

# Modelo digital de elevação do município de Confresa-MT

Raphael Maia Aveiro Cessa<sup>1</sup>

Tomaz Alves de Souza<sup>2</sup>

Felipe Gimenes Rodrigues Silva<sup>3</sup>

Antonio Carlos Tadeu Vitorino<sup>4</sup>

## Resumo

Este trabalho objetivou construir modelos digitais de elevação (MDE) do Município de Confresa-MT por meio de diferentes interpoladores. O MDE foi obtido a partir dos valores de altitude elipsoidal fornecidos pelo aplicativo computacional Google Earth nos vértices de uma grade poligonal retangular regular com auxílio do aplicativo computacional TrackMaker. O sistema de coordenadas geográficas métrico UTM, sistema geodésico de referência SIRGAS 2000 com o elipsoide GRS80 e datum geocêntrico foram utilizados nas configurações dos aplicativos computacionais Track Maker e Golden Surfer 8.0 – esse último utilizado para confecção do MDE por meio dos interpoladores. Embora os valores de altitude utilizados tenham sido elipsoidais, tornando obrigatório o emprego do Mapa Geoidal do Brasil na obtenção de altitudes referenciadas ao geóide (nível médio dos mares) foi possível estimar Modelos Digitais de Elevação do Município de Confresa-MT com base em softwares e base de dados georreferenciados disponíveis e de baixo custo, acreditando-se que os resultados obtidos são relevantes para utilização nas demais áreas científicas interessadas daquele Município. Constatou-se que a comparação entre interpoladores utilizados nas representações do MDE do Município de Confresa-MT foi mais interessante quando se observaram as formas pelas quais esses criam seus diagramas.

**Palavras-chaves:** Poligonal retangular regular. Interpoladores. Modelo.

## 1 Introdução

Confresa é o Município mais populoso da Microrregião Norte do Vale do Araguaia inserido no Estado do Mato Grosso. A região é formada por grandes planaltos suaves. Entre as serras formam-se grandes vales verdejantes com imensas extensões de terras planas propícias para plantio de grãos e pastagens. Está aquele município na transição dos Biomas Cerrado e Floresta Amazônica, entre os paralelos 10° a 11° e os meridianos 51° a 53°. Com 24.293 habitantes (IBGE, 2012), a população do município distribui-se 34,80% na zona urbana e 65,20% na zona rural.

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, *campus* Confresa, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico – Área Agronomia. Confresa, Mato Grosso (BR). raphael.cessa@cfs.ifmt.edu.br. (066) 3464-2600. Avenida Vilma Fernandes, 300, Setor Santa Luzia, Confresa, Mato Grosso, CEP 78652-000.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul, *campus* Ponta Porã, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico – Área Agronomia. Campo Grande, Mato Grosso do Sul (BR). tomaz\_agro@hotmail.com. (067) 3433-7652. Avenida Afonso Pena, 775, Bairro Amambai, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, CEP 79005-000.

3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, *campus* Confresa, professor pesquisador. Confresa, Mato Grosso (BR). felipe.silva@cfs.ifmt.edu.br. (066) 3464-2600. Avenida Vilma Fernandes, 300, Setor Santa Luzia, Confresa, Mato Grosso, CEP 78652-000.

4 Universidade Federal da Grande Dourados, Professor e Pesquisador. Dourados, Mato Grosso do Sul (BR). antoniovitorino@ufgd.edu.br. (067) 3411-3849. Rua João Rosa Goes, 1.761, Bairro Vila Progresso, Dourados, Mato Grosso do Sul, CEP 79825-070.

Modelos Numéricos de Terreno representam a variação de determinada característica associada a cada ponto nos vértices das linhas formadoras de um quadrículo imaginário (gride) no terreno ou superfície terrestre. Quando se modela a altimetria ou a elevação do terreno, esse modelo passa a denominar-se Modelo Digital de Elevação (MDE) ou Modelo Numérico de Elevação (MNE) (DOYLE, 1978).

Um MDE é de grande importância para municípios com economia emergente e que necessitam de infraestrutura de serviços básicos nas diversas áreas, como por exemplo, instalação de torres de transmissoras e/ou receptoras, projetos de estradas, barragens, etc.

