

ANÁLISE DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (DEM) SOB DIFERENTES MÉTODOS DE COLETA DE DADOS APLICADOS A ENGENHARIA CIVIL

Data de aceite: 03/07/2023

Carlos Eduardo Zacarkim

Universidade Federal do Paraná,
Programa de Pós-graduação em
Engenharia e Tecnologia Ambiental,
Laboratório de Engenharia e Tecnologia
em Aquicultura – LETA
Palotina, PR, Brasil

Alexandre Leseur dos Santos

Universidade Federal do Paraná –
Palotina, PR, Brasil

Rafael Hoffmann

Universidade Federal do Paraná –
Palotina, PR, Brasil

ABSTRACT: Digital Elevation Models (DEMs) are the data structures commonly adopted to store topographical information and are often interpolated to establish values for entire terrain points. From the models it is possible to calculate volumes, areas, draw profiles and cross-sections, generate shaded or gray-level images, generate slope and exposure maps, generate slices at desired intervals and three-dimensional perspectives. The present work carried out a comparative test between different methodologies for obtaining data from Digital Elevation Models (DEM), considering

that the method of capturing the information collected in the field can influence the efficiency of the generated elevation model and, consequently, the execution of projects related to civil engineering. The results corroborate the hypothesis that few points mask the real topography of the place, resulting in problems in the expected earth movement and location of work in engineering projects.

KEYWORDS: Land representation, Level curves, Earthworks.

1 | INTRODUÇÃO

O uso dessas ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (GIS), facilita um processo de tomada de decisão mais eficiente devido às suas capacidades de análise espacial. A utilidade do processo decisório, em termos operacionais, será significativamente melhorada quando considerados a qualidade dos modelos de superfície gerados.

Os pacotes de software GIS oferecem vários métodos para criar modelos de superfície confiáveis, que

uma vez coletados os pontos de amostragem por diferentes técnicas e métodos de interpolação, se pode criar uma estrutura de dados para toda a área de interesse. Neste aspecto, a interpolação é uma operação crucial em SIG, que pode influenciar no processo de visualização e melhor compreensão do conjunto de dados para projetos em diferentes áreas da engenharia civil (Ajvaz & Czimber, 2019).

Segundo Arun (2013), a visualização de entidades geoespaciais geralmente envolve Modelos Digitais de Elevação (DEMs), que são interpolados para estabelecer coordenadas tridimensionais para todo o terreno avaliado. A precisão do modelo de terreno gerado depende do mecanismo de interpolação adotado e, sendo, portanto, necessário a investigação do desempenho comparativo de diferentes abordagens neste contexto.

Em alguns casos, a qualidade de um método de interpolação pode variar em relação ao tamanho da amostra de dados e tipos de relevo encontrado. Dentre as definições da representação tridimensional de uma área da superfície terrestre, existem algumas nomenclaturas mais usuais que são utilizadas com a finalidade de discriminar as informações contidas na superfície. Dentre elas: Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Numérico do Terreno (MNT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS) (Grohmann et al., 2008; Camana, 2016).

Os Modelos Digitais de Elevação (DEMs) são as estruturas de dados geralmente adotadas para armazenar informações topográficas e geralmente são interpolados para estabelecer os valores para pontos inteiros do terreno. Desta forma, o DEM é uma representação de células quadradas (pixels) com um valor de elevação associado a cada pixel (Arun, 2013). Os DEMs podem ser obtidos a partir de curvas de nível, mapas topográficos, levantamentos de campo, técnicas de fotogrametria, interferometria de radar e altimetria a laser (Desmet, 1997; Manuel, 2004).

As técnicas de interpolação baseiam-se nos princípios da autocorrelação espacial, que pressupõe que os pontos mais próximos são mais semelhantes em relação aos pontos mais distantes. Os métodos de interpolação utilizados são geralmente classificados em abordagens locais e globais. Os métodos locais preveem o valor de um ponto desconhecido com base nos valores dos pixels da vizinhança, considerando as técnicas da Ponderação de Distância Inversa (IDW), Polinômio Local, Vizinheiro Mais Próximo (NN) e Funções de Base Radial (RBFs). Métodos de interpolação global usam todos os pontos de amostra disponíveis para gerar previsões para um ponto específico, como funções de interpolação polinomial (Burrough e McDonnell, 1998; Arun, 2013).

