

METODOLOGIA PARA PRÉ-PROCESSAMENTO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

METHODOLOGY FOR PRE-PROCESSING OF DIGITAL ELEVATION MODELS

 Jorge da Paixão Marques Filho ^A

 Sonia Maria Lima Silva ^B

 Vivian Castilho da Costa ^B

^A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^B Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Recebido em: 21/04/2024 | 04/12/2024 DOI: 10.12957/tamoios.2025.82947

Correspondência para: Sonia Maria Lima Silva (sonia.silva@eng.uerj.br)

Resumo

A disseminação de dados altimétricos, através dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), permitiram o avanço de diversas áreas científicas, mais especificamente a Geomorfometria. No entanto, os MDEs podem apresentar ruídos, comprometendo os resultados finais. O presente artigo tem como objetivo propor uma metodologia para pré-processamento de MDEs, que otimize o processo subsequente de geração de variáveis geomorfométricas. A metodologia proposta consistiu de: a) controle de qualidade altimétrica; b) preenchimento das depressões espúrias; e c) aplicação de filtros. Dentre os MDEs avaliados, o NASADEM foi o que obteve melhor acurácia altimétrica. O algoritmo Fill Sinks possibilitou melhor remoção de depressões espúrias e o filtro passa-baixa de mediana, com janela móvel de 7x7 pixels permitiu melhor identificação das formas de relevo da área de estudo. Os métodos se mostraram adequados para áreas de estudo que apresentem heterogeneidade geomorfológica.

PALAVRAS-CHAVE: Geomorfometria; MDE; acurácia altimétrica; depressões espúrias; filtro passa-baixa.

Abstract

The dissemination of altimetric data, through Digital Elevation Models (DEM), allowed the advancement of several scientific areas, more specifically Geomorphometry. However, the DEM may present noises, compromising the final results. This paper aims to propose a methodology for DEM pre-processing that optimises the subsequent process of generating morphometric variables. The proposed methodology consisted of: a) altimetric quality control; b) filling of spurious depressions; and c) applying filters. Among the evaluated DEM, the NASADEM obtained the best altimetric precision. The Fill Sinks algorithm allowed better removal of spurious depressions and the median low-pass filter, with moving window of 7x7 pixels allowed better identification of the relief forms of the study area. The methods proved to be suitable for study areas that present geomorphological heterogeneity.

Keywords: Geomorphometry; DEM; accuracy altimetric; spurious depressions; low-pass filter.

INTRODUÇÃO



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons BY-NC-SA 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.



Os MDEs, especialmente os globais, estão disponíveis de forma gratuita e permitem disseminar dados de altitude da superfície terrestre. O termo MDE, usado para representar os dados da topografia de terreno, é genérico (GUTH *et al.*, 2021; MAUNE *et al.*, 2019). Conforme Wilson (2012); Nelson *et al.* (2009), as três principais fontes de dados para geração dos MDEs são: a) dados de levantamento de campo; b) dados de mapas topográficos existentes; e c) dados obtidos por sensores remotos.

Os MDEs obtidos por sensores remotos apresentam diversos ruídos, como: stripping (Crósta, 1992) e depressões espúrias (PLANCHON; DARBOUX, 2001; WANG; LIU, 2006). De acordo com Reuter *et al.* (2009), os MDEs pré-processados apresentam resultados mais satisfatórios nas análises geomorfológicas posteriores, se comparados aos MDEs não pré-processados, devendo-se considerar o emprego de maiores esforços no pré-processamento dos MDEs, do que somente em algoritmos geomorfométricos (REUTER *et al.*, 2009).

A acurácia altimétrica se relaciona às discrepâncias entre o comparativo da elevação do MDE avaliado em um determinado local e a elevação de referência e que seja de maior acurácia no local especificado (MESA-MIGNORANCE; ARIZA-LÓPEZ, 2020).

Conforme Wang; Liu (2006), as depressões são conhecidas como fossos (*sinks*) e/ou poços (*pits*), que podem ser espúrias, devido ao método de interpolação dos MDEs. Essas depressões causam problemas nas análises hidrogeomorfológicas, sendo necessária à sua remoção. O método de Planchon; Darboux (2001) efetua o preenchimento das depressões espúrias, a partir da simulação de uma camada grossa d'água na superfície. Wang; Liu (2006) propõem um método que se baseia na extrapolação da elevação, fornecendo tanto a correção das depressões espúrias, como a direção do fluxo hidrológico e o particionamento das bacias hidrográficas.

Um método de eliminação de ruídos de MDEs corresponde às técnicas de filtragem e são divididas em: a) domínio espacial e b) domínio da frequência. Os filtros no domínio do espaço são métodos de transformação que consideram um certo espaço geométrico da imagem *pixel a pixel* (MENESES; SANTA ROSA, 2012). Conforme Zanotta *et al.* (2019), esses filtros podem ser: a) alta frequência (passa-alta) e b) baixa frequência (passa-baixa).

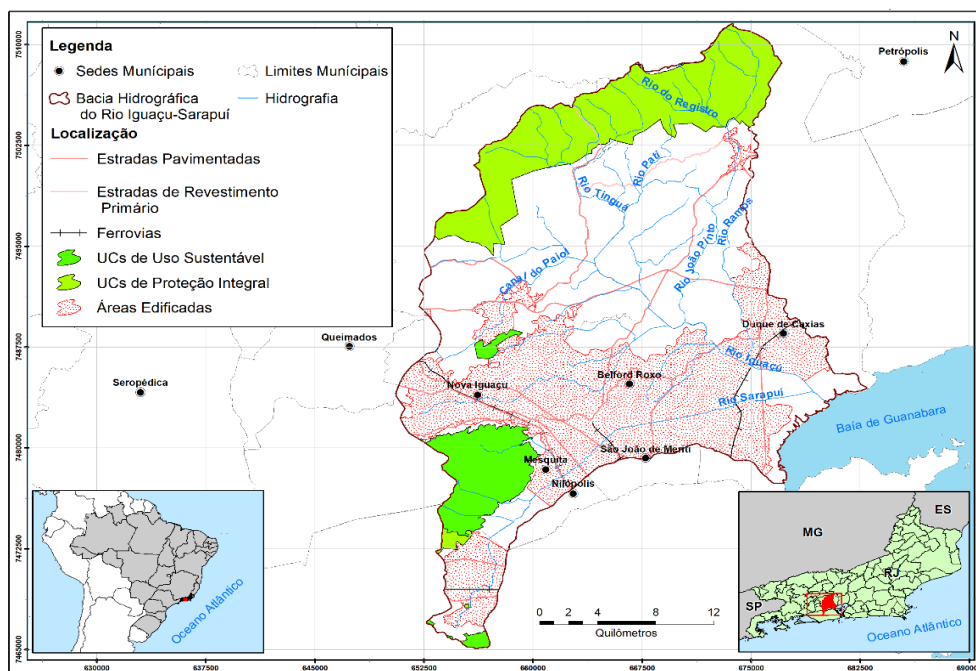
De acordo com Reuter *et al.* (2009), os principais pré-processamentos de MDEs são: a) avaliação da acurácia altimétrica; b) preenchimento dos pixels vazios, a partir de dados auxiliares; c) detecção e ajuste para os dados de altimetria de artefatos artificiais; e d) detecção e redução de artefatos e erros, por suavização de superfície. O presente estudo entende que tais propostas podem ser generalizadas e adaptadas em: a) avaliação da acurácia altimétrica; b) preenchimento de depressões espúrias; e c) aplicação de filtros. Nos parágrafos a seguir, elucidaremos os pré-processamentos aplicados no presente estudo.

Devido à importância das variáveis geomorfométricas para as análises da morfologia de terreno e sabendo dos problemas que podem ocorrer no processo de geração dos MDEs, o presente artigo tem como o objetivo propor uma metodologia para o pré-processamento de MDEs, de forma a melhorar a qualidade de dados altimétricos, eliminando eventuais depressões espúrias e reduzindo os ruídos. Para alcançar o objetivo foram avaliados 4 (quatro) MDEs, gerados a partir de sistemas de sensores orbitais e disponíveis gratuitamente.

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu-Sarapuí (BHRIS) está localizada entre as latitudes 22° 30'S e 23° 00'S e as longitudes 42° 30'W e 43° 00'W, com extensão de aproximadamente 732 km². Esta bacia é contribuinte da Baía de Guanabara e engloba, parcialmente, os municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Nilópolis, Mesquita, Rio de Janeiro e São João de Meriti (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu-Sarapuí.



Fonte: Os autores

Devido sua evolução geológica-geomorfológica, a área possui uma vasta heterogeneidade de formas de relevo, o que permite avaliar a metodologia proposta. Conforme Valeriano *et al.* (2012), a evolução geológica da área de estudo permeou-se em três eventos tectônicos: a) Ciclo Brasileiro, no qual, devido à formação do supercontinente Gondwana, formou-se a Faixa Ribeira; b) A abertura do oceano Atlântico Sul e às bacias petrolíferas do Espírito Santo/Campos; e c) A reativação das margens passivas, que geraram o sistema de Rift Continental do Sudeste Brasileiro e o magmatismo de origem alcalina.

Em escala regional, Valeriano *et al.* (2012) consideram que a BHRIS pode ser dividida em três unidades fisiográficas: a) Serra do Mar; b) Graben da Guanabara/Baixada Fluminense; e c) Cristas Litorâneas/Maçios Litorâneos. A Serra do Mar está contida na Serra da Mantiqueira, na sua delimitação ao sul e onde ocorre a quebra da escarpa e inicia-se o contato com o Graben da Guanabara (VALERIANO *et al.*, 2012). Conforme Valeriano *et al.* (2012), o Graben da Guanabara é uma depressão tectônica, oriunda das falhas normais. Nesta unidade fisiográfica estão localizados os maciços do Gericinó-Mendanha e Tinguá e as formas de relevo em formato de meia laranja (convexas) isoladas ou agrupadas (AMADOR, 2012). A origem dos Maciços Litorâneos está relacionada aos blocos que foram deformados tectonicamente, como o maciço da Pedra Branca, segundo a superfície cumeada da Serra do Mar (AMADOR, 2012).



METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da metodologia, foram usados modelos digitais de elevação (MDEs) e pontos de controle

O Modelo Digital de Elevação ASTER GDEM foi gerado a partir do par estereoscópico de imagens de satélite obtidas segundo visadas nadir e backward (3N e 3B). As imagens possuem resolução espacial de 15 metros e foram obtidas de uma parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a JAXA (Japan Aerospace Agency Exploration) (ABRAMS; CRIPPEN; FUJISADA, 2020).

O Modelo Digital de Elevação Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) foi obtido usando um radar de abertura sintética e fazendo uso da técnica de interferometria. O Spaceborne Imaging Radar-C (SIR-C), a bordo do Space Shuttle Endeavour, adquiriu dados de cerca de 80% da superfície terrestre nas bandas C e X, (FARR *et al.* 2007). A Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) foi resultado de um projeto cooperativo entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration), a NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) e as agências espaciais da Alemanha, DLR (Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt) e da Itália, ASI (Agenzia Spaziale Italiana).

O Modelo Digital de Elevação NASADEM foi obtido do refinamento do MDE SRTM, a partir de diversas fontes de dados, como o MDE ASTER GDEM, o satélite de observação da terra, gelo e nuvens (ICESat) e o MDE AW3D30. O objetivo desse projeto era melhorar os dados referentes às áreas do MDE SRTM que apresentavam ruídos e espaços vazios (voids) (CRIPPIN *et al.*, 2016; BUCKLEY *et al.*, 2022).

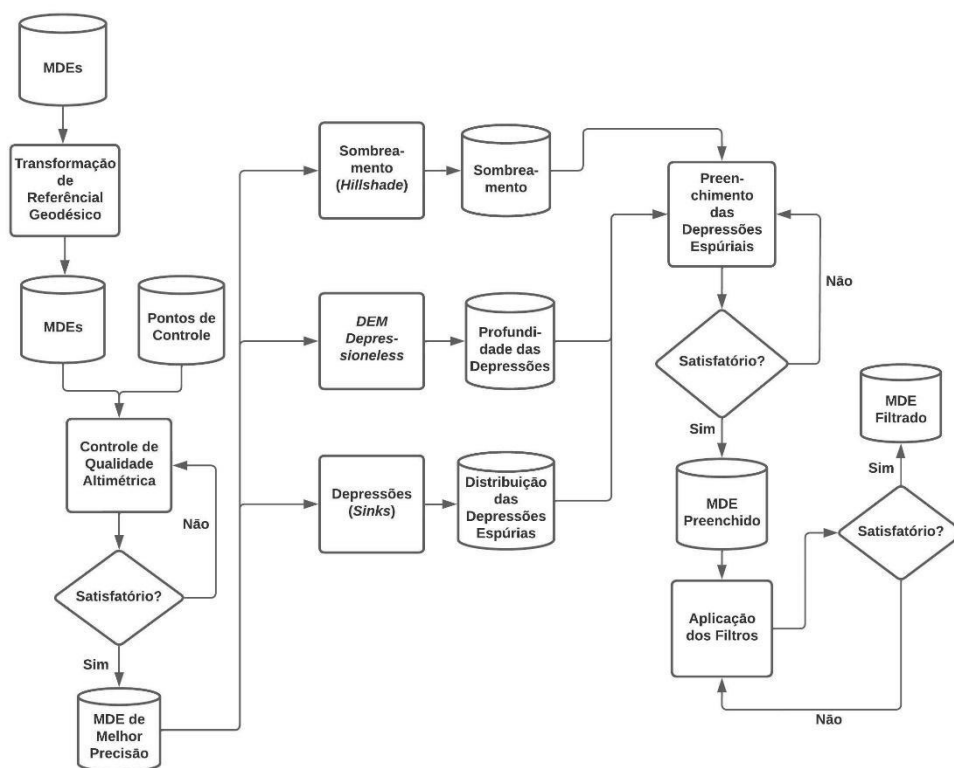
Outro Modelo Digital de Elevação usado nesse estudo foi o TOPODATA, obtido a partir do MDE SRTM 90, usando procedimentos e refinamentos geoestatísticos, descritos por VALERIANO (2008).

Além dos MDEs acima citados, foram usados 33 (trinta e três) pontos de controle, obtidos do site do IBGE. Esses pontos foram medidos usando equipamento GNSS (Global Navigation Satellite System) e serviram de apoio ao Projeto RJ-25, para elaboração de produtos cartográficos na escala de 1/25.000. Os pontos possuem precisão da ordem de 0,5 metro, para planimetria e 1,0 metro, para a altimetria.

A metodologia empregada consistiu das seguintes fases: 1) controle de qualidade altimétrica; 2) preenchimento das depressões espúrias; e 3) aplicação de filtros, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Fluxograma Metodológico



Fonte: Os autores.

Inicialmente, foi efetuada a transformação de referencial geodésico para o sistema de referência SIRGAS 2000 e adotou-se o sistema de coordenadas planas UTM, fuso 23S, considerando a resolução nº 01/2015 (IBGE, 2015). Em conformidade com as estruturas dos MDEs: a) *Pixel area* e b) *Pixel point*, conforme Guth *et al.* (2021), o presente estudo optou por usar a estrutura *pixel area*, na qual encontravam-se a maioria dos MDEs disponíveis de forma global.

