



UTILIZAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA OBTENÇÃO DE CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME DE BACIA DE DETENÇÃO

George de Cássia Mendes¹; Celso Bandeira de Melo Ribeiro²; Thaís Therezinha Rezende de Melo³; Vinícius Bignoto da Rocha Cândido⁴; Marcel Pereira de Andrade⁵; Ana Carolina da Silva Araújo⁶ & Luis Gustavo Abdo Gante⁷

RESUMO – O conhecimento das características físicas de uma bacia hidrográfica é fundamental para se entender os principais parâmetros que influenciam nas ocorrências de inundações. A partir da utilização de um modelo digital de elevação (MDE), é possível determinar os atributos do terreno, como elevação, declive e aspectos locais. Eles auxiliam nos cálculos de áreas, volumes, simulações de enchentes e barragens, caracterização de bacias, entre outras aplicações. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial do uso de MDE's na obtenção de curvas “Cota x Área x Volume” de bacias de retenção que serão utilizadas no projeto que busca a melhor solução de controle de inundações no município de Carangola – MG. Assim como, também, apontar a discrepância dos resultados obtidos por diferentes MDE's. Foram utilizados para a obtenção de curva “Cota x Área x Volume” os modelos ALOS PALSAR, ALOS 3D WORLD, ASTER V3, Copernicus DEM e SRTM. A partir do emprego de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, foi demonstrado o potencial existente na utilização de MDE's para obtenção de curvas “Cota x Área x Volume”, assim como também a grande disponibilidade de dados gratuitos globais que podem servir de suporte a diversos projetos.

ABSTRACT – Knowledge of the physical characteristics of a watershed is essential to understand the main parameters that influence the occurrence of floods. Using a digital elevation model (DEM), it is possible to determine terrain attributes, such as elevation, slope and local aspects. They help in the calculation of areas, volumes, simulations of floods and dams, characterization of basins, among other applications. In this way, the present work aims to evaluate the potential of the use of MDE's in obtaining “Height x Area x Volume” curves of detention basins that will be used in the project that seeks the best flood control solution in the municipality of Carangola - MG. As well as pointing out the discrepancy of the results obtained by different DEM's. The ALOS PALSAR, ALOS 3D WORLD, ASTER V3, Copernicus DEM and SRTM models were used to obtain the “Height x Area x Volume” curve. From the use of geoprocessing and remote sensing techniques, the existing potential in the use of DEM's to obtain “Height x Area x Volume” curves was demonstrated, as well as the wide availability of free global data that can support several projects.

Palavras-Chave – Sensoriamento Remoto, Reservatórios, Amortecimento de cheias.

1) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, (32) 2102-3419 (R.210), george.mendes@engenharia.ufjf.br

2) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, (32) 2102-3419 (R.210), celso.bandeira@ufjf.edu.br

3) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, (32) 2102-3419 (R.210), thais.melo@engenharia.ufjf.br

4) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, (32) 2102-3419 (R.210), vinicius.bignoto@engenharia.ufjf.br

5) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, (32) 2102-3419 (R.210), marcel.andrade@engenharia.ufjf.br

6) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, (32) 2102-3419 (R.210), ana.araujo@engenharia.ufjf.br

7) Prefeitura Municipal de Carangola: Praça Cel. Maximiano, 88, Carangola, (32) 3741-3136, luisgabdo@gmail.com



INTRODUÇÃO

O conhecimento das características físicas (rede de drenagem, relevo, forma da bacia, cobertura e uso do solo, geologia), de uma bacia hidrográfica é fundamental para se entender os principais parâmetros que influenciam nas ocorrências de inundações.

O modelo digital de elevação (MDE) é a representação digital das altitudes da superfície topográfica em relação a um *datum* de referência. Os MDE's são utilizados para determinar os atributos do terreno, como elevação, declive e aspectos locais. Eles auxiliam nos cálculos de áreas, volumes, simulações de enchentes e barragens, caracterização de bacias, entre outras aplicações.

Sendo assim, torna-se importante o conhecimento dos diferentes tipos de MDE's disponíveis e a escolha daquele que melhor represente o terreno, com vistas a subsidiar estudos de áreas de inundação e enchentes para adoção de medidas de controle.

Ao se pensar no conjunto de ações realizadas para atenuar os efeitos decorrentes de grandes eventos de chuvas intensas, existem medidas estruturais e não estruturais que podem ser planejadas (Franco, 2004).

