



A REPRESENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA ATRAVÉS DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

Alex Soria Medina

UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática
asmedina@ufpr.br

Simone da Silva Soria Medina

UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Desenho
moni@ufpr.br

RESUMO

A busca pela compreensão e configuração da Superfície Física da Terra – SFT tem levado o homem a estudá-la e representá-la. Dentro das ciências desenvolvidas para este fim temos a Topografia, que se baseia na geometria e na trigonometria, com a finalidade de representar graficamente, no papel, a configuração de uma porção de terreno, ou seja, os detalhes de sua configuração, incluindo as benfeitorias que estão em sua superfície. Um dos produtos gerados para representar a SFT é o Modelo Digital do Terreno – MDT, que é obtido a partir de pontos de coordenadas tridimensionais conhecidas. O presente trabalho mostra as técnicas empregadas na coleta de dados para a geração de um MDT (pontos de coordenadas tridimensionais), assim como a configuração desejável da rede destes pontos (grades) e do método de interpolação da curvatura mínima, freqüentemente empregado na geração das grades. Mostra-se ainda a geração de um MDT e do mapa de curvas de nível correspondente. Para esta geração utilizou-se um arquivo de dados composto de 281 pontos de coordenadas conhecidas e o *software* SURFER 8.0.

Palavras-chave: Superfície Física da Terra, Modelo Digital do Terreno, Topografia.

RESUMEN

La busca por la comprensión y configuración de la Superficie Física de la Tierra – SFT a llevado al hombre a estudiarla y representarla. Dentro de las ciencias desarrolladas para este fin tenemos la Topografía, que es basada en la geometría y en la trigonometría, con la finalidad de representar gráficamente, en papel, la

configuración de una porción del terreno, o sea, los detalles de su configuración, incluyendo las bienhectorias que están en su superficie. Uno de los productos generados para representar la SFT es el Modelo Digital del Terreno – MDT, que es obtenido a partir de puntos de coordenadas tridimensionales conocidas. El presente trabajo muestra las técnicas empleadas en la colecta de datos para la generación de un MDT (puntos de coordenadas tridimensionales), así como la configuración deseable para la red de estos puntos (grades) y el método de interpolación de curvatura mínima, frecuentemente empleado en la generación de las grades. Todavía se muestra la generación de un MDT y del mapa de curvas de niveles correspondiente. Para esta generación se utilizó un archivo de datos compuesto de 281 puntos de coordenadas conocidas y el *software* SURFER 8.0.

Palabras-clave: Superficie Física de la Tierra, Modelo Digital do Terreno, Topografía.

1 Introdução

A necessidade de conhecer o lugar onde habitamos, de forma que possamos nos localizar, e portanto navegar no meio em que vivemos, estimulou o surgimento e o desenvolvimento da Cartografia, com isto a representação e o conhecimento da superfície física da Terra tornou-se indispensável. Quando tratamos da representação de uma pequena parte da superfície física da Terra emprega-se uma ciência denominada de Topografia.

A Topografia é a ciência aplicada que se apóia na geometria e na trigonometria, cujo objetivo é estudar a forma, dimensão e a posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a esfericidade da Terra (Espartel, 1987).

Segundo Garcia & Piedade (s.d), a Topografia tem por finalidade representar graficamente, no papel, a configuração de uma porção de terreno, ou seja, os detalhes da configuração de sua superfície, incluindo a representação das benfeitorias sobre ela.

Ao se projetar qualquer obra de Engenharia, Arquitetura ou Agronomia, é necessário o levantamento topográfico do lugar onde a obra será implantada. Daí a importância da Topografia, que se incumbe do levantamento ou medição, que deverá ser precisa e adaptada ao terreno (Espartel, 1987).

Para a representação da superfície física da Terra podemos utilizar Modelos Digitais do Terreno – MDT. Um MDT pode ser definido com a representação matemática de uma superfície, através das coordenadas X, Y e Z (ROCHA, 2000). Atualmente, esta expressão traduz, não apenas a feição altimétrica de uma região, mas qualquer outra característica do terreno a ser representada de forma contínua, como por exemplo temperatura, vegetação, hidrologia, geologia, poluição, tipo de solo, regiões do corpo humano e outras.

Dentre as aplicações dos MDT, de acordo com Burrough (1986), estão o armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos; análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens; elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade; análise de variáveis geofísicas e geoquímicas e apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

O processo de geração de um MDT se divide em três fases: coleta dos dados, geração de grades e elaboração dos produtos (representação das informações obtidas).

2 Coleta dos Dados

Na geração de um modelo digital de terreno, a aquisição dos dados pode ser realizada a partir de três processos: a) digitalização de mapas já existentes, b) restituição fotogramétrica e c) levantamento direto no campo que é o caso da Topografia.

Segundo ROCHA (2000), esta aquisição de dados não deve ser feita aleatoriamente. No processo de amostragem, devem ser levantados os pontos representativos da topografia ou da superfície de interesse, procurando cobrir toda a área amostrada na densidade necessária às particularidades locais. Neste processo, devemos considerar, principalmente, os pontos característicos do terreno tais como: a) pontos notáveis - altos, baixos ou mudança de declive; b) linhas de estrutura – linhas naturais do terreno: cristas, vales, talvegues e rios; c) *Breaklines* – linhas construídas como estradas, muros, etc e d) Áreas planas – áreas existentes ou construídas que possuem a mesma cota, como platôs, campos de futebol, lagos e outras.

Entretanto, os modelos digitais de terreno não são elaborados sobre os dados amostrados, mas sim a partir de modelos gerados no formato de grade regular ou irregular. Estes formatos simplificam a implementação dos algoritmos de aplicação e os tornam mais rápidos computacionalmente.

3 Geração de Grades

3.1 Grades regulares

A geração de uma grade regular ou retangular deve ser efetuada quando os dados amostrados na superfície não são obtidos com espaçamento regular. Assim, a partir das informações obtidas, gera-se uma grade que representa de maneira mais fiel possível, a superfície. Os valores iniciais a serem determinados são os espaçamentos nas direções x e y de forma que possam representar os valores próximos aos pontos da grade em regiões com grande variação e que, ao mesmo tempo, reduzam redundâncias em regiões quase planas.

O espaçamento da grade, ou seja a resolução em x ou y, deve ser cuidadosamente determinado. Ao se gerar uma grade muito fina (isto é densa), ou seja com distância entre os pontos muito pequena, existirá um maior número de informações sobre a superfície analisada necessitando maior tempo para sua geração. Ao contrário, considerando distância grandes entre os pontos, será criado uma grade grossa que pode acarretar perda de informação. Desta forma para a resolução final da grade deve haver um compromisso entre a precisão dos dados

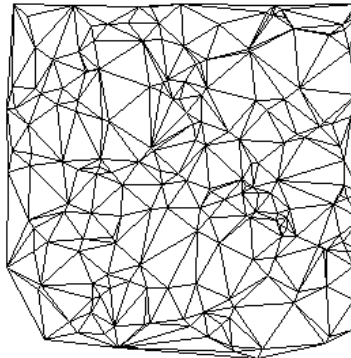
e do tempo de geração da grade.

3.2 Grades triangulares

Segundo MOURÃO E ROCHA (2001), as grades triangulares ou TIN – *Triangular Irregular Network* são estruturas são do tipo vetorial, compostas de arcos (arestas) e nós (vértices), que representam a superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos vértices dos triângulos, as coordenadas de localização (X, Y) e o atributo Z são armazenadas, representando um valor qualquer.

Quanto mais eqüiláteras forem as faces triangulares, maior a exatidão com que se descreve a superfície. O valor numérico (atributo z) para qualquer ponto da superfície é então estimado, com o uso de interpoladores, a partir das faces triangulares. Este tipo de representação, normalmente, é a mais adequada para representação do relevo, devido á sua complexidade.

Figura 1:Exemplo de uma grade triangular.



3.3 Curvatura mínima

Uma vez definida a resolução e conseqüentemente as coordenadas de cada ponto de uma grade, seja ela, regular ou triangular, deve-se aplicar um dos métodos de interpolação para calcular o valor aproximado da elevação. Dentre os métodos de interpolação utilizados na geração de MDT, está o método da curvatura mínima.

No método de curvatura mínima, admite-se que dois pontos adjacentes de um levantamento estejam contidos num mesmo arco, e este arco está localizado em um plano, no qual se conhece a inclinação e o ângulo de orientação (SAWAM, 2005). Em 1985, o método de curvatura mínima foi reconhecido pela indústria, como um dos mais acurados métodos de interpolação, mas era muito pesado para o cálculo manual dos dados a serem interpolados. Hoje com o uso dos computadores cada vez mais potentes este método está emergindo e sendo aceito como padrão pela indústria.