De acordo com Felgueiras e Erthal (1998), os MDEs mais utilizados são os de grade poligonais, com destaque para os de grade triangular e retangular regular. A grade triangular ou TIN (“triangular irregular network”) representa uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas coordenadas de localização (x, y) e o atributo z, com o valor de elevação ou altitude. Os algoritmos para geração da grade triangular baseiam-se na triangulação de Delaunay com restrição de região. Quanto mais equiláteras forem as faces triangulares, maior a exatidão com que se descreve a superfície. Modelos de grade retangulares não requerem estrutura complexa para armazenamento de dados, “ocupam” pouca memória dos compartimentos computacionais, porém, em termos qualitativos, para projeções geométricas planas que podem ser visualizadas em perspectiva ou paralela, produzem resultado estético superior ao modelo triangular.

Com uso de interpoladores é possível formar um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais conhecidos. São métodos que possibilitam proceder à reconstituição (aproximada) de uma função apenas conhecendo algumas das suas abscissas e respectivas ordenadas; estima um parâmetro para o qual não existe informação disponível, considerando-se que os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais semelhantes do que pontos mais afastados (SOUZA et al., 2011).

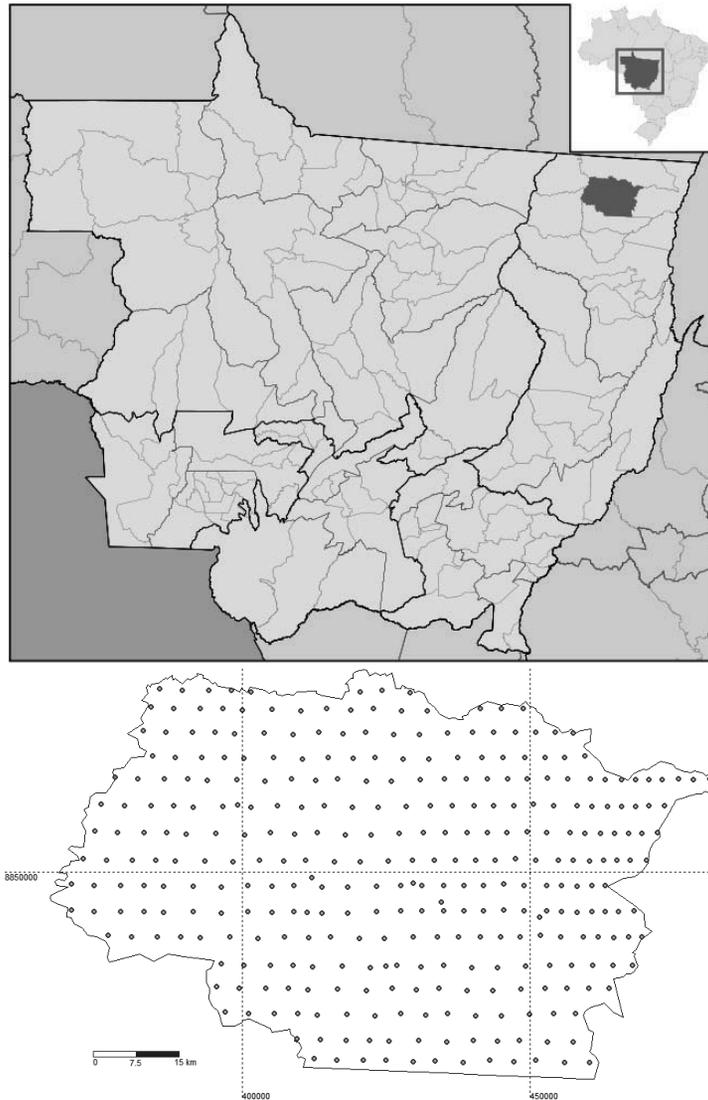
O processo de interpolação é constituído de duas partes, sendo a primeira a definição de um relacionamento de vizinhança, e a segunda a definição de qual método calculará os valores desconhecidos (VALERIANO; ROSSETI, 2012). Assim, este trabalho objetivou construir MDEs do Município de Confresa-MT, por meio dos interpoladores Krigagem, Mínima Curvatura, Inverso Ponderado da Distância e Triangulação com Interpolação Linear.