As bacias de retenção fazem parte das medidas estruturais e são definidas como estruturas que sejam capazes de armazenar por um curto prazo, um volume de água suficiente para abater os picos de vazão de saída (Penna et al., 2019).

Essas bacias, normalmente, descarregam o volume de água afluente em um período inferior a 24 horas, portanto em condições de vazão normal permanecem secas e não alteram significativamente o regime de vazões dos cursos d'água onde estão inseridas.

A resistência das comunidades locais em relação à implantação de bacias de retenção/detenção, normalmente está relacionada ao porte da obra. Conforme relata Canholi (2014), é possível minimizar essa resistência com a introdução do conceito de múltiplos usos dessas bacias, como por exemplo para as funções paisagísticas, de lazer e recreação.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial do uso de MDE's na obtenção de curvas Cota x Área x Volume de bacias de retenção que serão utilizadas no projeto que busca a melhor solução de controle de inundações no município de Carangola – MG. Assim como também apontar a discrepância dos resultados obtidos por diferentes MDE's.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delimitação da área de estudo

A área de estudo foi definida a partir da análise de locais à montante da cidade de Carangola em que seja possível deter grandes volumes de água durante possíveis eventos de chuvas extremas e que não haja estruturas existentes como habitações e estradas. Desta forma foi apontado como um local com potencial para reserva temporária de água, a área de várzea localizada entre a cachoeira do boi e o distrito de São Manoel, em Carangola (figura 1).

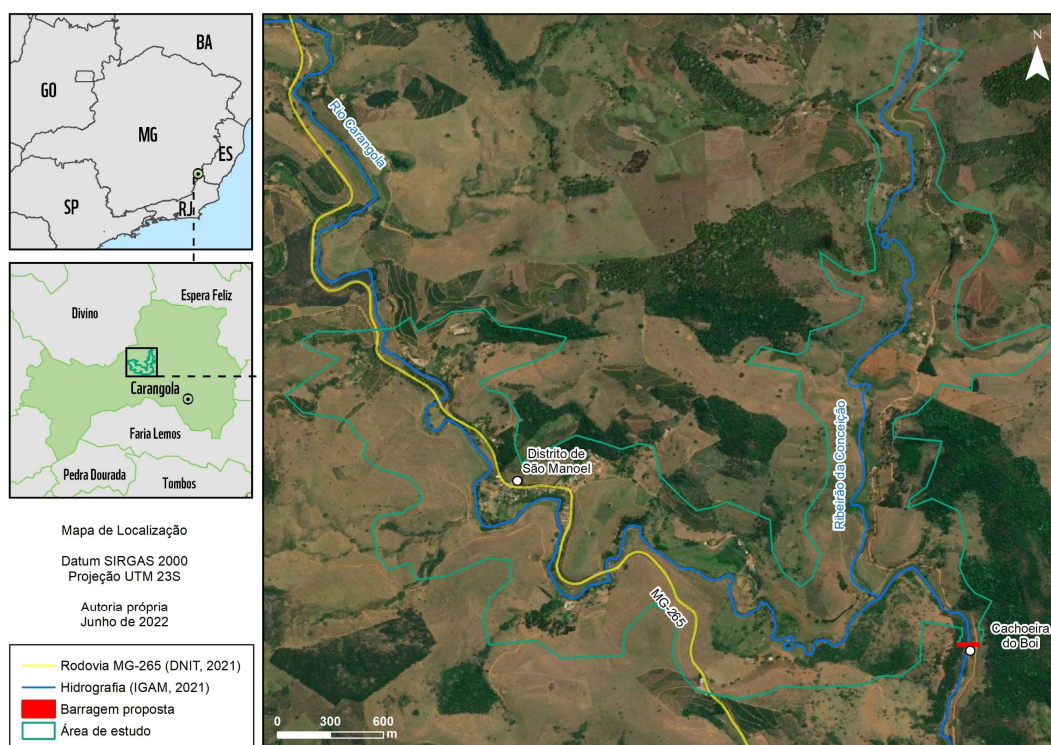


Figura 1 – Localização da área de estudo definida com potencial para amortecimento de cheias.

A partir da escolha da área, se pensou em dimensionar uma grande barragem próxima a cachoeira do boi, onde o rio Carangola tem seção reduzida entre morros. Desta forma, ao se levantar os dados de volume da área, é possível entender quais efeitos trariam no hidrograma de vazões de cheias da bacia de contribuição para a cidade de Carangola.

