superfícies angulares. • rede triangular não é única e isso pode distorcer resultados.
Quando usar	Quando não usar
<ul style="list-style-type: none"> • distribuição de dados bem regular. • Valores estimados necessários apenas dentro da área amostrada. • Presença de grandes diferenças entre os dados (encostas íngremes, dados de contaminação com grande variabilidade) • Dados topográficos 	<ul style="list-style-type: none"> • ao se desejar um mapa com contornos suaves • alguns dados coletados em linhas e outros com distribuição irregular. • com grande volume de dados computação pode tornar-se lenta

• INVERSO PONDERADO DA DISTÂNCIA

- mais utilizado dentre os métodos de distância ponderada
- método utilizado para interpolação e geração de MDTs (modelos digitais de terreno)
- o peso dado durante a interpolação é tal que a influência de um ponto amostrado em relação a outro diminui conforme aumenta a distância ao nó da grade a ser estimado
- pontos amostrados de localização próxima ao nó a ser estimado recebem peso maior que os pontos amostrados de localização mais distante
- ao calcular o valor de um nó, a soma de todos os pesos dados aos pontos amostrados vizinhos é igual a 1,0, ou seja, é atribuído um peso proporcional à contribuição de cada ponto vizinho
- quando a posição de uma observação coincide com um nó, seu valor recebe peso 1,0, enquanto todos os valores vizinhos recebem peso 0,0; o resultado será o nó recebendo o valor exato da observação ali situada

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}}$$

Z^* → valor interpolado para o nó do reticulado (grid);

Z_i → valor (resíduo) do ponto amostrado vizinho ao nó (pode ser Z_{res+} , Z_{res-} ou Z_{res0});

h_{ij} → distância entre o nó da grade e Z_i

β → expoente de ponderação (peso)

n → número de pontos amostrados utilizados para interpolar cada nó.

- o expoente de ponderação pode ser selecionado
- os resultados são variáveis, desde altamente tendenciosos a favor dos pontos mais próximos a resultados onde o peso é praticamente o mesmo para todos os pontos próximos
- o expoente tem os seguintes efeitos sobre os resultados estimados:
 - expoentes baixos (0-2): destacam anomalias locais
 - expoentes altos (3-5): suavizam anomalias locais
 - expoentes ≥ 10 : resultam em estimativas "poligonais" (planas)
 - expoente = zero: resulta em estimativas de "média móvel"
 - **expoente = 2: inverso do quadrado da distância (IQD), o mais usado**

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ● fácil de entender matematicamente. ● algoritmo bem conhecido e discutido ● disponível em muitos <i>softwares</i>. ● utiliza pouco tempo de computação. ● é razoavelmente fiel aos valores amostrados originais. ● não estima valores de Zi maiores ou menores que os valores máximos e mínimos dos dados; bom para estimativas de espessura, concentração química e propriedades físicas ● muito bom para analisar variações de pequena amplitude (anomalias) entre os dados irregularmente distribuídos. ● bom estimador para propósitos gerais. 	<ul style="list-style-type: none"> ● não estima valores de Zi maiores ou menores que os valores máximos e mínimos dos dados; ruim para estimativas de dados estruturais, isto é, para determinar o topo ou a base de horizontes estratigráficos ou litológicos. ● muito difícil obter a localização precisa de uma determinada isolinha se os valores amostrados não contiverem este valor; é difícil projetar a curva de altitude zero se os dados não contiverem zero ou valores negativos. ● Influência de valores locais anômalos é dificilmente removida; dados em <i>clusters</i> podem influenciar as estimativas de modo bastante tendencioso. ● cria muitos artefatos, o que pode ser reduzido ou eliminado se o raio de busca for reduzido, se a tendência for removida previamente e se ocorrer mudanças no expoente utilizado, no tamanho da grade, no número de pontos utilizados e ponderação direcional.
Quando usar	Quando não usar
<ul style="list-style-type: none"> ● estimativas de propósito geral. ● distribuição uniforme de dados. ● boa densidade de dados. ● para destacar anomalias locais. ● para calcular volume em operações entre <i>grids</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> ● dados agrupados ● tendência pronunciada presente. ● dados com falhas e distribuídos de forma esparsa. ● não quiser artefatos.