Obtidos os Modelos Digitais de Elevação é possível calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (INPE, 2016). Esses produtos podem ainda, serem integrados com outros tipos de dados geográficos a fim de obter outras aplicações em geoprocessamento como planejamento urbano e rural, análises de aptidão agrícola, determinação de áreas de

riscos e geração de relatórios de impacto ambiental, fundamentais em obras de Engenharia (Felgueiras & Câmara, 2016).

Desta forma, o presente trabalho testou diferentes metodologias de obtenção de dados de Modelos Digitais de Elevação (DEM), sob a hipótese de que o modelo de captura das informações levantadas a campo pode influenciar na execução de empreendimentos da engenharia civil.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho realizou um teste comparativo entre metodologias de obtenção de dados de Modelos Digitais de Elevação (DEM), através do software de automação topográfica Posição, sendo testadas técnicas gerais de interpolação vizinho mais próximo e spline. As técnicas de confecção do modelo de elevação foram comparadas com a captura das informações em campo com relevo, número de pontos obtidos, sistematização das coletas de pontos e sua possível influência na execução de obras de engenharia civil (Desmet, 1997; Pearson et al., 2017; Crema, et al., 2020).

Foram realizados levantamentos de campo, comparando dois modelos de obtenção de dados para gerar DEM de referência, através de um conjunto específico de pontos teste para avaliação comparativa sendo: uma base fixa, com pontos previamente fixados e outra base de pontos aleatórios, adaptados conforme metodologia proposta por Crema et al., (2020). Os modelos foram testados em relação ao nível de representação, influência do número de pontos amostrais e sua aplicabilidade na implantação de projetos.

O experimento foi realizado em um terreno de propriedade privada, localizado em Palotina-PR, com relevo levemente irregular, delimitado por um perímetro de 180 metros, sendo 60m X 30m, com uma área de 1.800m².

As coletas de dados, foram realizadas da seguinte forma:

1. Coleta de dados por Pontos Fixos, conforme a metodologia adaptada de Crema et al., (2020). Sendo amostrados 15, 30 e 45 pontos de coleta, com distancias equidistantes entre si, de modo a criar um grade uniforme de pontos, conforme Figura 1.

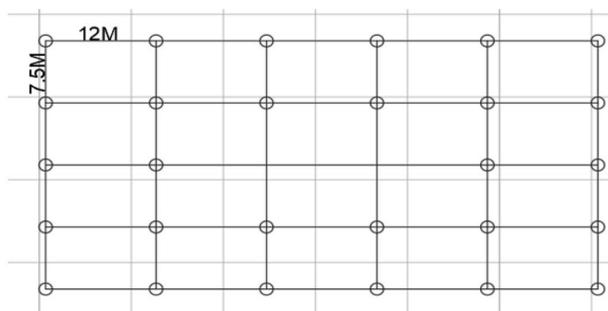


Figura 1 - Proposta de grade de pontos gerados, com distâncias equidistantes.

2. Coleta de dados por Pontos Aleatórios, conforme a metodologia adaptada de Crema et al., (2020). Sendo amostrados 15, 30 e 45 pontos de coleta, com distancias variadas e aleatórias, de modo a criar um grade aleatório de pontos obtidos por observação do terreno, considerando as variações do relevo, acidentes encontrados (buracos, aterros, depressões etc), obstáculos e tipo de superfície.

A coleta de dados ocorreu por meio de estação total Leica TS06, Plus R500. Os Modelos de Elevação gerados para os diferentes métodos de coletas analisados, foram realizados pelo software de Sistema de Automação Topográfica Posição V3.