Portanto, a seguir serão obtidas as curvas Cota x Área x Volume deste local para contribuir com os estudos de concepção e eficiência de soluções de controle de inundações no município de Carangola.



Modelos Digitais de Elevação

Atualmente, existem diversos modelos digitais de elevação gratuitos que cobrem grande parte da Terra e estes podem ser obtidos por diferentes técnicas, como interferometria por radar ou estereoscopia orbital, onde: (i) interferometria por radar é uma técnica de imageamento ativo, na qual o radar emite o sinal através de uma antena e registra as características do retorno do sinal através de outras antenas localizadas em uma distância conhecida; (ii) estereoscopia é um método que compara informações de imagens extraídas do mesmo local, porém de ângulos diferentes de imageamento a partir de pares estereoscópios embarcados.

Foram obtidos para a área de estudo, os dados de cinco diferentes MDE's disponibilizados gratuitamente que podem ser utilizados no cálculo e delimitação de áreas e volumes.

A Tabela 1 relaciona as principais características técnicas de cada produto de MDE, visando facilitar a comparação entre os seus atributos.

Tabela 1 – Resumo das principais características de cada modelo digital de elevação.

MDE	ALOS PALSAR	ALOS 3D WORLD	ASTER V3	Copernicus DEM	SRTM
Tipo	FBS / Hi-Res Terrain Corrected	DSM	DEM	GLO-30	1 Arc-Second Global
Agência	ASF NASA / JAXA	JAXA	NASA / METI	ESA	NASA
Resolução Espacial	12,5 m	30 m	30 m	30 m	30 m
Tipo de Sensor	Radar	PRISM – Óptico	Óptico	Radar	Radar
Data de detecção	Fev/2011	Jan/2006 a Abr/2011	Mar/2000 a Nov/2013	2010-2015	Fev/2000
Métodos	Interferometria por radar	Estereoscopia orbital / Média de pixels	Estereoscopia orbital / Média de pixels	Interferometria por radar	Interferometria por radar / Interpolação bicúbica

Fonte: Autoria Própria.

Todos os MDE's obtidos são transformados para o *datum* SIRGAS 2000, projeção UTM 23S e recortados para a área de estudo.

Cálculo e delimitação das áreas e volumes

É aplicada uma metodologia para o cálculo e delimitação das áreas e volumes de alagamento para cada cota do terreno, utilizando o *software ArcGIS* e as tabelas de atributos dos elementos, conforme figura 2:

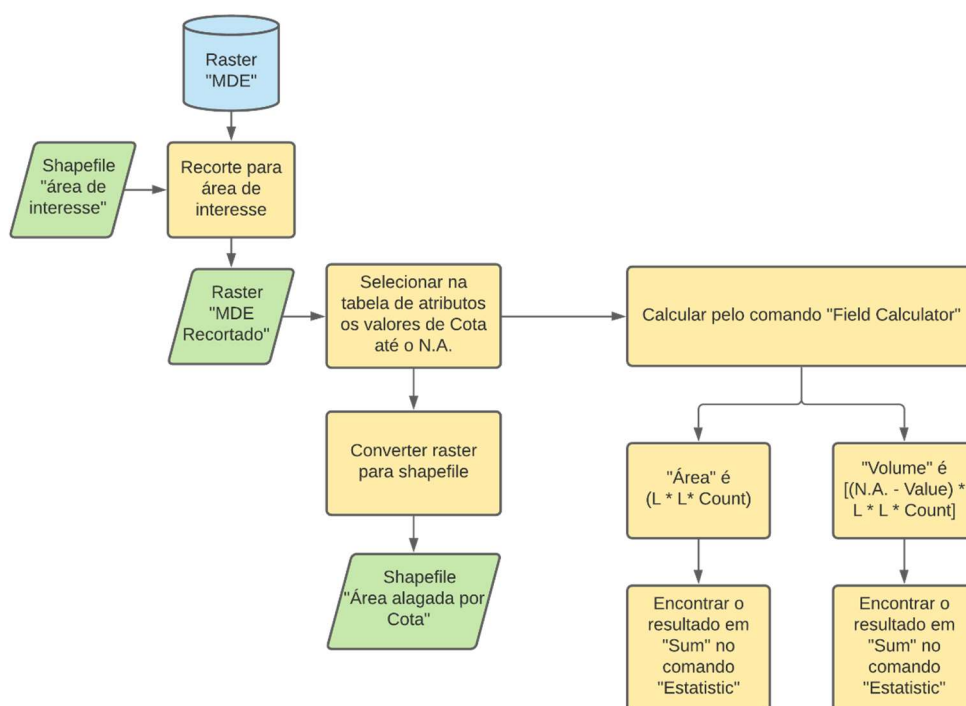


Figura 2 – Fluxograma 1. Passo a passo para o cálculo da área e do volume das bacias de retenção pelo *software ArcGIS*.

No fluxograma, é demonstrado o passo a passo para calcular a área, o volume e delimitação do shapefile com o lago para uma dada cota a partir da escolha do Nível de Água (N.A.). É importante complementar que para calcular a área é utilizado o tamanho do lado do pixel (L) que é correspondente a resolução espacial do mesmo. Os valores tabelados da coluna “Count” somam a quantidade de pixels que correspondem a determinada cota do terreno e os valores “Value” são a cota do terreno em metros.

Os cálculos realizados pela metodologia retornam valores de área em metros quadrados e volume em metros cúbicos.

RESULTADOS

São apresentados a seguir as tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 referentes as curvas Cota x Área x Volume para a área de estudo (mesma área do shapefile), calculados por diferentes MDE's:



Tabela 2 – Curva Cota x Área x Volume calculada a partir dos dados do MDE ALOS PALSAR.

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
593	-	-
594	3.906	1.250
595	10.000	5.156
596	26.875	15.156
597	54.375	42.031
598	102.813	96.406
599	160.156	199.219
600	215.938	359.375
601	263.594	575.313
602	303.750	838.906
603	343.281	1.142.656

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3 – Curva Cota x Área x Volume calculada a partir dos dados do MDE ALOS 3D WORLD.

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
600	-	-
601	26.100	3.600
602	109.800	29.700
603	192.600	139.500
604	263.700	332.100
605	326.700	595.800
606	359.100	922.500
607	400.500	1.281.600
608	437.400	1.682.100
609	495.00	2.119.500
610	562.500	2.614.500

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4 – Curva Cota x Área x Volume calculada a partir dos dados do MDE ASTER V3.

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
580	-	-
581	1.800	900
582	3.600	2.700
583	4.500	6.300
585	6.300	15.300
586	9.900	21.600
587	17.100	31.500
588	22.500	48.600
589	27.900	71.100
590	31.500	99.000

Fonte: Autoria Própria.



Tabela 5 – Curva Cota x Área x Volume calculada a partir dos dados do MDE Copernicus DEM.

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
599	-	-
600	32.400	2.700
601	131.400	35.100
602	227.700	166.500
603	288.000	394.200
604	333.000	682.200
605	366.300	1.015.200
606	409.500	1.381.500
607	452.700	1.791.000
608	509.400	2.243.700
609	600.300	2.753.100

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 6 – Curva Cota x Área x Volume calculada a partir dos dados do MDE SRTM.

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
599	-	-
600	2.700	1.800
601	18.000	4.500
602	40.500	22.500
603	81.900	63.000
604	136.800	144.900
605	193.500	281.700
606	239.400	475.200
607	286.200	714.600
608	319.500	1.000.800
609	369.000	1.320.300

Fonte: Autoria Própria.

A cota da calha do rio encontrada, na seção do barramento, é diferente em cada MDE, sendo de 580 metros para o MDE ASTER V3, 593 metros no MDE ALOS PALSAR, 599 metros nos MDE's Copernicus DEM e SRTM e 600 metros no MDE ALOS 3D WORLD.

A seguir é apresentado na tabela 7 o resumo dos volumes encontrados no nível de água máximo proposto, 10 metros. Este nível de água é calculado a partir da adição de 10 metros a partir da cota da calha do rio, na seção do barramento.



Tabela 7 – Valores encontrados para o nível de água igual a 10 metros em todos os MDE's.

MDE	Volume (m³)
Copernicus DEM	2.753.100
ALOS 3D WORLD	2.614.500
SRTM	1.320.300
ALOS PALSAR	1.142.656
ASTER V3	99.000

Fonte: Autoria Própria.

É possível perceber a grande diferença de valores que pode ser encontrada utilizando diferentes MDE's, visto que entre o menor volume e o maior volume existe uma diferença de 2.654.100 m³, embora os dois tenham a mesma resolução espacial. A média dos valores encontrados para o nível de água igual a 10 metros fica em torno de 1.586.000 m³.