• MÍNIMA CURVATURA

- contínua aos pontos de dados irregularmente distribuídos método segundo o qual equações diferenciais ajustam uma superfície
- um valor inicial de Z_i é calculado para cada nó das células a partir dos pontos próximos
- são efetuados cálculos de derivação repetidamente até que seja alcançada uma diferença (convergência ou tolerância) entre os valores amostrados e os estimados, especificada pelo usuário, ou até que um número máximo de interações seja alcançado
- mapas geradas apresentam contornos muito suaves
- pelo menos um ponto amostrado em cada célula da malha tem seu valor respeitado de forma fiel (*honored*)
- artefatos indesejáveis são gerados especialmente no interior das células onde o valor inicial de Z é calculado utilizando a média global dos valores amostrados; ocorre quando não há valores amostrados dentro ou próximos da célula cujo nó deve ser estimado; outra fonte geradora de artefatos é número insuficiente de interações.

$$\nabla^4 Z_E = 0 \quad \text{com a existência da seguinte condição:} \quad \nabla^2 Z_E = 0$$

onde:

∇ = equação diferencial e Z_E = valor estimado para o nó da célula;

o algoritmo calcula a quarta derivada:

$$\frac{\delta^4}{\delta_x^4} Z_E + \frac{\delta^4}{\delta_y^4} Z_E = 0$$

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • superfície estimada é independente da distribuição dos dados e da presença de ruído (<i>noise</i>). • superfície estimada é a mais suave entre as geradas pelos outros algoritmos que ajustam superfícies aos dados amostrados. • superfície é absolutamente fiel aos dados originais se houver apenas um valor amostrado por célula. • menor número de artefatos, com exceção das bordas e interior de células sem amostragem. • capaz de estimar além dos valores máximo e mínimo dos dados amostrados. 	<ul style="list-style-type: none"> • superfície suave é gerada, quer realmente exista ou não. • havendo dados próximos às bordas pode haver geração de depressões ou picos nas bordas do mapa. • formas estranhas (artefatos) podem surgir no centro das células que não contêm pontos amostrados e se um número insuficiente de interações for especificado.
Quando usar	Quando não usar
<ul style="list-style-type: none"> • para suavizar dados altamente anômalos. • para obter uma solução única. • contornos fiéis aos dados originais. 	<ul style="list-style-type: none"> • quando a superfície a ser modelada possuir quebras bruscas, como por exemplo planaltos e escarpas ou montanhas e pedimentos/leques aluviais. • descontinuidades como falhas ou inconformidades estiverem presentes. <ul style="list-style-type: none"> • estas formas podem ser modeladas por mínima curvatura desde que sejam estabelecidos os controles adequados: muitas interações e pequena convergência.

• REGRESSÃO POLINOMIAL (SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA)

- método pelo qual uma superfície contínua é ajustada, por critérios de regressão por mínimos quadrados, aos valores de Z_i como uma função linear das coordenadas X-Y dos pontos amostrados e irregularmente distribuídos
- a equação matemática utilizada para o ajuste da superfície baseia-se nos polinômios não-ortogonais
- o ajuste é incrementado pela adição de termos adicionais (ordens) à equação polinomial
- após o ajuste da superfície aos dados amostrados, segundo o grau desejado, os valores de Z_c para os nós da grade são calculados
- Após a solução das equações as mesmas com a determinação dos coeficientes, as equações são utilizadas para o cálculo de Z para qualquer valor de X-Y, no caso a localização dos nós das células da grade
- se necessário, é possível calcular os resíduos entre a superfície gerada e os valores originais.
- podem ser obtidos contornos muito suaves. As isolinhas podem não ser fiéis aos dados originais
- técnica é adequada para "remoção" de tendências e destaque de resíduos.
- alguns artefatos indesejados podem ser gerados nas bordas e no interior do mapa quando houver áreas sem dados amostrados e com a utilização de ordens polinomiais elevadas.

Primeira ordem: $Z_E = A + Bx + Cy$

Segunda ordem: $Z_E = A + Bx + Cy + Dx^2 + Exy + Fy^2$

Terceira ordem: $Z_E = A + Bx + Cy + Dx^2 + Exy + Fy^2 + Gx^2 + Hx^2 + Ixy^2 + Jy^3$

Quarta ordem: $Z_E = A + Bx + Cy + Dx^2 + Exy + Fy^2 + Gx^2 + Hx^2 + Ixy^2 + Jy^3 + Kx^4 + Lx^3y + Mx^2y^2 + Nxy^3 + Oy^4$

Onde:

Z_E = Valor estimado de Z para o nó da célula (variável dependente)

X e Y = Coordenadas x e y (variáveis independentes)