Para avaliação dos modelos criados, foi simulado a confecção de um platô para implantação de um edifício ao centro do terreno, de dimensões de 20mx15m, sendo avaliado para os diferentes métodos de coleta de dados, o volume de terra, custos para implantação da obra, erros na demarcação da obra pelas diferentes técnicas.

Para avaliação dos métodos de captura de dados para confecção dos DEM (aleatório e pontos fixo), em função do número de pontos para cada método e o erro encontrado por eles na aplicação no platô, os resultados foram submetidos a análise estatística por relação linear simples, pelo coeficiente de correlação de Pearson, sendo aplicados o teste de médias pela análise de variância pelo método dos mínimos quadrados, seguido do teste de Tukey a posteriori.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresentada os resultados da simulação dos modelos digitais de elevação para 15, 30 e 45 pontos, obtidos pela forma fixa e aleatória.

Pontos	Cota do terreno obtida pelo DEM	Cota proposta para no projeto	Resultado teórico de aterro	Resultado de aterro obtido	Erro obtido
MODELO 15 PONTOS ALEATORIOS					
P1	29,959	31	1,041	1,093	0,052
P2	30,124	31	0,876	0,938	0,062
P3	29,871	31	1,129	1,777	0,648
P4	29,559	31	1,441	1,579	0,138
MODELO 15 PONTOS FIXOS					
P1	29,654	31	1,346	1,082	-0,264
P2	29,987	31	1,013	1,068	0,055
P3	29,934	31	1,066	1,171	0,105
P4	29,667	31	1,333	1,579	0,246

MODELO 30 PONTOS ALEATORIOS					
P1	29,957	31	1,043	1,066	0,023
P2	30,003	31	0,997	1,057	0,06
P3	29,867	31	1,133	1,153	0,02
P4	29,521	31	1,479	1,564	0,085
MODELO 30 PONTOS FIXOS					
P1	29,814	31	1,186	1,064	-0,122
P2	29,954	31	1,046	1,057	0,011
P3	29,921	31	1,079	1,168	0,089
P4	29,452	31	1,548	1,559	0,011
MODELO 45 PONTOS ALEATORIOS					
P1	29,873	31	1,127	1,066	-0,061
P2	29,984	31	1,016	1,05	0,034
P3	29,914	31	1,086	1,159	0,073
P4	29,424	31	1,576	1,561	-0,015
MODELO 45 PONTOS FIXOS					
P1	29,964	31	1,036	1,067	0,031
P2	29,962	31	1,038	1,063	0,025
P3	30,024	31	0,976	1,155	0,179
P4	29,526	31	1,474	1,563	0,089

Tabela 1 – Apresenta os resultados entre cotas para as representações de modelagem para 15, 30 e 45 pontos obtidos de forma aleatório e fixa.

A Tabela 1, está representada a implantação de um talude de 4 pontos, considerando a locação das estacas P1 a P4, com a simulação do perfil do terreno obtido por cada DEM gerado e o resultado da implantação real com o erro obtido por estaca. Conforme demonstrado na Tabela 1, o modelo adotado de 15 pontos aleatórios foi o que apresentou o maior erro de implantação na ocasião da locação do aterro proposto, onde a estaca do P3 apresentou erro de 0,648m em relação a cota prevista pelo modelo adotado. O modelo que apresentou melhor desempenho com relação a implantação, foi o de 45 pontos obtidos de forma aleatória, com diferenças na locação das estacas de 1 a 4 cm. De acordo com Crema et al., (2020), a qualidade do Modelo Digital de Elevação (DEM) depende dos dados de origem ou das técnicas utilizadas para obtê-los.

A Tabela 2 apresentada os resultados em relação a estimativa do volume de terra a

ser movimentado, área de influência e erro obtido considerando o modelo utilizado como base para implantação da terraplanagem do platô proposto utilizado para edificações civis.