## 2 Material e Métodos

O Modelo Numérico de Elevação do Município de Confresa-MT foi obtido a partir dos valores de altitude elipsoidal fornecidos pelo aplicativo computacional Google Earth nos vértices de uma grade poligonal retangular regular (Figura 1) formada a partir de coordenadas geográficas métricas UTM com auxílio do aplicativo computacional TrackMaker. A base de dados georreferenciados do Município de Confresa-MT foi fornecida pelo Ministério dos Transportes, no arquivo digitalizado do sistema viário.

O sistema de coordenadas geográficas métrico UTM, sistema geodésico de referência SIRGAS 2000 com o elipsoide GRS80 e datum geocêntrico foram utilizados nas configurações dos aplicativos computacionais Track Maker e Golden Surfer 8.0 – esse último utilizado para confecção do MDE por meio dos interpoladores.

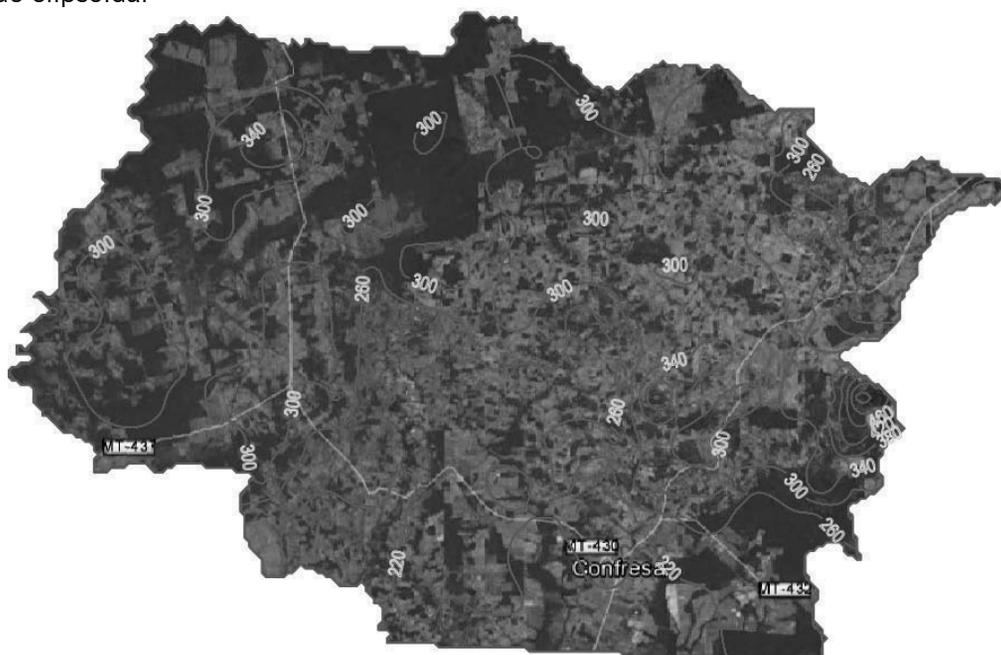
**Figura 1.** Croqui da Localização do Município de Confresa, no Estado do Mato Grosso, Brasil (acima) e grade poligonal retangular regular para obtenção dos valores de altitude elipsoidal (abaixo).



Fonte: Elaboração própria.

Os interpoladores utilizados na criação do MDE do Município de Confresa-MT foram Krigagem, Mínima Curvatura, Inverso Ponderado da Distância e Triangulação com Interpolação Linear. A análise comparativa dos métodos interpoladores com resultados mais coerentes com a realidade do fenômeno estudado deu-se por inspeção visual, com auxílio da Figura 2 e conhecimento prático do relevo da área em estudo, uma vez que não há testes estatísticos para comprovar a eficiência da interpolação (DAVIS, 1986). Uma análise exploratória dos resíduos e das médias dos valores na grade gerada pelos interpoladores provenientes da diferença entre o valor amostrado e o valor predito pelo modelo foi calculada.

**Figura 2.** Imagem Google Earth do Município de Confresa-MT contendo linhas de cotas com valores da altitude elipsoidal



Fonte: Elaboração própria.