A ... O = Coeficientes que proporcionam o melhor ajuste aos dados amostrados.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • uma única superfície é gerada. • fácil definição de parâmetros. • a mesma superfície é gerada mesmo com mudança na orientação da grade. • tempo para cálculo de superfícies de baixa ordem é baixo. • contempla tanto as tendências regionais quanto anomalias locais. • estima valores acima e abaixo dos amostrados. 	<ul style="list-style-type: none"> • extrapola valores de Z para além dos limites da área amostrada. • anomalias locais não são vistas em mapas de superfícies de baixa ordem, porém podem ser destacadas em mapas para os resíduos. • utilização torna-se facilmente abusiva: a tentação de especificar um ajuste de uma superfície de alta ordem pode ser maior do que o bom senso quanto ao resultado • a quantidade de RAM necessária aumenta exponencialmente com o aumento da ordem do polinômio.
Quando usar	Quando não usar
<ul style="list-style-type: none"> • número adequado de pontos amostrados estiver disponível, sempre maior que o número de coeficientes da equação: <ul style="list-style-type: none"> • ordem=1, coeficientes=2, pontos ≥ 3 • Ordem=2, coeficientes=5, pontos ≥ 5 • dados forem regularmente distribuídos. • como um "pré-processamento", para remover a tendência regional antes de "krigar" ou estimar por IQD. • "gerar" novos dados em áreas com dados esparsos. 	<ul style="list-style-type: none"> • poucos dados, com distribuição irregular ou para uma superfície real com alta variabilidade local • pontos amostrados em <i>clusters</i> e valores de Z altamente variáveis. • superfície for descontínua por falhas ou inconformidades. • amplitude da superfície variar drasticamente ou erráticamente: anomalias locais de grande variação.

• KRIGAGEM

- método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas
- nas variáveis regionalizadas deve existir uma certa continuidade espacial, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido
- ao ser constatado que a variável não possui continuidade espacial na área estudada, não há sentido lógico em estimar/interpolando usando-se a krigagem
- único meio disponível para se verificar a existência ou não de continuidade espacial e, se houver, quais os parâmetros que caracterizam este comportamento regionalizado, é a análise variográfica
- utiliza distâncias ponderadas e estimação por médias móveis pelo qual os pesos adequados são obtidos a partir de um variograma, representativo da média das diferenças ao quadrado dos valores irregularmente distribuídos de Z_i a intervalos de distâncias especificados (lags)
- é necessário um sistema de equações em matrizes, no qual são usados os parâmetros variográficos, para a obtenção dos pesos a serem usados para o cálculo do valor do ponto a ser estimado/interpolado
- Quando um variograma é adequadamente elaborado, a estimativa por krigagem resultante é reconhecida como sendo a estimativa linear melhor e não tendenciosa (*BLUE = best, linear, unbiased estimate*)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • valores estimados baseiam-se no variograma; se for apropriado, fornece as seguintes informações: <ul style="list-style-type: none"> • parâmetros adequados de amostragem: número de amostras, distribuição e densidade; • parâmetros adequados de busca: tamanho da área de busca, forma (circular ou elipsóide) e, se elipsóide, orientação do eixo principal; • parâmetros adequados da grade: tamanho das células, forma e orientação; • natureza da distribuição espacial da variável investigada: uniformidade da distribuição, importância relativa da influência espacial x casual; • previsibilidade da variação espacial da variável avaliada. • se o variograma for apropriado controla a krigagem, com as seguintes vantagens: <ul style="list-style-type: none"> • evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados; • permite a determinação das melhores estimativas sem tendenciosidade: o melhor estimador é aquele que produz a melhor precisão (menor variância); • permite o estabelecimento de limites de confiança, indicando se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada; • precisão, contornos suaves, artefatos indesejáveis raros a não ser nas bordas do mapa. • interpolador exato: os valores estimados para os nós das células é exatamente igual ao valor amostrado naquela posição. • estima além dos limites máximo e mínimo dos valores dos pontos amostrados. • modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais. • calcula variâncias dos pontos estimados(erros), que podem ser utilizadas para: <ul style="list-style-type: none"> • quantificar um intervalo de valores (\pm) para os pontos estimados, definindo estimativas realistas; • calcular intervalos de confiança para verificar a probabilidade dos valores ocorrerem dentro de um intervalo de ± 2 unidades de desvio padrão da média; variâncias mapeadas podem indicar locais para adensamento da amostragem 	<ul style="list-style-type: none"> • O usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e apesar disto resultados são sempre obtidos. • É necessário tempo para preparo do variograma e entendimento de geoestatística. • Pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido à natureza da variação espacial da variável analisada. Isto pode ocorrer devido à magnitude da amostragem e por erros analíticos. • Requer longo tempo de computação para grupos de dados grandes ou complexos. • Necessidade de <i>software</i> capacitado.
Quando usar	Quando não usar
<ul style="list-style-type: none"> • Estiverem presentes tanto tendências regionais quanto anomalias locais. • Anomalia local não presente em toda a área, por ex. em ambiente fluvial. • Quiser estimar com base em uma média global. • Tiver dados irregularmente amostrados ou agrupados (<i>clustered</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos de 30 pontos amostrados: número insuficiente de pares para modelar o variograma. • Valores discrepantes de Z: removê-los antecipadamente. • Erro grande e inexplicado (efeito pepita pronunciado)*. • Amostras de populações Diversas

• **COMPARAÇÃO ENTRE ALGORITMOS** (Krajewski & Gibbs, 1966)