FORMA DE OBTENÇÃO DO DEM	VOLUME ATERRO (m ³)	DIF. ENTRE VOLUMES (m ³)	ÁREA (m ²)	DIF. ENTRE ÁREAS (m ²)
15 PONTOS ALETÓRIOS	785,238	0,000	820,700	1,360
15 PONTOS FIXOS	753,639	31,599	816,870	5,190
30 PONTOS ALETÓRIOS	778,299	6,939	815,000	7,060
30 PONTOS FIXOS	775,930	9,308	822,060	0,000
45 PONTOS ALETÓRIOS	741,358	43,880	816,880	5,180
45 PONTOS FIXOS	756,141	29,097	817,060	5,000

Tabela 2 – Apresenta os resultados de volume e área entre as representações de modelagem para 15, 30 e 45 pontos obtidos de forma aleatório e fixa.

Com base nos Modelos Digitais de Elevação foi possível calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (INPE, 2016). Analisando o volume de terra a ser movimentado utilizado-se como base os DEMs gerados, o modelo que melhor representou foi de 45 pontos obtidos de forma aleatória, sendo a maior variação da simulação de movimentação de terraplanagem foi obtida pelo modelo de 15 pontos aleatórios, com erro de 43,88m³ entre eles.

A análise estatística dos dados apontou diferença significativa entre o número de pontos adotado e a obtenção de dados no método aleatório para formação do DEM (Tabela 3).

PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	LIMITE DE 95% DE CONFIANÇA		*PR<CHISQ
Método Aleatório	0.2871	0.1306	0.0311	0.5431	0.0279
Método Fixo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.
Pontos	0.0014	0.0028	-0.0041	0.0070	0.6145
Pontos* Método Aleatório	-0.0079	0.0040	-0.0158	-0.0001	0.0485
Pontos* Método Fixo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.
Escala	67.2645	19.3696	38.2535	118.2769	

*O parâmetro de escala foi estimado por máxima verossimilhança. Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 3: Análise de estimativas de parâmetros pela máxima verossimilhança.

Na análise de covariância, demonstrou que a partir de 37 pontos o modelo que melhor se ajusta ao DEM é o Aleatório, sendo que para menos pontos o que menor se ajusta é o Fixo, que apresentou distribuição normal (Figura 2).

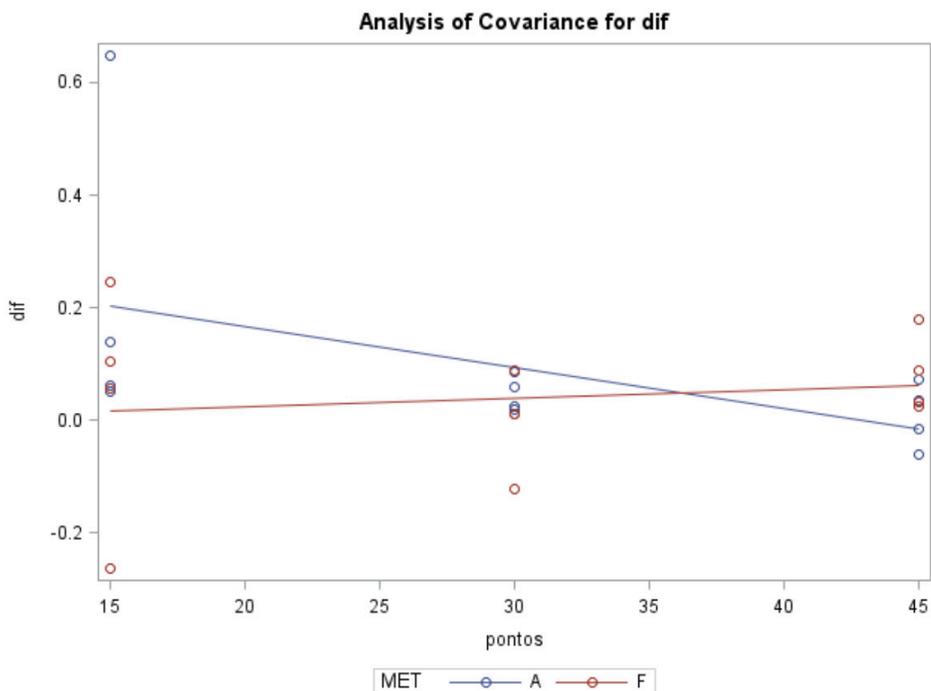


Figura 2 - Análise de covariância entre os métodos e o número de pontos para obtenção do DEM.

