



# Capacitação e Treinamento do Sistema CR Campeiro 7

**Modelos Digitais em AP**

**EAD CR Campeiro7 – Edição 2015**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
LABORATÓRIO DE GEOMÁTICA

**MDT**

**Modelo Digital**

---

Leonice Schio  
Acad. Tecnologia em Geoprocessamento  
UFSM

# Conceitos:

MDT é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado.

Fonte: <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm>

# Conceitos:

No Sistema CR Campeiro o termo “MDT” é aplicado para modelos digitais que expressam valores de uma variável em um espaço de área, segundo uma organização matricial de linhas e colunas. Os MDTs podem ser:

- ❑ Modelos de fertilidade do solo;
- ❑ Modelos de atributos físicos do solo;
- ❑ Modelos de atributos biológicos de solo e planta;
- ❑ Modelos de produtividade.

Em síntese, é uma representação “raster” de uma determinada variável de interesse agrônômico em um espaço geográfico.

O modelo raster é definido por elementos de resolução (célula ou pixel) cada qual com um atributo de natureza quantitativa da variável considerada.

Esses elementos de resolução estão orientados regularmente em uma matriz de (i, j) linhas e colunas, cujos pontos de intersecção (nó da grade), são referenciados a um sistema de coordenadas geográficas.

O processo de construção de um Modelo Digital do Terreno é matemático e pode apresentar fundamentação em princípios de geoestatística”.

# Conceitos:

O Modelo Digital gerado a partir de um conjunto de pontos georreferenciados, isto é, de posição conhecida através de suas coordenadas UTM (E,N), é uma grade de formato retangular, constituída de pontos alinhados em linhas e colunas, cujo pontos de intersecção são determinados “nós”.

# Conceitos:

O MDT consiste basicamente em se ter em cada nó da grade, as coordenadas E, N e Z, sendo que as coordenadas E e N são calculadas a partir da definição da origem da grade e os respectivos espaçamentos entre linhas e colunas. Enquanto que a coordenada Z é calculada por processo **estatístico de interpolação**, com algoritmos próprios.

# Métodos de Interpolação no CR Campeiro:

O Sistema CR Campeiro trabalha com 3 métodos de interpolação:

- ❑ Inverso do Quadrado da Distância
- ❑ Krigagem Linear
- ❑ Modelos Polinomiais

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Inverso do Quadrado da Distância:

É um dos métodos mais antigos de interpolação espacial e também um dos mais utilizados, por ser de fácil entendimento, seguro e relativamente preciso, desde que haja uma definição correta do raio de pesquisa e realiza a interpolação a partir de um único ponto.

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Inverso do Quadrado da Distância:

$$z = 1 / d^2$$

A partir da definição do raio de pesquisa, em cada nó da grade, o sistema “varre” em todos os quadrantes os pontos amostrais do PAP, toma seus valores e os pondera, proporcionalmente pelo inverso do quadrado de suas distâncias ao nó da grade. Assim os pontos mais próximos, tem maior influencia no cálculo de Z.

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Inverso do Quadrado da Distância:

Sua aplicação é recomendada, quando o *grid* de amostragem for de formato retangular uniforme, com boa densidade de pontos e variabilidade espacial do atributo pesquisado não for significativa.

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Inverso do Quadrado da Distância:

Dentre suas vantagens, cita-se pouco tempo de processamento computacional, em comparação com *Krigagem*, e não estima valores fora da amplitude de variação dos dados amostrais, definida pelo valor de  $Z$  (máximo e mínimo).

Seu uso não é recomendado quando a distribuição espacial dos dados amostrais for irregular, ou seja, estão agrupados, com falhas ou ainda esparsos na área, não captando a tendência da variável.

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Krigagem

O termo krigagem 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.