Algoritmo	Fidelidade aos dados originais	Suavidade das curvas	Velocidade de computação	Precisão geral
Triangulação	1	5	1	5
Inverso da Distância	3	4	2	4
Superfície/ Tendência	5	1	3	2
Mínima Curvatura	4	2	4	3
Krigagem	2	3	5	1

1 = melhor → 5 = pior

• **“SOFTWARE” PARA ESTIMATIVA DO RETICULADO (SURFER®)**

Fornecidos “n” valores conhecidos, regularmente distribuídos ou não, Z₁, Z₂,....., Z_n, o valor a ser interpolado para qualquer nó da rede será igual a

$$G_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} Z_i$$

G_j =	valor estimado para o nó j
n =	número de pontos usados para a interpolação
Z_i =	valor estimador no ponto ‘i’ com valor conhecido
W_{ij} =	peso associado ao valor estimador “i”

• **Métodos**

- inverso do quadrado da distância
- krigagem
- curvatura mínima
- método de Shepard
- vizinhança
- regressão polinomial
- função de base radial
- triangulação
 - *Diferenças entre métodos: de que modo os fatores de ponderação são calculados e aplicados durante a reticulagem.*

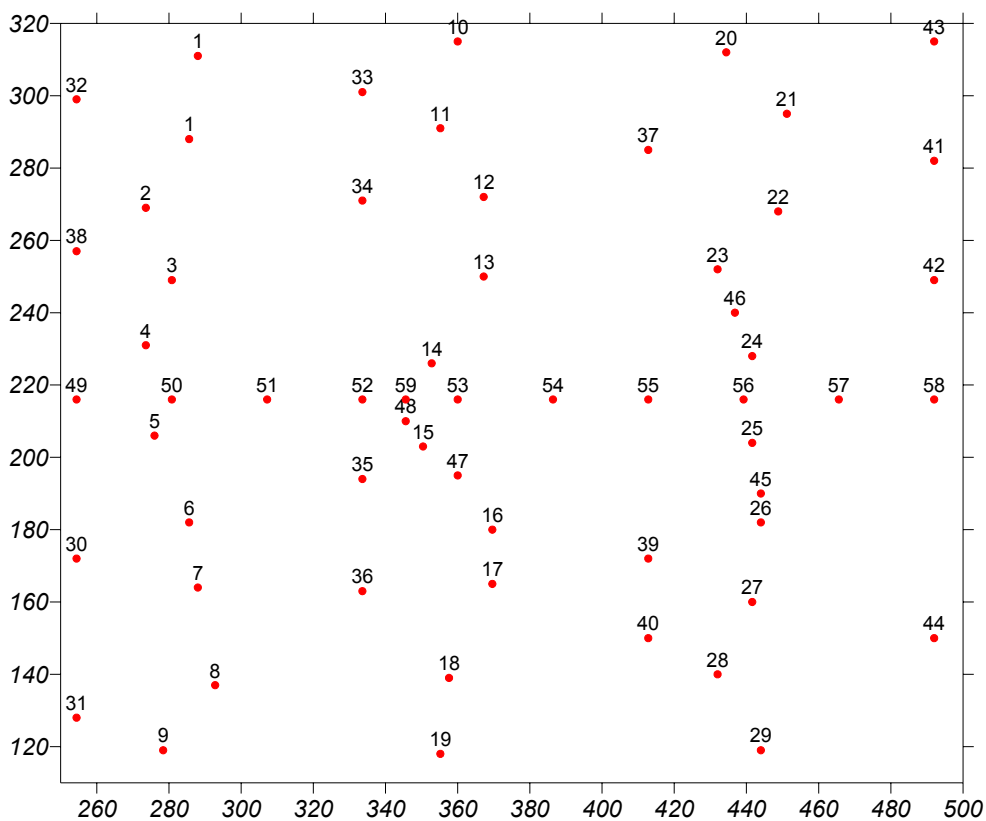
- **EXEMPLO**

O arquivo de dados foi retirado do arquivo *example.dat*, que acompanha o programa GeoEas, para a variável “cadmio”.