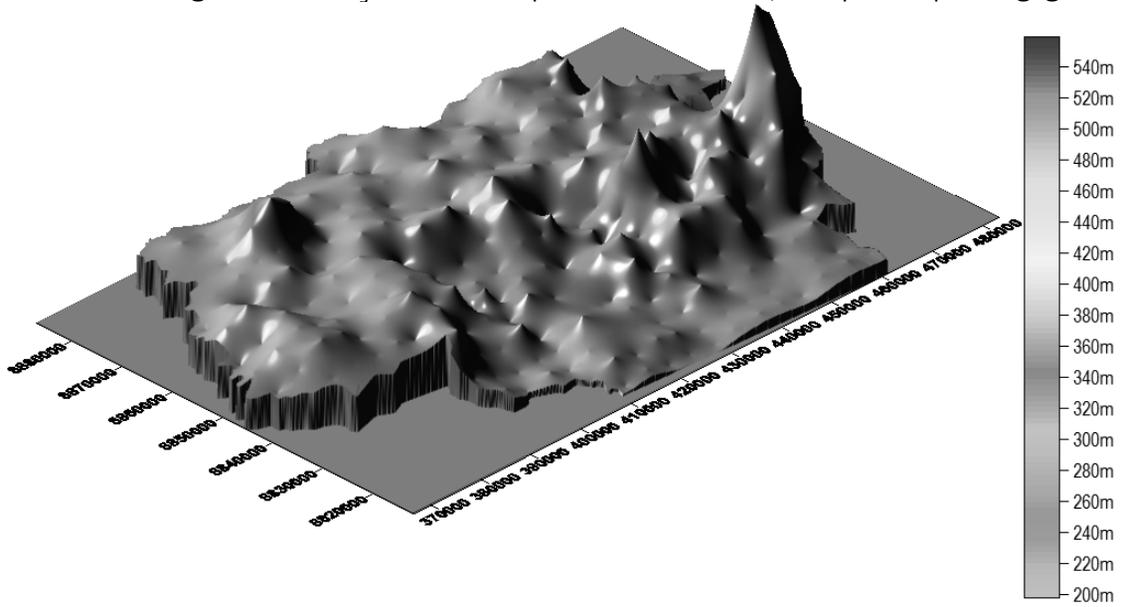
## 3 Resultados e Discussão

De acordo com Özdamar, Demirhan e Özpınar (1999), entre os interpoladores utilizados no presente trabalho (Figuras 2, 3, 4 e 5) existem aqueles do tipo global, que criam modelos de superfície usando todos os pontos de dados conhecidos simultaneamente (uma única função para toda a área de estudo), e os interpoladores locais, que se concentram em pequenas regiões no entorno do ponto amostral, sendo interpolado para assegurar que as estimativas sejam feitas apenas com os dados de vizinhança. Podem também variar quanto à transição (abrupta ou gradual), ao seu caráter determinístico (incorporam critérios estatísticos na determinação do peso atribuído aos pontos amostrais para cálculo das interpolações) ou probabilístico (geram uma combinação linear dos valores amostrados baseando-se apenas na geometria da distribuição espacial dos dados amostrados) (SOARES, 2000), e quanto à exatidão: exatos ou inexatos; neste sentido conclui-se que interpoladores exatos respeitam os dados existentes, enquanto os inexatos ou aproximados assumem incertezas (erros) nos dados existentes.

### Krigagem

Na Figura 3 pode-se observar o MDE do Município de Confresa-MT interpolado por Krigagem. A superfície pontiaguda indica que a distribuição relativa de peso aplicada ao dado central da amostra no seu entorno em função da distância ao pixel estimado tende a se concentrar fortemente no local da amostra (VALERIANO; ROSSETTI, 2012). Há o decréscimo relativo do peso em torno da amostra. Ainda, esses pesos são determinados a partir de uma análise espacial baseada no semi-variograma. Assim, segundo Valeriano e Rossetti (2012), a krigagem torna-se mais inexata quanto maior for o efeito pepita (quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semi-variograma, mais forte é a dependência espacial do fenômeno investigado e, portanto, maior a sua continuidade espacial).