O que diferencia a krigagem 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 krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Krigagem

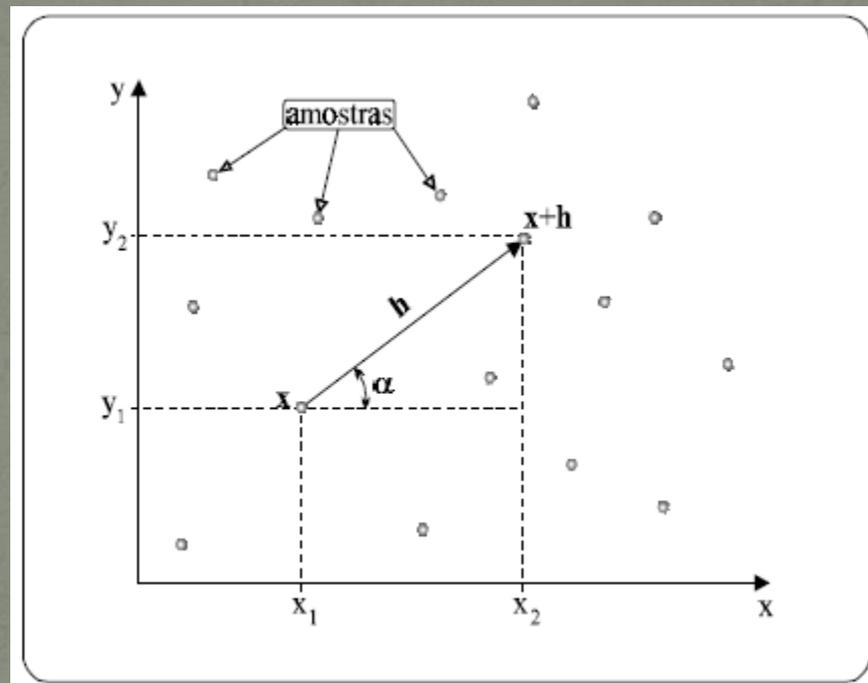
- Variograma

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço.

Considere duas variáveis regionalizadas,  $X$  e  $Y$ , onde  $X = Z(x)$  e  $Y = Z(x+h)$ . Neste caso, referem-se ao mesmo atributo (por exemplo, o teor de zinco no solo) medido em duas posições diferentes.

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Krigagem
  - Variograma



Amostragem em duas dimensões.

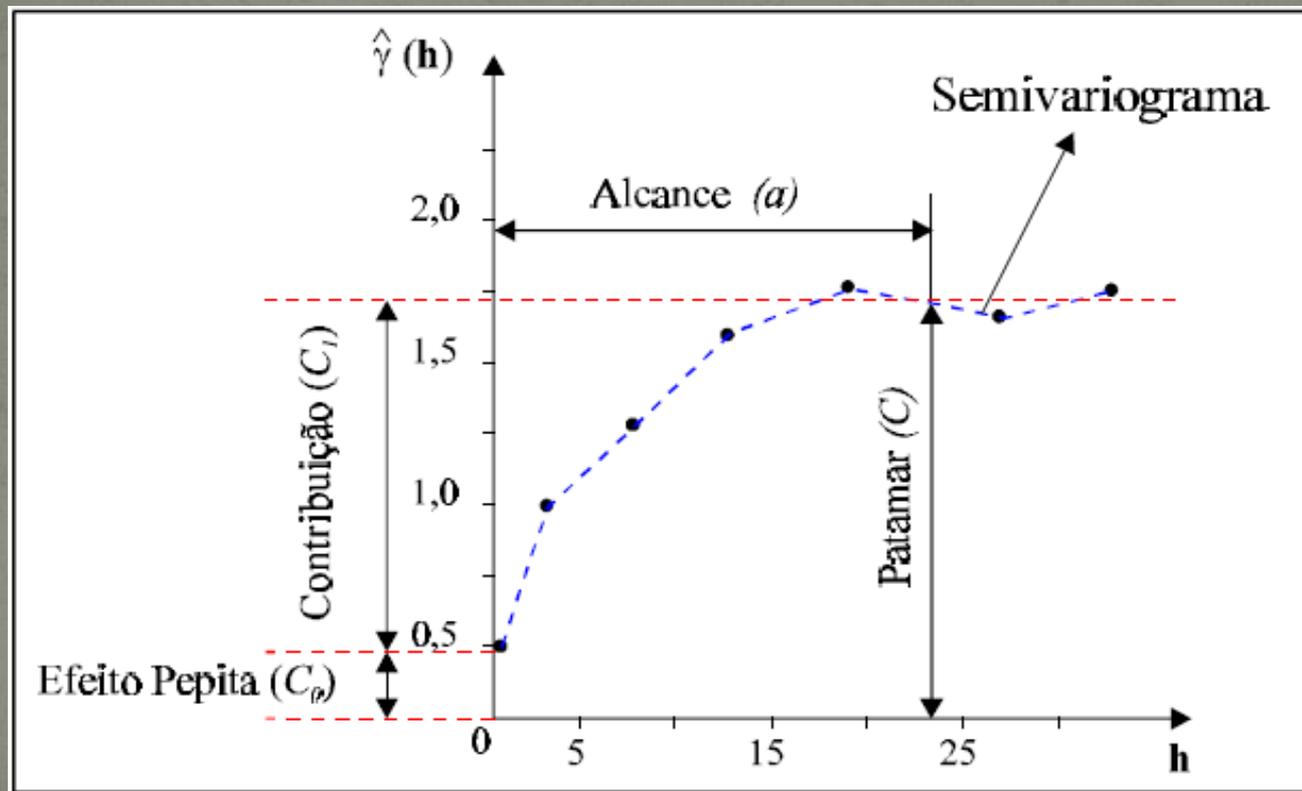
# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Krigagem
  - Semivariograma