O método de curvatura mínima é usado também nas ciências da Terra, onde a superfície interpolada gerada pela curvatura mínima é semelhante a um fino plano linear e elástico o qual passa através de cada um dos valores observados com um pequeno aumento ou estiramento.

O método de curvatura mínima gera uma superfície suavizada a qual atravessa por todos

os dados, por isso é um interpolador não exato, com isto os dados nem sempre são respeitados no seu valor real. O método gera uma grade aplicando repetidamente uma equação sobre ela, tentando suavizá-la. Cada passagem sobre a grade é contada como uma iteração e conseqüentemente os valores dos nodos são recalculados, havendo sucessivas mudanças destes valores, até que os valores sejam menores que um valor máximo residual, ou um número de iterações seja satisfeito.

A partir do SURFER 7.0 o método de curvatura mínima foi revisado, no qual o conceito de tensão, tanto interna como nas bordas, foi implementado. Com isto usa-se no primeiro passo um modelo adequado de regressão por mínimos quadrados, a equação a seguir mostra este modelo.

$$AX + BY + C = Z(X, Y) \quad (1)$$

Diferente de Smith e Wessel (1990) apud Sawam (2005), os nodos fixos são definidos como uma média dos valores vizinhos observados. Para isto considera um retângulo com tamanho e forma igual ao da célula da grade. Se há vários valores observados na vizinhança do nodo da grade, o valor que fixado para o nodo é igual a média aritmética dos valores contidos no retângulo.

No método de curvatura mínima o algoritmo que gera a superfície de dados interpolados e resolve a equação diferencial biharmônica modificada com tensão:

$$(1 - T_i) \nabla^2 (\nabla^2 Z) - (T_i) \nabla^2 Z = 0 \quad (2)$$

Isto são três conjuntos de condições limitantes:

- sobre as bordas ou extremidades:

$$(1 - T_b) \frac{\partial^2 Z}{\partial n^2} + (T_b) \frac{\partial Z}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

- sobre as bordas ou extremidades:

$$\frac{\partial (\nabla^2 Z)}{\partial n} = 0 \quad (4)$$

- nos cantos:

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial x \partial y} = 0 \quad (5)$$

onde:

∇^2 é um operador laplaciano;

n é o limite normal;

T_i é tensão interna;

T_b é a tensão no limite;

Z são observações.

4 Dados do Experimento

Os dados usados neste trabalho são 281 pontos tridimensionais (XYZ), onde a variação dos valores em X está entre $-485,662$ e $13,52$ com uma amplitude de $499,172$ unidades, a variação em Y entre $-161,16$ e $177,664$ e uma amplitude de $338,824$ e a variação em Z entre $82,454$ e $106,959$ com amplitude de $24,419$ unidades.

A distribuição espacial dos pontos pode ser observada na figura 2, mostrada a seguir. O que pode se observar que no canto superior direito faltam pontos, como também na parte central existe uma área com a mesma falta e uma concentração na parte inferior e lado direito até a metade. A figura 3 mostra o modelo digital do terreno e a figura 4 o mapa de curvas de nível gerado pelo método de curvatura mínima.