**Figura 3.** Modelo Digital de Elevação do Município de Confresa-MT, interpolado por Krigagem

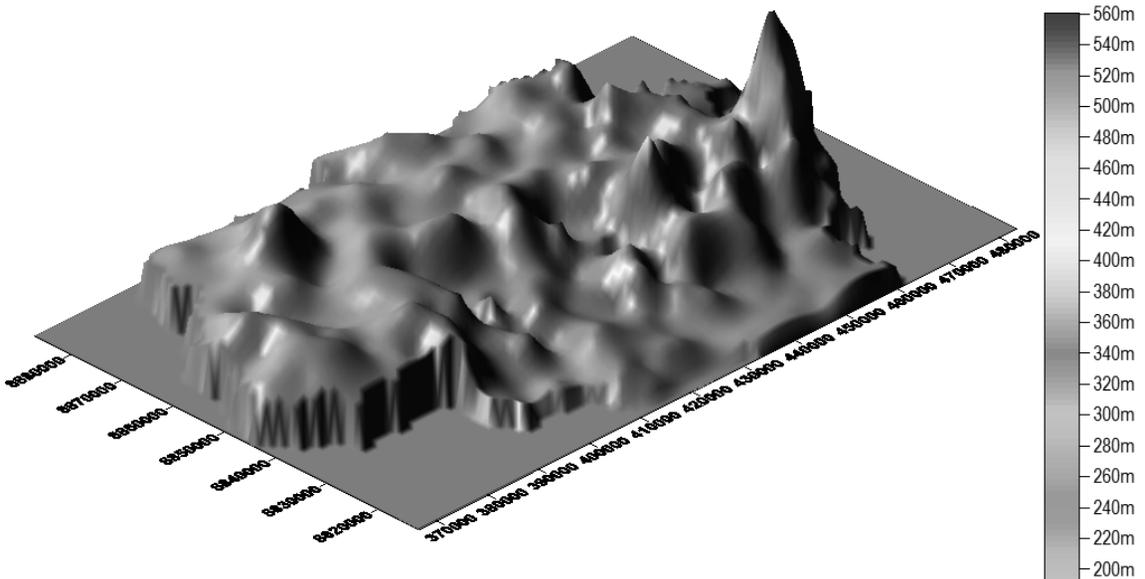


Fonte: Elaboração própria.

### Mínima Curvatura

A interpolação não exata por Mínima Curvatura utiliza um polinômio para gerar uma superfície que minimize a curvatura da mesma, resultando em uma superfície suavizada que passa pelos pontos amostrados, reproduzindo os valores da variável (ANDRIOTTO, 2009). Nesse método de interpolação o usuário especifica a rigidez, a sinuosidade e a aderência da superfície aos pontos de entrada. Na Figura 4 pode-se visualizar o MDE do município de Confresa-MT pelo interpolador Mínima Curvatura.