O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças  $\{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}$  decresçam à medida que  $h$ , a distância que os separa decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que  $\gamma(h)$  aumente com a distância  $h$ .

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Krigagem
  - Semivariograma



Exemplo de Semivariograma

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

## •Krigagem

### □ Semivariograma

Onde:

- **Alcance (a):** distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Na Figura anterior, o alcance ocorre próximo de 25m.
- **Patamar (C):** é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância.
- **Efeito Pepita (Co):** idealmente,  $\gamma(0)=0$ . Entretanto, na prática, à medida que  $h$  tende para o (zero),  $\gamma(h)$  se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita (Co), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (Isaaks e Srivastava, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.
- **Contribuição (C1):** é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (Co).

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Modelos Polinomiais:

Método pelo qual uma superfície contínua é ajustada, por critérios de regressão dos mínimos quadrados, aos valores de  $Z_i$  (valores dados), como uma função linear das coordenadas  $X, Y$  dos pontos amostrados e irregularmente distribuídos.

O ajuste é incrementado conforme a adição de termos adicionais (ordens) à equação polinomial.

Após o ajuste da superfície dos dados amostrados, conforme o grau desejado, os valores de  $Z_c$  (valores calculados) para os nós da grade são calculados.

Após a solução das equações, com determinação dos coeficientes, as equações são utilizadas para o cálculo de  $Z$ , para qualquer valor de  $X$  e  $Y$  (localização do nós da grade).

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Modelos Polinomiais

- Primeira Ordem:

$$Z = b_0 + b_1X + b_2Y$$

- Segunda Ordem:

$$Z = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2$$

- Terceira Ordem:

$$Z = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2 + b_6X^3 + b_7X^2Y + b_8XY^2 + b_9Y^3$$

# Métodos de Interpolação no Campeiro:

- Modelos Polinomiais

Pode-se utilizar este método de interpolação quando o número de pontos amostrados for maior que o número de coeficientes da equação.

Por exemplo:

1ª ordem: coeficiente = 2, pontos  $\geq 3$

# Referências Bibliográficas:

- Camargo E. C. G. **Geoestatística: Fundamentos e Aplicações**, cap. 5. Disponível em [http://www.dpi.inpe.br/dpi/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoes\\_t.pdf](http://www.dpi.inpe.br/dpi/tutoriais/gis_ambiente/5geoes_t.pdf), acesso em 05/07/2011.
- Giotto E., Sulzbach L., Antunes M. U. F., Felipe P. O. M. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7**, UFSM 2009.
- <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm>