

## VISUALIZAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

Guaraci José Erthal  
Carlos Alberto Felgueiras  
João Argemiro de Carvalho Paiva

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201, São José dos Campos, SP, Brasil

### RESUMO

O problema fundamental na visualização de modelos digitais de terreno (MDT), que são dados tridimensionais, reside na sua representação num espaço bidimensional. As técnicas tradicionais utilizadas consistem na (a) representação por curvas de nível, (b) representação por níveis de cinza e (c) traçado em perspectiva de uma grade regular. Este trabalho apresenta os primeiros resultados de um método para representação de dados tridimensionais em perspectiva, onde a superfície é apresentada de forma contínua. Este método permite a visualização do M.D.T., combinado com outras informações espaciais, como por exemplo imagens de satélite.

### ABSTRACT

The fundamental problem in displaying digital terrain models (D.T.M.) that are tri-dimensional data, is representing them in a bi-dimensional space. Traditional approaches represent D.T.M. data by: (a) contour lines, (b) grey level indexes and (c) perspective view of a regular grid. In this work, first results of a method for rendering tri-dimensional surfaces are presented. This method allows visualization of D.T.M. combined with other spatial information like satellite imagery.

### 1. INTRODUÇÃO

A representação de superfícies tridimensionais num espaço bidimensional é um problema já bastante explorado pela área de computação gráfica. Como esquemas típicos de representação bidimensional, podem-se citar: (a) a projeção geométrica plana (paralela ou em perspectiva) e (b) o traçado de curvas de isovalor. No primeiro caso, os dados estão normalmente disponíveis na forma de uma grade regular de pontos e no segundo, por polígonos com valores indicativos da terceira dimensão.

Estes esquemas permitem representar dados como por exemplo: campos de alturas (relevo), de temperaturas e magnéticos. A representação por projeção fornece um resultado visual muito superior ao do traçado por isovalores, que exige um nível de abstração maior do observador para captar a terceira dimensão.

Um fator importante para o realismo obtido pela utilização de métodos de projeção geométrica, consiste na eliminação das linhas (ou superfícies) escondidas. Existem, na literatura, diversos métodos que tratam deste assunto (Sutherland et alii, 1974). Este realismo pode ser aumentado pela aplicação de certas técnicas de computação gráfica como por exemplo: sombreamento, mistura de cores, transparência, efeitos atmosféricos e geração de texturas sintéticas (Whitted, 1980; Gordon, 1985; Kaufman and Azaria, 1985; Carey and Greenberg, 1985). Desta forma, a superfície é apresentada de forma contínua e não como uma grade como nos métodos tradicionais.

A utilização destas técnicas tem sido observada em diversas atividades como: simulação de vôo, sistemas de mapeamento geográfico e interpretação de dados meteorológicos (Bridges, 1985; Hasler et alii, 1985).

Na área de sensoriamento remoto tem-se observado uma crescente necessidade da combinação de modelos digitais de terreno (MDT) com outras informações espaciais, como mapas temáticos e imagens de satélite (principalmente as obtidas pelo LANDSAT). A representação em perspectiva da sobreposição destes dados tende a ser uma ferramenta importante para aplicações como simulação ambiental, mapeamento temático e análise de proximidade e de caminhos ótimos (Bridges, 1985; Dungan, 1979; Fishman and Schachter, 1980).

Este trabalho apresenta os esforços iniciais realizados no MCT-INPE para o desenvolvimento de algoritmos para a visualização tridimensional de M.D.T. combinados com mapas de refletâncias. Os algoritmos estão sendo desenvolvidos num micro computador tipo PC-XT com capacidade gráficas que incluem memória para armazenamento de dados gráficos (*frame buffer* de 512x512 pontos) e tabelas de cores (*look-up tables*) por hardware.

### 2. GERAÇÃO DA SUPERFÍCIE EM PERSPECTIVA

O modelo adotado para a geração da superfície em perspectiva baseia-se em Fishman & Schachter (1980). Este modelo é limitado geometricamente, na medida em que o observador tem os movimentos: translação e apenas uma rotação (guinada). Movimento de rolamento e arfagem não são permitidos. O rolamento do observador, embo

ra não tenha sido considerado, pode ser solucionado pela rotação da imagem projetada.