DISCUSSÃO

No anteprojeto de bacias de retenção, para se levantar informações que darão subsídio ao projeto, o emprego de técnicas de sensoriamento remoto se mostram importantes devido à redução de custos, de acordo com o estudo de Souza (2019).

Contudo devido as imprecisões associadas aos modelos digitais de elevação gerados a partir de produtos obtidos por sensores remotos, é necessários estudos prévios para sua utilização (Pereira et al. 2019).

O estudo de Zhao et al. (2021) comparou os modelos SRTM 1, SRTM 3, ASTER e ALOS 3D WORLD e conclui que o ALOS 3D WORLD obteve o melhor desempenho dentre os comparados para a área analisada em uma bacia na China.

Já na pesquisa de Pereira et al. (2019), foram comparados os dados dos modelos SRTM 1, SRTM 3, Topodata, ASTER GDEM, AW3D30 e ALOS PALSAR em duas sub-bacias diferentes no estado do Tocantins e se chegou à conclusão que o MDE ALOS PALSAR apresentou melhor resultado para a sub-bacia do Ribeirão dos Mangues enquanto para a sub-bacia do Rio Soninho o MDE que apresentou a melhor precisão foi o SRTM 1.

Com isso, podemos perceber que a escolha do melhor MDE está relacionada com as condições do terreno interessado, ainda que existam MDE's com resolução espacial menor do que outros. É importante frisar também que devido as áreas do projeto serem relativamente pequenas com relação a resolução espacial dos MDE's disponibilizados gratuitamente, é indicado que sejam levantados



dados de suporte em campo com sensores de resolução melhor, visto que os cursos d'água da região por vezes são menores do que o tamanho dos pixels que compõem os rasters dos MDE's.

CONCLUSÃO

Os valores volumétricos em metros cúbicos obtidos utilizando os dados do MDE ASTER V3 são até 28 vezes menores se comparado ao MDE Copernicus DEM, sendo respectivamente as fontes que forneceram os menores e os maiores valores. Quando se compara os valores encontrados a partir dos dados do MDE ALOS PALSAR, que tem a melhor resolução espacial (pixel de 10 metros), com os dados encontrados nos outros MDE's (pixel de 30 metros), temos uma diferença percentual de +141% para os valores utilizando Copernicus DEM, +129% para os valores encontrados utilizando o MDE ALOS 3D WORLD, +16% para SRTM e -91% ao se utilizar os dados do ASTER V3.

Esse estudo comparativo demonstra que as diferenças de volumes de acumulação e áreas de alagamento das barragens propostas, podem variar significativamente, em função do modelo digital de elevação adotado. Dessa forma pode-se perceber a importância da execução de um levantamento topográfico ou LiDAR no local para possibilitar uma maior precisão nos valores desses parâmetros, no prosseguimento dos estudos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Juiz de Fora e a Prefeitura Municipal de Carangola pelo apoio e financiamento do projeto de pesquisa que resultou neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- CANHOLI, A.P. (2005). *“Drenagem urbana e controle de enchentes.”* São Paulo: Oficina de Textos. 302p.
- DE SOUZA, C. B. (2019). *“Limites e possibilidades de aplicações de modelos digitais de elevação gerados a partir de produtos obtidos por sensores remotos nos cálculos de volumes de terraplenagem.”* Revista do TCU, n. 144, p. 132-165.
- FRANCO, Edu José; FILL, H. (2004). *“Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional.”* Universidade Federal do Paraná.
- PENNA, L.; RIBEIRO, F.; ROCHA, C.; FILHO, A. (2019). *“A utilização de reservatórios no amortecimento de vazões de cheia: apresentação e discussão de casos do sudeste brasileiro.”* GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n. 16, p. 275-295.



PEREIRA, H.; CATALUNHA, M.J; BORGES JR, C.R.; SOUZA, P.T.G. (2019). “*Qualidade de modelos digitais de elevação utilizando dados do SIGEF: Estudo de caso para as sub-bacias do Ribeirão dos Mangues e Rio Soninho no estado de Tocantins.*” Revista Brasileira de Geografia Física.

ZHAO, S., Qi, D., Li, R., CHENG, W., & ZHOU, C. (2021). “*Performance comparison among typical open global DEM datasets in the Fenhe River Basin of China.*” European Journal of Remote Sensing, 54(1), pp. 145-157.