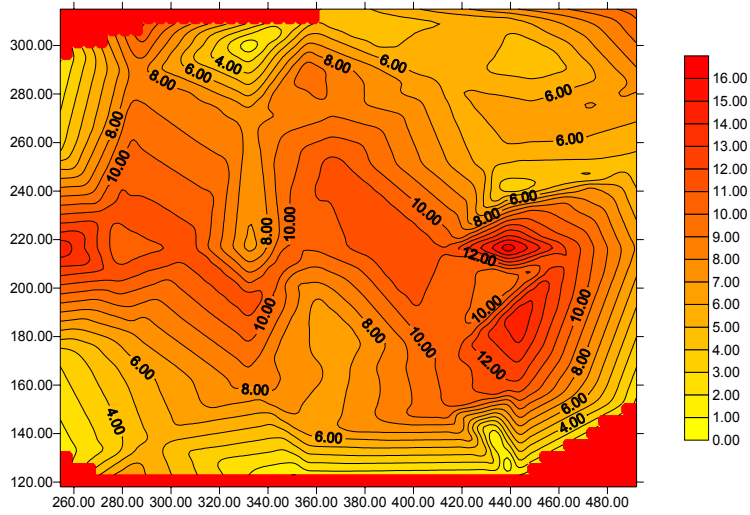
ID	X	Y	Cd
1	288	311	11.5
1	285.6	288	8.5
2	273.6	269	7
3	280.8	249	10.7
4	273.6	231	11.2
5	276	206	11.6
6	285.6	182	7.2
7	288	164	5.7
8	292.8	137	5.2
9	278.4	119	7.2
10	360	315	3.9
11	355.2	291	9.5
12	367.2	272	8.9
13	367.2	250	11.5
14	352.8	226	10.7
15	350.4	203	8.3
16	369.6	180	6.1
17	369.6	165	6.7
18	357.6	139	6.2
19	355.2	118	0
20	434.4	312	5.5
21	451.2	295	4
22	448.8	268	7
23	432	252	5.3
24	441.6	228	11.6
25	441.6	204	9
26	444	182	14.5
27	441.6	160	12.1
28	432	140	0.9
29	444	119	0
30	254.4	172	3.2
31	254.4	128	1.2
32	254.4	299	1.7
33	333.6	301	1.2
34	333.6	271	7.6
35	333.6	194	11.6
36	333.6	163	8.7
37	412.8	285	5.8
38	254.4	257	3.8
39	412.8	172	10.4
40	412.8	150	10
41	492	282	7.1
42	492	249	4.4
43	492	315	10.4
44	492	150	1.6
45	444	190	15
46	436.8	240	3.4
47	360	195	6.8
48	345.6	210	10.8
49	254.4	216	14.9
50	280.8	216	9.9

51	307.2	216	11.6
52	333.6	216	6.5
53	360	216	10.1
54	386.4	216	11.8
55	412.8	216	11
56	439.2	216	16.7
57	465.6	216	11.6
58	492	216	6.9
59	345.6	216	9.9

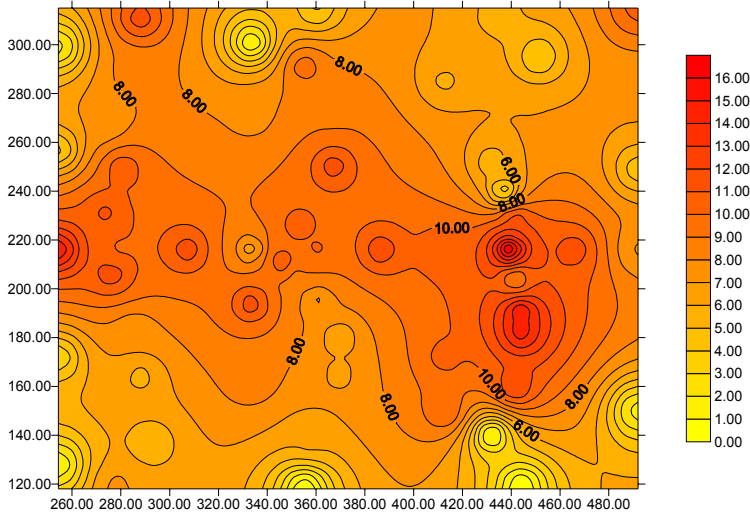
Distribuição dos pontos:



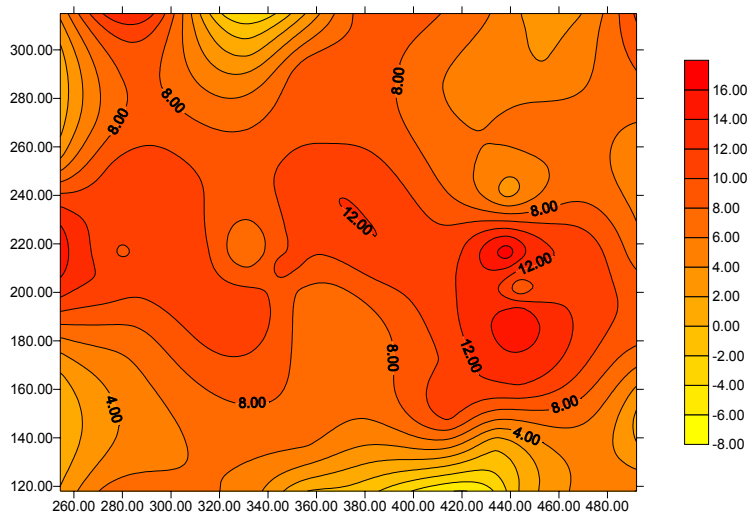
Triangulação linear



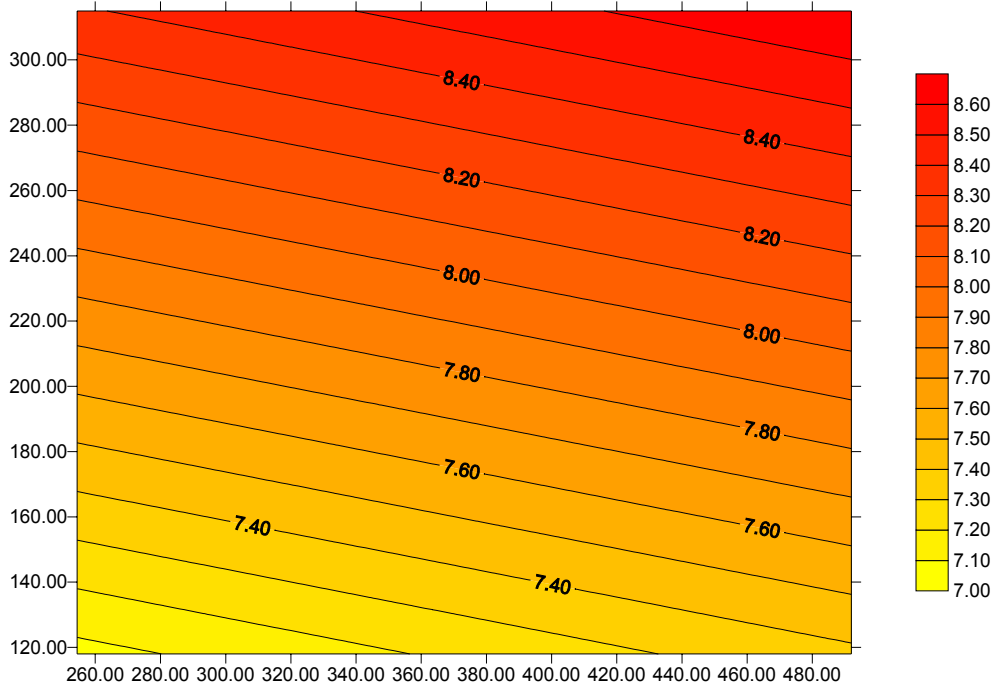
Inverso do quadrado da distância



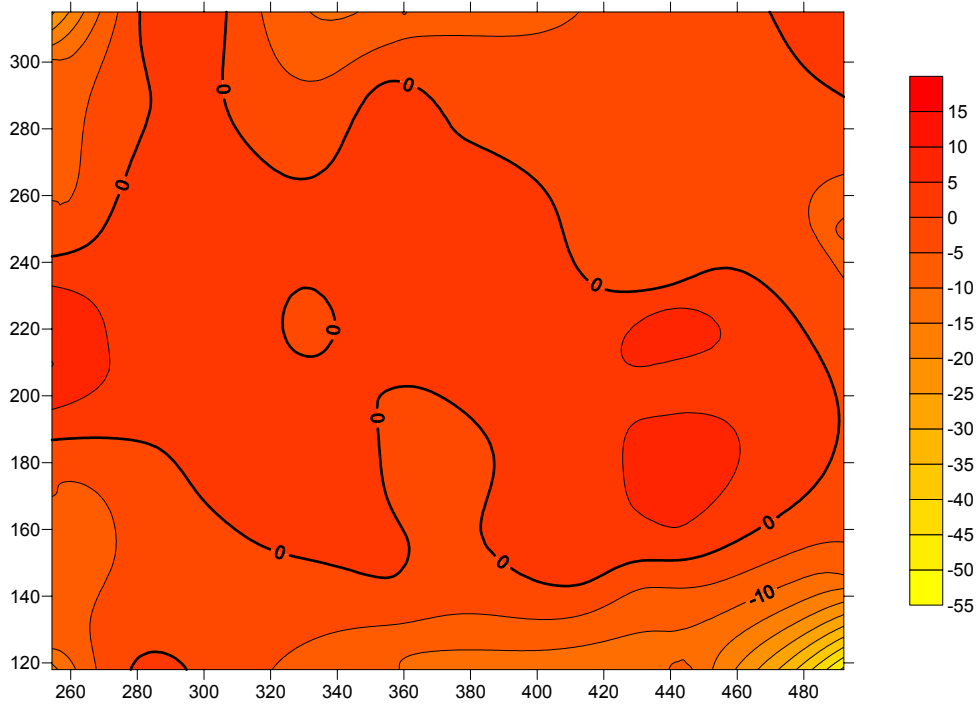