Seja  $(X, Y, Z)$  o sistema de coordenadas onde estão referenciados: o observador, o modelo digital do terreno  $(H(x, y))$  e a grade contendo os valores de refletâncias  $(R(x, y))$  a serem sobrepostas ao M.D.T.. Sejam ainda:  $O = (ox, oy, oz)$  a posição do observador,  $\alpha$  o ângulo de visão da direção horizontal, orientado no sentido anti-horário em relação ao eixo  $X$  e FOV o campo de visada (tangente da metade do ângulo total de visada tanto na direção vertical como horizontal). As Figuras 1 e 2 ilustram as hipóteses acima descritas.

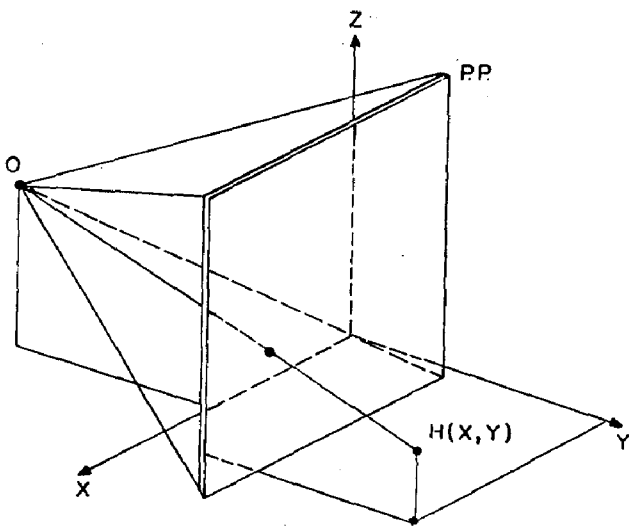


Fig. 1 - Referencial utilizado na projeção.

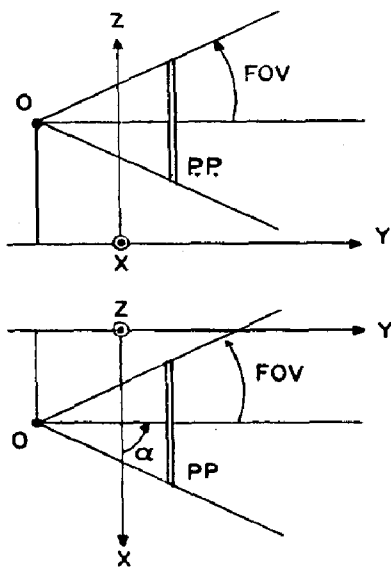


Fig. 2 - Orientação do observador e do plano de projeção.

Neste contexto, o plano de projeção (PP) se posiciona perpendicularmente ao plano  $(X, Y)$ , tem orientação  $\alpha$  e localiza-se a uma distância  $D$  do observador;  $D$  assume o valor  $N/(2 \cdot FOV)$ , sendo  $N$  o tamanho da linha (ou coluna) de varredura do dispositivo de saída. Considerando um dispositivo de saída com  $N \times N$  pixels, a linha do horizonte (LH) do observador será projetada em  $N/2$ . O plano de projeção pode ser movimentado na direção vertical ( $Z$ ), pela modificação da linha do horizonte, o que implicará apenas no janelamento da imagem projetada, sem alterações na sua perspectiva.

A técnica utilizada na projeção é semelhante a conhecida como *ray tracing* (Whitted, 1980) onde um raio ligando o observador a cada pixel da tela, permite localizar qual ponto do MDT está sendo enxergado por cada pixel. Esta técnica aplica-se aqui de maneira inversa. Constrói-se um plano ligando o observador a cada coluna do dispositivo de saída (referencial de projeção). Desta forma, o MDT será interceptado por  $N$  planos (a imagem de saída será gerada por colunas). Para um dado plano, parte-se da posição  $(ox, oy, 0)$ , percorrendo-se o MDT ao longo do plano. A cada par  $(x, y)$  encontrado, o valor de altura  $H(x, y)$  correspondente é projetado sobre o referencial de projeção. Como o MDT é percorrido a partir da posição do observador, o problema de visibilidade fica solucionado, uma vez que serão observados aqueles valores de altura que tiverem valores de projeção superiores aos calculados anteriormente. Dado um plano de corte com orientação  $\theta + \alpha$  em relação ao plano  $(X, Z)$ , a projeção de um dado  $H(x, y)$  sobre o dispositivo de saída é dada por:

$$L = \text{Mínimo} \left[ N - LH + \frac{(H(x, y) - oz) \cdot N}{P \cdot 2 \cdot FOV} \cdot N \right]$$

onde  $L$  é a posição dentro da coluna do dispositivo de saída que está sendo analisada, e  $P$  a projeção, na direção  $\alpha$ , do segmento que liga os pontos  $(ox, oy, 0)$  e  $(x, y, 0)$ .