Figura 2:Distribuição espacial dos pontos

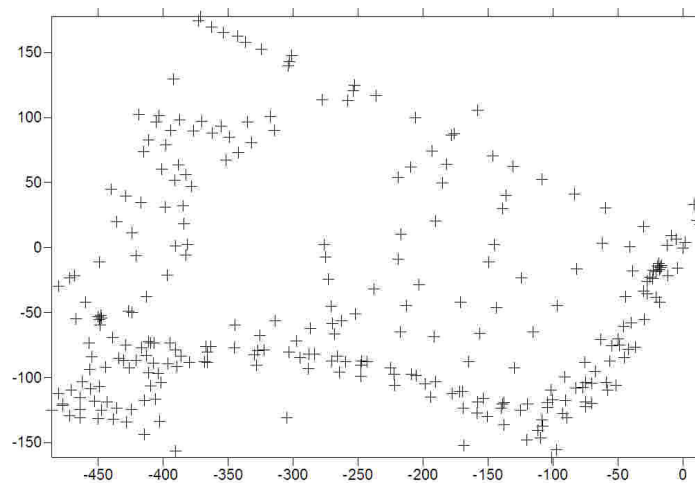


Figura 3:Modelo digital do terreno

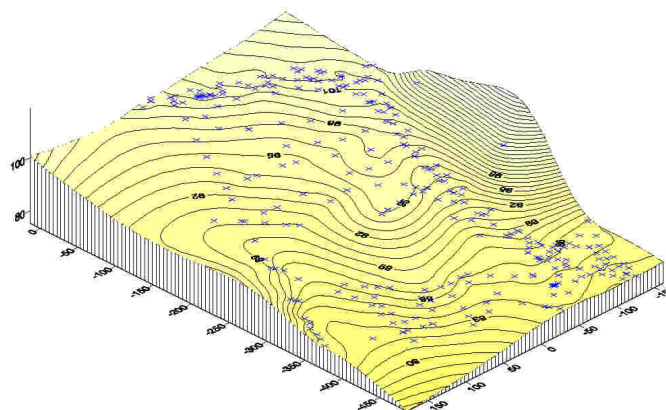
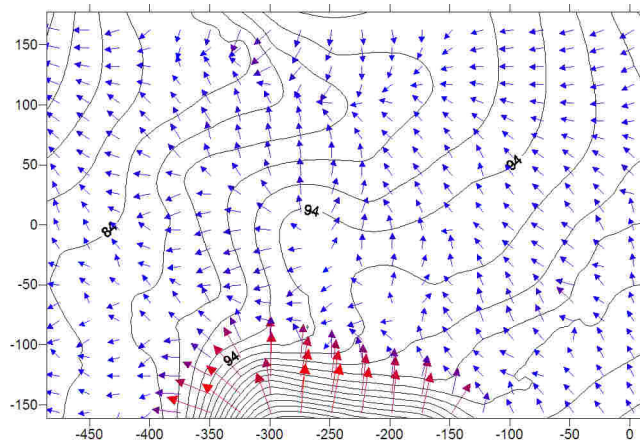


Figura 4:Mapa das curvas de nível



5 Considerações Finais

Pelo fato de ser um interpolador não exato, o método de curvatura mínima apresenta algumas vantagens e desvantagens (Landim, 2000), tais como:

Vantagens:

- A superfície estimada é independente da distribuição dos dados e da presença de ruído (noise);
- A superfície estimada é a mais suave entre as geradas por outros algoritmos que ajustam superfícies de dados amostrados;
- a superfície é absolutamente fiel aos dados originais se houver apenas um valor amostrado por célula;
- há um menor número de formas estranhas, com exceção das bordas e interior de células sem amostragem;
- é capaz de estimar além dos valores máximo e mínimo dos dados amostrados.

Desvantagens:

- uma 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 podem surgir no centro das células que não contém pontos amostrados e se um número insuficiente de interações for especificado.

Pode-se verificar que o método de curvatura mínima suaviza os contornos apresentando uma superfície suave e ainda produz curvas em lugar onde não existem dados, principalmente nas bordas. Concordando com o encontrado na literatura especificamente no trabalho realizado por Landim,2000.

Referências

- [1] Burrough, P.A.; McDonnell, R.A. **Principles of geographical information Systems**. Oxford University Press. 1998. 333p.
- [2] Espartel, L. **Curso de Topografia**. 9ª Ed. Rio de Janeiro: Globo. 1987, 655p.
- [3] Garcia, G. J.; Piedade, **Topografia aplicada às Ciências Agrárias**. 3ª Ed. São Paulo, Nobel s,d 256 p.
- [4] Landim, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. UNESP Departamento de Geologia Aplicada, Rio Claro. 2000.
- [5] Mourão, A.C.M.; Rocha, C.H.B. **Desmistificando os aplicativos Microstation; Guia Prático para Usuários em Geoprocessamento**. Petrópolis, Rio de Janeiro. Os Autores. 2001.
- [6] Rocha, C.H.B. **Geoprocessamento Tecnologia. Transdisciplinar** Juiz de Fora. Minas Gerais. Edição do Autor. 2000.
- [7] Sawarn, S.J.; Thorogood, J.L. **A compendium of directional calculations base don the minimum curvature method**. Society of Petroleum Engineers Drilling & Completion. 2005.
- [8] Surfer 7.0 – **User's guide. Countouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**: Golden Software, inc.1999.