Curvatura mínima



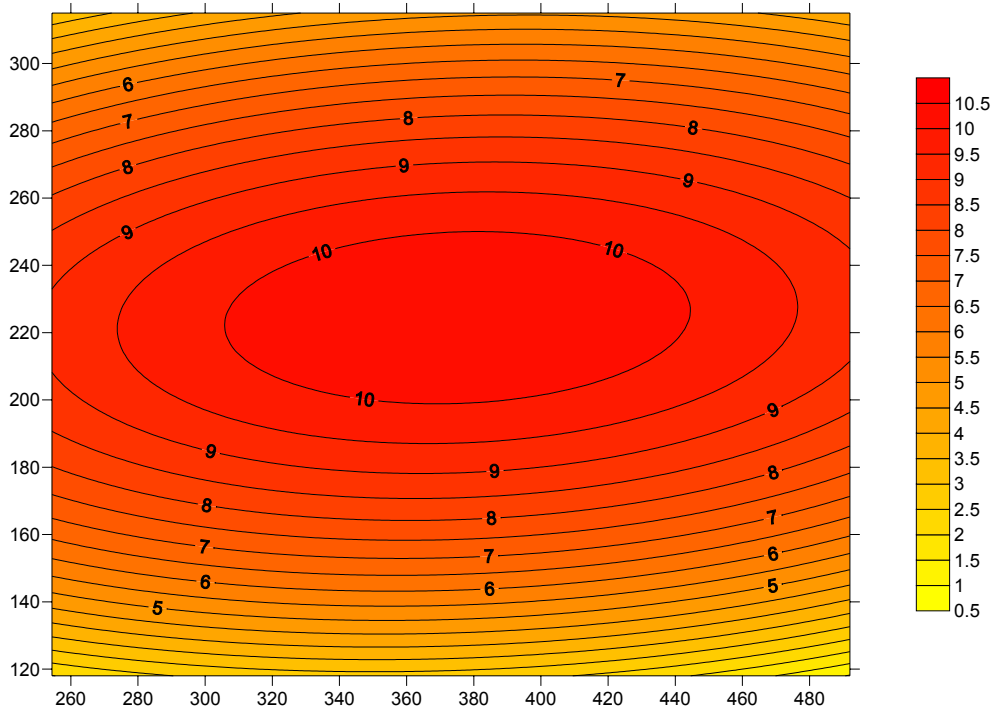
Superfície de tendência de grau 1



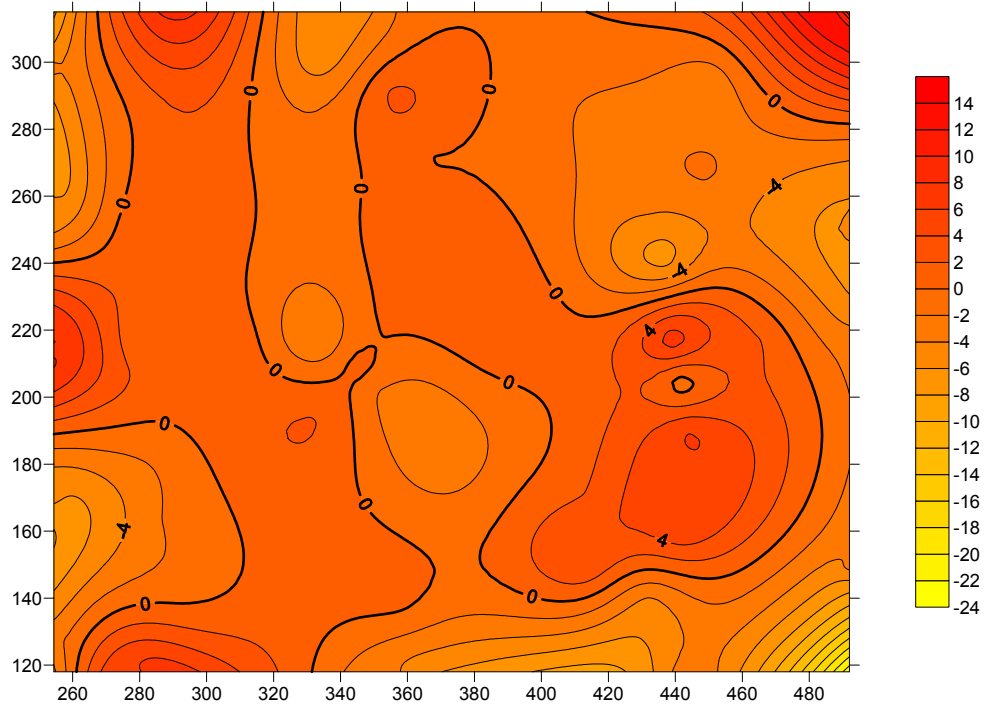
Resíduos positivos e negativos da superfície linear