Os Modelos Digitais de Elevação (DEMs) são as estruturas de dados geralmente adotadas para armazenar informações topográficas e geralmente são interpolados para estabelecer os valores para pontos inteiros do terreno (Arum, 2013). A análise de covariância apresentou favorável ao número de pontos utilizados para obtenção do Modelo Digital de Elevação obtidos de forma fixa e com poucos pontos. Uma hipótese para isso, é que o DEM obtido com poucos pontos pode não ter pego as variações no terreno, de modo que o modelo ficou artificialmente satisfatório.

A Figura 3, ilustra a representação dos Modelos Digitais de Elevação através de curvas de nível geradas para 15 e 45 pontos obtidos de forma aleatória.

Entretanto, o número de pontos utilizados para obtenção do DEM de forma fixa e aleatória foi relevante, onde a partir de 37 pontos o modelo que melhor se ajusta é o modelo Aleatório. Contudo, o DEM obtido com poucos pontos pode não ter pego as variações no terreno, de modo que o modelo ficou artificialmente satisfatório também representado na visualização das curvas de nível.

Sugestão para novos trabalhos é que se repita os testes com um maior número de pontos para verificar a real eficácia entre os modelos e que possa possibilitar fazer uma correlação entre o número de pontos e o perfil do terreno.

REFERÊNCIAS

- Ajvazi, B., & Czimber, K. (2019). A comparative analysis of different DEM interpolation methods in GIS: case study of Rahovec, Kosovo. *Geodesy and Cartography*, 45(1), 43-48. <https://doi.org/10.3846/gac.2019.7921>
- Arun, P. V. (2013). A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 16, 133-139. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.09.001>
- Burrough, P.A., McDonnell, R.A., 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York, pp. 333–335.
- Camana, Jheini Cristina. Modelos Digitais de Elevação: Aplicação em Bacias Hidrográficas. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.
- Crema, S., Llana, M., Calsamiglia, A., Estrany, J., Marchi, L., Vericat, D., & Cavalli, M. (2020). Can inpainting improve digital terrain analysis? comparing techniques for void filling, surface reconstruction and geomorphometric analyses. *Earth Surface Processes and Landforms*, doi:10.1002/esp.4739
- Davidović, M., Petrović, V. M., & Borisov, M. (2016). Analysis of the Display of Digital Terrain Models using different interpolation methods. *Geodetski list*, 70(3), 267-282
- Desmet, P.J.J. (1997). Effects of interpolation errors on the analysis of DEMs. *Earth Surface Processes and Landforms*, Issue 6, Pages 563-580 10.1002/(SICI)1096-9837(199706)22:6<563::AID-ESP713>3.0.CO;2-3
- Felgueiras, Carlos A.; CÂMARA, Gilberto. Modelagem Numérica de Terreno. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em fev. de 2016.
- Grohmann, Carlos H.; RICCOMINI, Claudio. STEINER, Samar S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em Geomorfologia. *Revista Geografia Acadêmica*, v.2, n.2, p.73-83. 2008.
- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Declividade. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/declividade_gradiente.php>. Acesso em maio de 2016.
- Manuel P. (2004). Influence of DEM interpolation methods in drainage analysis, GIS Hydro 04, Texas, USA.
- Pearson E.; Smith M.W.; Klaar M.J.; Brown L.E. (2017). Can high resolution 3D topographic surveys provide reliable grain size estimates in gravel bed rivers? *Geomorphology*, Volume 293, Part A, , Pages 143-155, doi: 10.1016/j.geomorph.2017.05.015