Podem existir regiões do plano de projeção que não interceptam o M.D.T. Estas regiões devem ser preenchidas com uma cor de fundo (cor de céu). Este problema tem solução simples: antes de iniciar o mapeamento de cada coluna da imagem de saída, ela é preenchida com a cor de fundo. A medida que efetua-se a projeção, vai-se substituindo esta cor pelas cores do mapa de refletâncias. No final, podem ou não restar pixels com a cor de fundo.

O método está sendo testado para combinações de M.D.T. com mapas de refletância tanto sintéticos como naturais. Os M.D.T. sintéticos são obtidos através de superfícies matemáticas conhecidas, ou pelos modelos estocásticos propostos por Fournier et alii (1982), que são aproximações de modelos fractais.

Os resultados obtidos até agora estão de acordo com o trabalho de Fishman e Schachter (1980) e indicam que o método é apropriado para conjuntos de dados densos (alta resolução). Este comentário baseia-se no fato de que cada ponto da imagem de saída é obtido a partir de um

único valor de refletância. Porém, o realismo da imagem fica prejudicado uma vez que a implementação atual não prevê o sombreado da imagem. Uma vantagem do método reside no fato de que, devido à simplicidade de sua implementação, operações como janelamento (*clipping*) e determinação das linhas ocultas são executadas com extrema rapidez se comparadas a modelos mais precisos como os propostos por Coquillart and Gangnet (1984).

### 3. CONCLUSÃO

Apresentou-se um modelo para a visualização tridimensional de M.D.T. combinado com mapas de refletâncias. Trabalhos futuros deverão permitir ampliar o realismo das imagens obtidas. Para tanto, serão explorados modelos para: (a) sombreado (Gordon, 1985; Fishman and Schachter, 1980), (b) redução do efeito de sobreposição (*aliasing*) causado pela amostragem (Dungan, 1979) e (c) geração sintética de texturas (Kaufman e Azarias, 1985; Carey and Greenberg, 1985). Serão explorados também outros modelos de visualização tridimensional, como os propostos por Coquillart and Gangnet (1984).

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DRIDGES, A. Merging of technology accomplishes realistic scene simulation. *Computer Technology Review*, p. 145-153, Summer, 1985.
- CAREY, R.; GREENBERG, D.P. Textures for realistic image synthesis. *Computer and Graphics*, 9(2): 125-138, Feb. 1985.
- COQUILLART, S.; GANGNET, M. Shaded display of digital maps. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Cap. 4(7): 35-42, July 1984.
- DUNGAN, W. A terrain and cloud image generation model. *Computer Graphics: a quarterly report of SIGGRAPH-ACM*, 13(2): 143-150, Apr. 1979.
- FISHMAN, B.; SCHACHTER, B. Computer display of height fields. *Computer and Graphics*, 5(2): 53-60, Feb. 1980.
- FOURNIER, A.I.; FUSSEL, D.; CARPENTER, L. Computer rendering of stochastic models. *Communications of the ACM*, 25(6): 371-384, June 1982.
- GORDON, D. Image space shading of 3-dimensional objects. *Computer Vision Graphics and Image Processing*. CVGIP-29(3): 461-376, Mar. 1985.
- HASLER, A.; PIERCE, H.; MORRIS, K.R.; DODGE, J. Meteorological data fields "in perspective". *Bulletin American Meteorological Society*, 6(7): 796-801, July 1985.
- KAUFMAN, A.; AZARIAS, S. Texture synthesis technics for computer graphics. *Computers and Graphics*, 9(2): 139-145, Feb. 1985.
- SHUTERLAND, I.E.; SPROULI, R.F.; SCHUMACKER, R. A. A characterization of ten hidden-surface algorithms. *ACM Computer Surveys*, 6(1):1-55 Mar. 1974.
- WHITTED, T. An improved illumination model for shaded display. *Communications of ACM*, 23 (6): 343-349, June, 1980.