**Figura 4.** Modelo Digital de Elevação do Município de Confresa-MT interpolado por Mínima Curvatura.

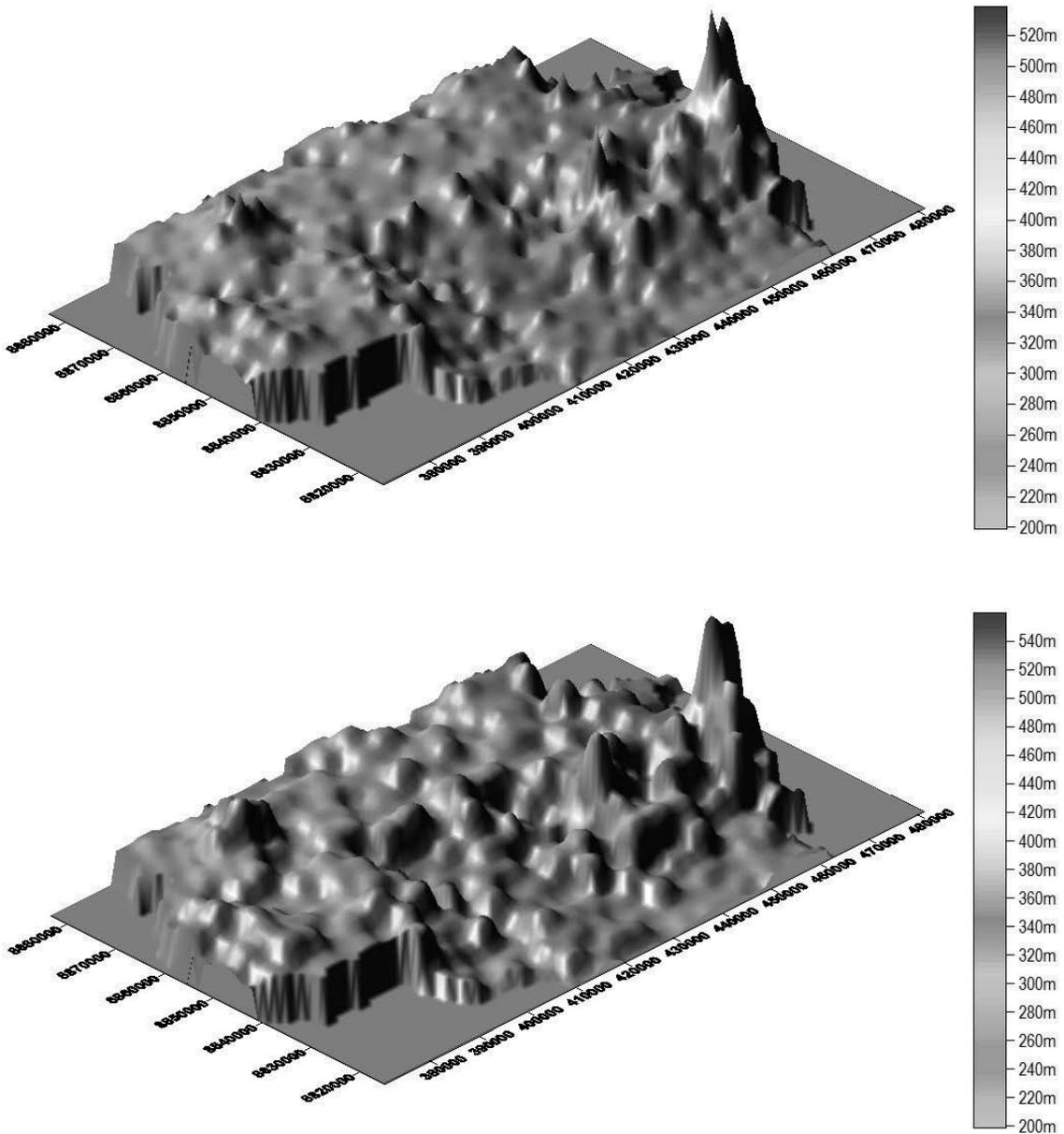


Fonte: Elaboração própria.

## Inverso ponderado da distância

O interpolador Inverso Ponderado da Distância é um método matemático que estima um valor para um local não amostrado, como uma média ponderada dos valores dos dados dentro de uma vizinhança. O cálculo da média é ponderada pela distância entre o ponto a ser interpolado e seus vizinhos. O peso da distância é ajustado por um expoente que, quanto maior, maior a influência da distância. Tal expoente está presente na equação adotada pelo algoritmo, onde a variável distância é elevada a qualquer expoente (escolhido pelo manipulador). Na Figura 5 pode-se visualizar o MDE do município de Confresa-MT interpolado pelo modelo Inverso Ponderado da Distância com uso dos expoentes “2” e “4”.

**Figura 5.** Modelo Digital de Elevação do Município de Confresa-MT interpolado pelo modelo Inverso Ponderado da Distância com uso do expoente “2” (acima) e “4” (abaixo).