Além disso, não se efetuou a padronização entre os modelos geoidais usados nos pontos de controle (Imbituba) e nos MDEs (EGM96), devido aos resultados obtidos por Barros (2006), que mostrou haver poucas diferenças entre ambos os modelos.

Em sequência, foi efetuado o controle de qualidade altimétrica dos MDEs. No Brasil, tanto o padrão de acurácia vertical como o horizontal baseiam-se em ambos os parâmetros: padrão de exatidão cartográfico (PEC) e erro padrão (EP) (Brasil, 1984). O valor de PEC está associado ao intervalo centrado na média das observações com extremos distantes da média de 1,6449 vezes o erro padrão ou erro médio quadrático, o que corresponde ao nível de confiança de 90% da distribuição normal de erros. O PEC é calculado a partir da Equação 1.

$$PEC = 1,6449 \times EMQ \quad \text{Equação 1}$$

O Erro padrão, considerado como desvio padrão, é calculado usando a Equação 2.



$$EMQ = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Ii - Iv)^2}{n-1}}$$

Equação 2

Ii: Indica a medida realizada.

Iv: Indica o valor utilizado como referência.

n: Corresponde ao número das medidas efetuadas.

A Tabela 1 mostra os valores de PEC e EP estabelecidos pelas Normas Técnicas da Cartografia Nacional para produtos cartográficos digitais em diferentes escalas topográficas.

Tabela 1 - Padrão de exatidão cartográfica altimétrica para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD)

	1/25.000		1/50.000		1/100.000		1/250.000	
PEC-PCD	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
A	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,0 0	16,6 7
B	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,0 0	33,3 3
C	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,0 0	40,0 0
D	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,0 0	50,0 0

Fonte: Brasil (2011).

O controle de qualidade altimétrica foi feito comparando os valores de altitude de cada MDE com a altitude dos respectivos pontos de controle, usados como referência. Em seguida, foram calculados o PEC e EP altimétrico para cada MDE e os resultados comparados com os valores estabelecidos pelas Normas Técnicas da Cartografia Nacional (BRASIL, 1984).

O passo seguinte correspondeu ao preenchimento das depressões espúrias, que foi precedido de duas etapas: a) extração das depressões (*Sinks*) e b) criação de um MDE de profundidade, *DEM Depressionless* (ESRI, 2022). O *DEM Depressionless* é calculado pela subtração das depressões espúrias de valores máximos e mínimos, de forma zonal (ESRI, 2022). O objetivo foi identificar as áreas mais representativas, em relação à distribuição das depressões espúrias e suas profundidades, além de fornecer limiares verticais (*Z-limit*) no algoritmo *Fill*, desenvolvido por Tarboton; Bras; Rodriguez-Iturbe (1991). Além disso, foram utilizados outros 3 (três) algoritmos para preenchimento das depressões espúrias: a) *Fill Sinks* (Planchon;



Darboux, 2001); b) *Fill Sinks* (Wang; Liu, 2006) e c) *Fill Sinks XXL* (Wang; Liu, 2006), que consideram apenas a declividade e aplicados dois valores de inclinação: a) $0,1^\circ$ e b) $0,01^\circ$.

No auxílio ao processo de visualização das formas de relevo, utilizou-se o sombreamento (*Hillshade*) e se escolheu a área mais representativa na BHRIS.

A última etapa foi a aplicação de filtros de baixa frequência, denominados filtros passa-baixa, para suavização e redução dos ruídos nos MDEs. Os filtros são técnicas de fácil aplicação que trabalham no domínio espacial, considerando um certo espaço geométrico da imagem pixel a pixel, definido por uma janela móvel denominada janela de convolução. Esse tipo de filtro, normalmente, produz um desfocamento da imagem, não sendo recomendável o uso de janelas móveis maiores que 9×9 pixels (MENESES; SANTA ROSA, 2012).

O tamanho da janela móvel contém uma pequena matriz de pesos (kernel de convolução), além de ser ímpar para efetuar a simetria com o pixel central. A movimentação da janela móvel ocorre por toda imagem, linha por linha, coluna por coluna, e multiplica o peso da matriz sobre os pixels da imagem Crósta (1992) e Meneses; Santa Rosa (2012).

Os filtros mais comuns de baixa frequência são os passa-baixa de média, mediana e moda. Devido aos filtros de média serem tão suscetíveis a valores extremos na substituição do valor do *pixel* central, foram considerados, apenas, os filtros de moda e mediana. O filtro de moda é aplicado na substituição do *pixel* central pelo *pixel* mais comum na máscara ou janela móvel (CRÓSTA, 1992). Os filtros de mediana consideram os valores medianos dos *pixels* da janela móvel e, além disso, preservam os valores de alta frequência, ou seja, as bordas das imagens (CRÓSTA, 1992). Os tamanhos das janelas móveis usadas foram: a) 3×3 pixels; b) 5×5 pixels e c) 7×7 pixels.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos valores de PEC e EP dos diferentes MDEs analisados, bem como a classificação segundo a PEC-PCD, encontram-se demonstrados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Valores de PEC e Erro Padrão para os MDEs.