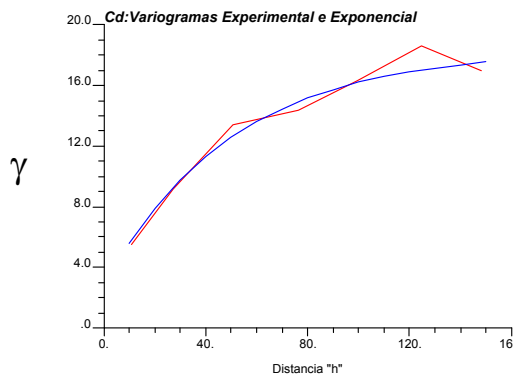
Superfície de tendência de grau 2



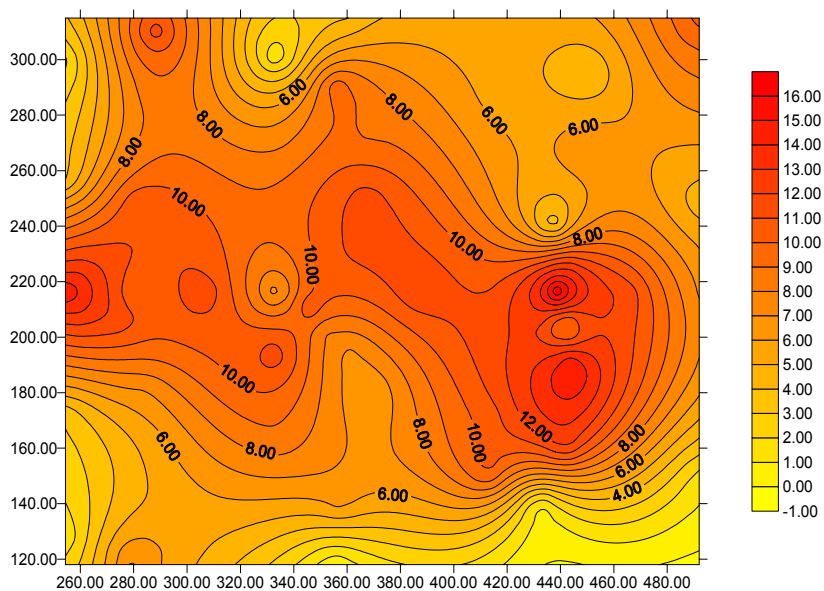
Resíduos positivos e negativos da superfície quadrática



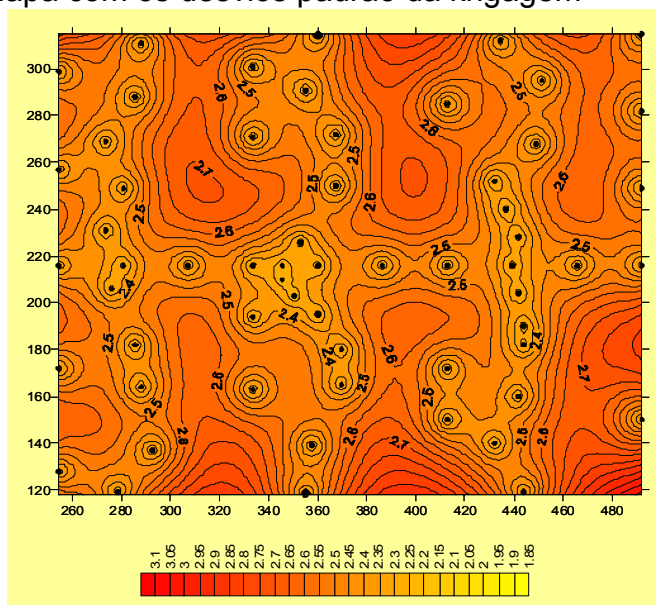
Krigagem: para efetuar a estimativa por krigagem é necessário, preliminarmente, verificar se os dados apresentam correlação espacial. Isso é feito por uma análise variográfica:



Krigagem



Mapa com os desvios padrão da krigagem



BIBLIOGRAFIA

Krajewski, S.A. & Gibbs, B.L. (1966) – Understanding Contouring: A practical Guide to Spatial Estimation and Contouring Using a Computer and Basics of Using Variograms: Gibbs Associates

Landim, P.M.B. (1998) – Análise Estatística de Dados Geológicos: Editora Unesp

Masson, M.R. & Czajkowski, S. (1999) – Métodos de interpolação para modelagem de superfícies: Seminário em “Geociências e Meio Ambiente”, PósGraduação em Geociências, I.G.C.E., Unesp, Rio Claro

Surfer 7.0 (1999) – User’s guide. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers: Golden Software, Inc.

Yamamoto, J. K. (1998) – A Review of Numerical Methods for the Interpolation of Geological Data: Na. Acad.Bras. Ciências, 70(1):91-116

SUGESTÕES

Dúvidas, questões, sugestões, etc. sobre o texto deverão ser encaminhadas para o endereço plandim@rc.unesp.br, as quais serão sempre bem recebidas.