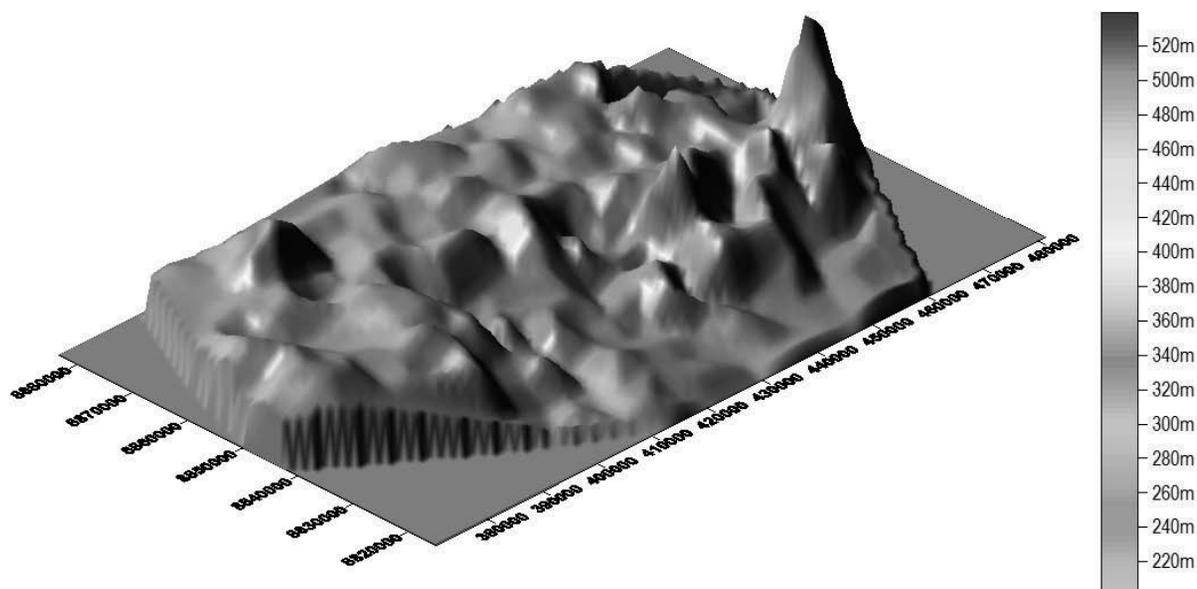
Fonte: Elaboração própria.

O método interpolador Inverso Ponderado da Distância possui uma tendência a formar contornos concêntricos ao redor dos pontos de amostragem (ANDRIOTTI, 2009), o que é explicado pelo seu caráter estatístico, em que a influência de cada ponto tende a ter um raio de ação definido de forma igual em todas as direções.

## Triangulação com Interpolação Linear

Esse interpolador exato utiliza da “triangulação de Delaunay” e possui a propriedade de produzir triângulos o mais próximos de equiláteros quanto possível (MIRANDA, 2005). Não permitem a extrapolação dos dados para fora do domínio das estações amostradas. A alta dependência dos pontos amostrados faz com que os resultados gerados pela triangulação, a partir de uma malha de pontos pouco densa, não seja tão efetiva. Um fator positivo deste método está ligado à possibilidade de acomodar as descontinuidades naturais do fenômeno (SOUZA et al., 2011).

**Figura 6.** Modelo Digital de Elevação do Município de Confresa-MT interpolado por Triangulação com Interpolação Linear.



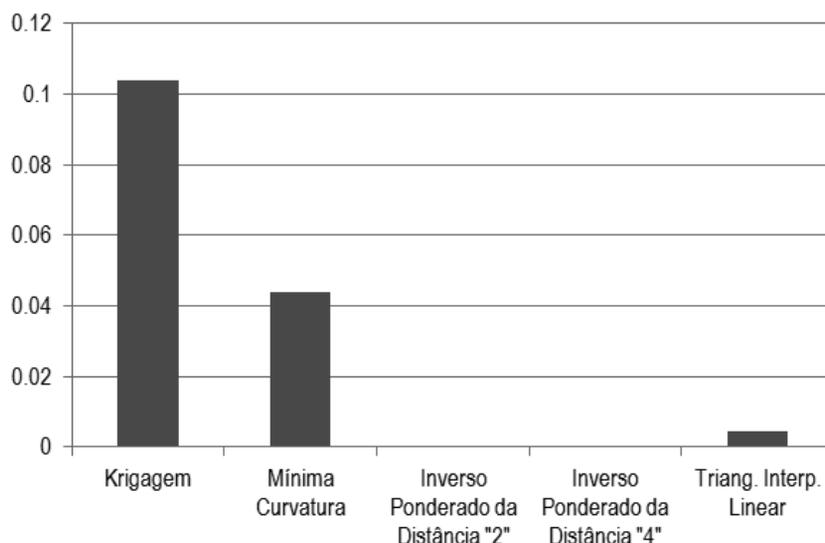
Fonte: Elaboração própria.

## Análise de resíduos

As médias dos resíduos de cada modelo interpolador são representadas na Figura 6. Quando se comparam diferentes resoluções de malha, maiores valores residuais, médios ou não, estão associados com menores resoluções. No entanto, para comparação de interpoladores que utilizam uma mesma resolução, é interessante observar as formas que esses utilizam para expressar o diagrama produzido e o fenômeno físico a ser representado.