Modelos Digitais de Elevação	EP	PEC
ASTER GDEM v.3	7,06	11,56
NASADEM	3,01	4,95
SRTM v.3	5,24	8,62
TOPODATA	8,57	14,10

Fonte: Os autores.



Tabela 3 - Avaliação dos MDEs conforme a PEC-PCD.

	1/25.000	1/50.000	1/100.000	1/250.000
Modelos Digitais de Elevação	PEC-PCD	PEC-PCD	PEC-PCD	PEC-PCD
ASTER GDEM v.3	-	C	-	-
NASADEM	B	-	-	-
SRTM v.3	-	B	-	-
TOPODATA	-	D	-	-

Fonte: Os autores.

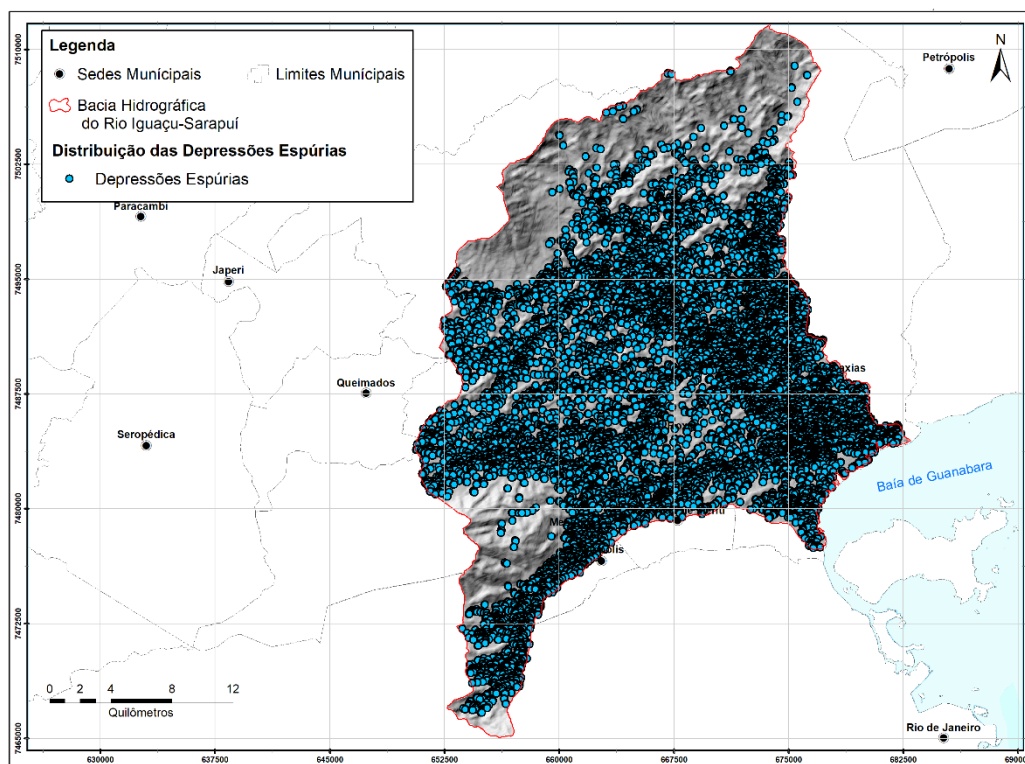
Entre os MDEs avaliados, o MDE NASADEM foi o que apresentou os resultados mais satisfatórios no controle de qualidade altimétrica, obtendo a classificação B na escala de 1/25.000. O resultado se justifica devido ao mesmo ter como base o MDE SRTM e posterior refinamento através dos MDEs ASTER GDEM, AW3D30 e ICESat. O MDE SRTM v.3 foi o segundo MDE global mais preciso, sendo classificado como classe B, na escala de 1/50.000 e tendo sido refinado diversas vezes e até hoje é utilizado para vários estudos. Devido à eficiência das bandas C e X, através da técnica de interferometria, verifica-se, principalmente, uma redução dos artefatos naturais na superfície. Dentre todos os MDEs globais, o MDE ASTER GDEM v.3 foi o que apresentou menor acurácia altimétrica, sendo classificado em C, na escala de 1/50.000. O processo de geração deste MDE, a partir de pares estereoscópicos obtidos de imagens captadas de diferentes ângulos de visada pode ter influenciado na qualidade final do produto gerado, ampliando a quantidade de artefatos artificiais e naturais na superfície.

O MDE TOPODATA foi o que apresentou os piores resultados, sendo classificado como D na escala de 1/50.000. A justificativa do resultado deve-se ao fato do MDE TOPODATA ter como base o MDE SRTM v.4 de 90 metros. Embora o procedimento geoestatístico para refinamento de MDE, proposto por Valeriano (2008), tenha resultado em diversos estudos, o uso de MDEs globais mais precisos é mais recomendável, tornando a escolha do MDE TOPODATA restrita à estudos que não necessitem de um rigor tão alto.

Apesar do MDE NASADEM ter obtido os melhores resultados de acurácia altimétrica, foi necessário realizar o preenchimento das depressões espúrias para otimização do produto. Foram observadas 25.061 depressões espúrias, predominantemente nas áreas de planície, no Graben da Guanabara, e outras, em menor quantidade, ocorrendo nos maciços Gericinó-Mendanha, Tinguá, Pedra Branca e na quebra da escarpa da Serra do Mar, conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3 - Distribuição das depressões espúrias na BHRIS.

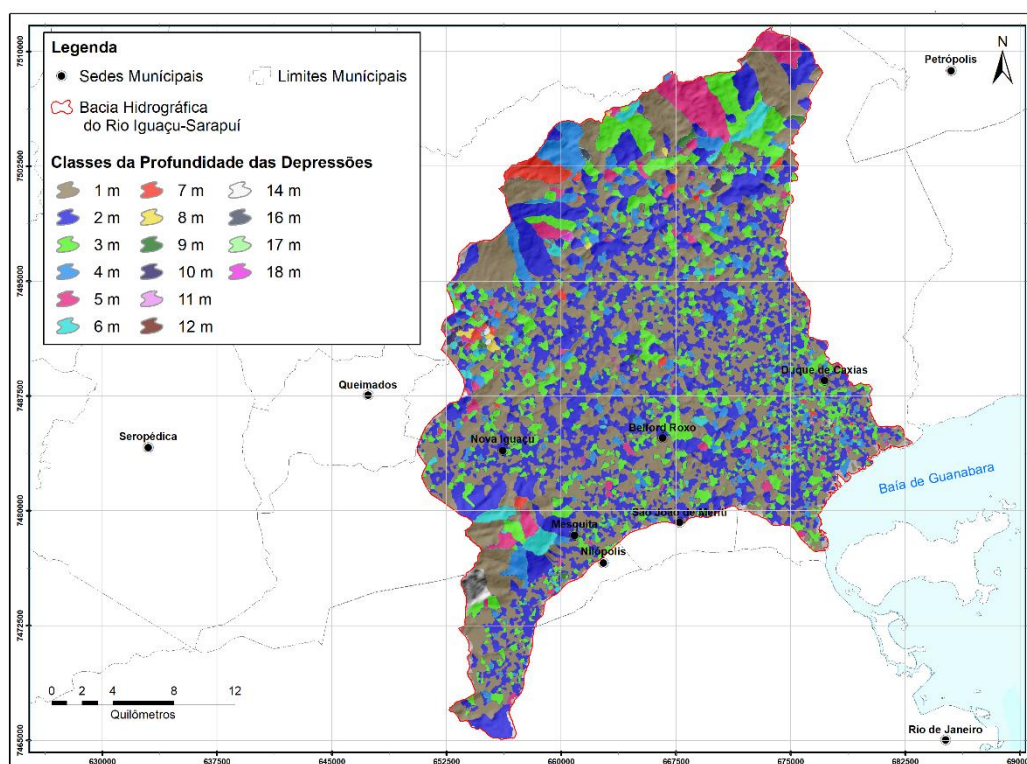


Fonte: Os autores.

As profundidades das depressões espúrias foram identificadas, a fim de verificar a legitimidade destas feições. A Figura 4 mostra a profundidade das depressões espúrias.



Figura 4 - Profundidade das Depressões Espúrias na BHRIS.



Fonte: Os autores.

No Graben da Guanabara, foram verificados um percentual de: 38,91% de depressões de profundidade de 1 m; 31,09%, de profundidade de 2 metros; e 15,57%, de profundidade de 3 metros. Também foram verificadas ocorrências nos maciços Gericinó-Mendanha, Tinguá, Pedra Branca e na quebra da escarpa da Serra do Mar.

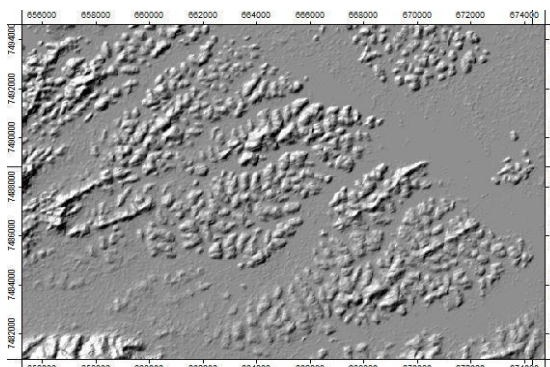
As outras classes variaram entre o percentual de 0,01% e 6,24%. As profundidades e os percentuais foram, respectivamente: a) 4 metros, 6,24%; b) 5 metros, 4,16%; c) 6 metros, 1,89%; d) 7 metros, 1,24%; e) 8 metros, 0,24%; f) 9 metros, 0,23%; g) 10 metros, 0,21%; h) 11 metros, 0,02%; i) 12 metros, 0,01%; j) 14 metros, 0,04%; k) 16 metros, 0,10%; l) 17 metros, 0,01%; e m) 18 metros, 0,05%.