No presente trabalho comparou-se a média dos resíduos com base em malhas geradas para o Município de Confresa-MT com resolução 50m x 50m (Figura 7).

**Figura 7.** Médias dos resíduos de cada modelo interpolador com base em malhas geradas para o Município de Confresa-MT com resolução 50m x 50m.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com Mazzini e Schettini (2009), os maiores valores de resíduos observados pelos interpoladores Krigagem e Mínima Curvatura dão-se pela pouca relação existente entre o diagrama produzido e o fenômeno físico a ser representado, produzindo uma grande diferença entre os valores preditos dos valores reais, ou seja, os valores calculados da interpolação não se aproximaram dos valores amostrados. Ainda, segundo os referidos autores, menores valores residuais para os interpoladores Inverso ponderado da Distância e Triangulação Interpolar Linear podem ser explicados pelo fato de que tais métodos “forçam” o ajuste dos valores preditos em relação aos dados amostrados. É importante ressaltar que, embora estatisticamente menores valores residuais possam ser considerados uma vantagem, deve-se analisar com cautela a geração de diagramas pouco realistas.

## 4 Conclusão

Embora os valores de altitude utilizados tenham sido elipsoidais, tornando obrigatório o emprego do Mapa Geoidal do Brasil na obtenção de altitudes referenciadas ao geóide, foi possível estimar Modelos Digitais de Elevação do Município de Confresa-MT com base em softwares e base de dados georreferenciados disponíveis e de baixo custo, acreditando-se que os resultados obtidos são relevantes para utilização nas demais áreas científicas interessadas daquele Município.

Constatou-se que a comparação entre interpoladores utilizados nas representações do MDE do Município de Confresa-MT foi mais interessante quando se observaram as formas pelas quais esses criaram seus diagramas.

# Digital elevation model of Confresa Municipality

## Abstract

This study aimed to build digital elevation models (MDE) of the Municipality of Confresa-MT by different interpolators. The MDE was obtained from the values of altitude elpsoidal provided by Google Earth application computing in the vertices of a regular rectangular grid polygon with the aid of computer application TrackMaker. The geographic coordinate system metric UTM, geodetic reference system SIRGAS 2000 with the GRS80 ellipsoid and geocentric datum were used in the application settings computational Track Maker and Golden Surfer 8.0 – the latter used for making the MDE through interpolation. Although values have been used ellipsoidal altitude, making the job of the geoid map of Brazil in obtaining altitudes referenced to the geoid (average sea level has been possible to estimate Digital Elevation Models of the Municipality of Confresa-MT based and software based georeferenced data available and inexpensive, it is believed that the results are relevant for use in other scientific areas that concerned Municipality. Was found that the comparison between interpolators used in representations of the city of MDE Confresa-MT was more interesting when observing the ways in which these create their diagrams.

**Key words:** Regular rectangular polygon. Interpolators. Model.

## Referências bibliográficas

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geo-estatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003.

DAVIS, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. 12 ed. New York: John Wiley and Sons, 1986.

DOYLE, F. J. Digital terrain models: an overview. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s.l.], v. 44, n. 12, p. 1481-1485, 1978.

FELGUEIRAS, C. A.; ERTHAL, G. J. Aplicações de modelos numéricos de elevação e integração com imagens digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1998, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1988. p. 485-490.

IBGE. **Censo 2012**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/censo2010/dados\\_divulgados/index.php?uf=51](http://www.ibge.gov.br/censo2010/dados_divulgados/index.php?uf=51)>. Acesso em: 08 ago. 2012.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Base de Dados Georreferenciada**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/index/conteudo/id/36604>>. Acesso em: 10 set. 2012.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.

ÖZDAMAR, L.; DEMIRHAN, M.; ÖZPINAR, A. A comparison of spatial interpolation methods and a fuzzy areal evaluation scheme in environmental site characterization. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s.l.], v. 23, n. 5, p. 399-422, 1999.

SOARES, A. **Geoestatística aplicada às ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: IST Press, 2000.

SOUZA, J. L. L. L. et al. Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba, **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.4295-4303, 2011.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, [s.l.], v. 32, n. 2, p. 300-309, 2012.

## **Histórico editorial**

Recebido: 17/09/2012

Avaliação e copidesque: 21/09/2012 a 22/01/2013