A partir das informações sobre o percentual e a profundidade, foi possível selecionar uma área mais representativa da área de estudo (BHRIS), que englobasse uma diversidade considerável de formas de relevo e que apresentassem uma quantidade significativa de depressões espúrias. As áreas selecionadas foram as áreas planas do Graben da Guanabara, que contém colinas, morros e a vertente norte do maciço do Gericinó-Mendanha.

A Figura 5 mostra o MDE resultante do algoritmo *Fill* de Tarboton; Bras; Rodriguez-Iturbe (1991).



Figura 5 - Preenchimento das depressões espúrias pelo algoritmo *Fill* de Tarboton; Bras; Rodriguez-Iturbe (1991).

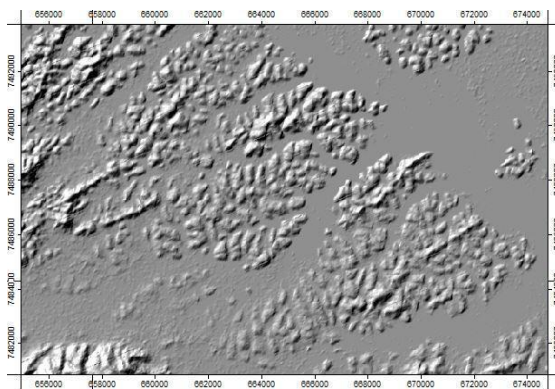


Fonte: Os autores.

Os resultados mais apropriados foram obtidos quando o limiar vertical não foi especificado, ao invés de considerar as profundidades obtidas no *DEM Depressionless*. Embora o uso do algoritmo seja satisfatório, durante o procedimento, em relação aos demais resultados, tornou-se a menos satisfatória e mais similar ao MDE original.

O MDE resultante do algoritmo *Fill Sinks* Planchon; Darboux (2001), que considera na sua funcionalidade a declividade, apresentou resultado melhor (Figura 6), suavizando as áreas planas do Graben da Guanabara e mantendo as outras feições intactas (colinas, morros e a vertente norte do maciço Gericinó-Mendanha).

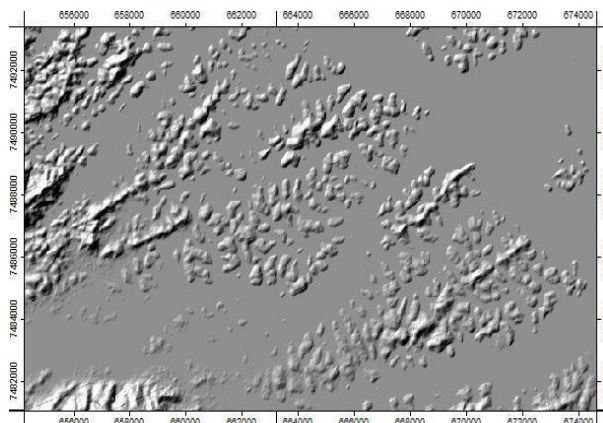
Figura 6 - Preenchimento das depressões espúrias pelo algoritmo *Fill Sinks* de Planchon; Darboux (2001)



Fonte: Os autores.

A Figura 7 apresenta o MDE obtido do algoritmo *Fill Sinks*, de Wang; Liu (2006).

Figura 7 - Preenchimento das depressões espúrias pelo algoritmo *Fill Sinks* de Wang; Liu (2006).

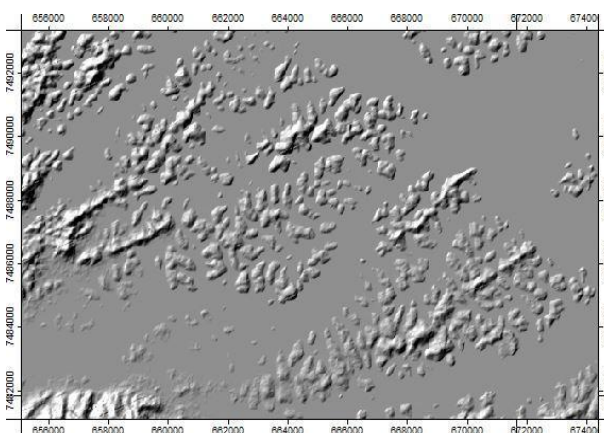


Fonte: Os autores.

Analisando o MDE da Figura 7, verificou-se uma redução dos artefatos naturais, identificados nas imagens de satélite. O procedimento resultou na suavização das áreas correspondentes às áreas planas do Graben da Guanabara, em relação aos outros compartimentos presentes na área de estudo. No entanto, houve uma redução considerável das formas de relevo, como as colinas, os morros e a vertente norte do maciço Gericinó-Mendanha, resultando em perda de informações significativas.

O MDE resultante do uso do algoritmo *Fill Sinks XXL*, de Wang; Liu (2006) obteve resultados satisfatórios nas áreas planas do Graben da Guanabara, nas quais os artefatos naturais presentes foram removidos. Embora as formas de relevo, como: colinas; morros e a vertente norte do maciço Gericinó-Mendanha tenham sido realçadas, muitas dessas formas foram suprimidas, resultando, novamente, em perda de informações significativas.

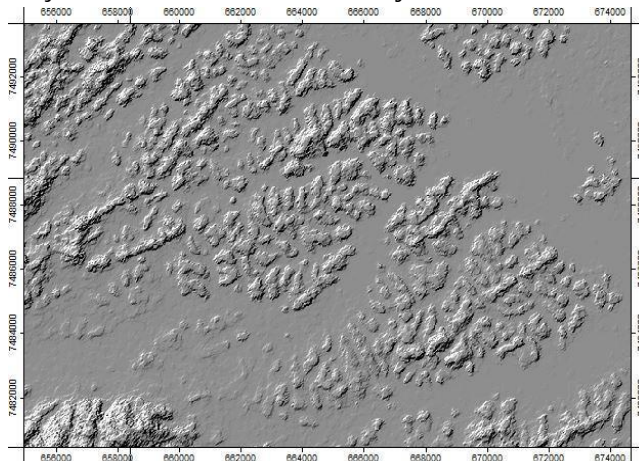
Figura 8 - Preenchimento das depressões espúrias pelo algoritmo *Fill Sinks XXL* de Wang; Liu (2006).



Fonte: Os autores.

A aplicação do filtro de moda, com janela móvel de 3x3 pixels, resultou em: suavização dos artefatos naturais, especialmente nas áreas planas que são condizentes com o Graben da Guanabara (Figura 9); degradação das bordas em outras formas de relevo; e desagregação dos *pixels*. Verificou-se, também, que o ruído por *stripping* não foi reduzido ou suavizado.

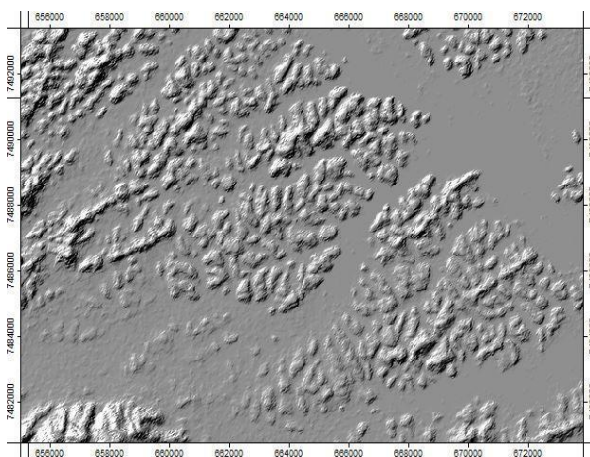
Figura 9 - Aplicação do Filtro de Moda com janela móvel de 3x3 pixels.



Fonte: Os autores.

A aplicação do filtro de moda, com janela móvel de 5x5 pixels provocou a degradação das morfologias das bordas, com destaque nas formas de relevo, como: colinas; morros; e a vertente norte do maciço Gericinó-Mendanha. Além disso, a alteração das morfologias das bordas resultou no alongamento dessas formas de relevo. Nas áreas planas, referentes ao Graben da Guanabara, ocorreu o processo de suavização, mantendo perceptível a estrutura dos artefatos naturais em poucas áreas (Figura 10). A alteração no tamanho da janela móvel, para 5x5 pixels, provocou a ampliação dos efeitos causados pelo uso da janela de 3x3 pixels. Embora seja perceptível que as morfologias que apresentam textura e rugosidade média foram degradadas nas suas bordas e no interior do *pixel*, o ruído por *stripping*, ficou menos perceptível.

Figura 10 - Aplicação do Filtro de Moda com janela móvel de 5x5 pixels.



Fonte: Os autores.

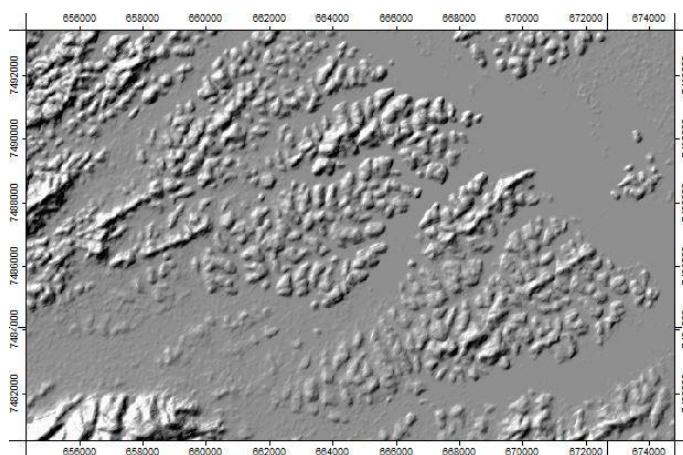
De forma similar, a aplicação do filtro de moda, com janela móvel de 7x7 pixels provocou uma ampliação nos efeitos causados pela janela de 5x5 pixels e as morfologia das



bordas foram praticamente degradadas em todo o MDE (Figura 11). Outra situação que se observou foi a nítida desfocagem do MDE, embora este efeito também tenha ocorrido nas duas primeiras janelas móveis, porém em menor grau.

Verificou-se uma suavização quase completa das áreas planas, que apresentavam menor textura e que possuíam artefatos naturais. No entanto, as texturas rugosas modificaram-se, ocasionando ondulações nas morfologias e as bordas, substituídas por *pixels* com tonalidade escura.

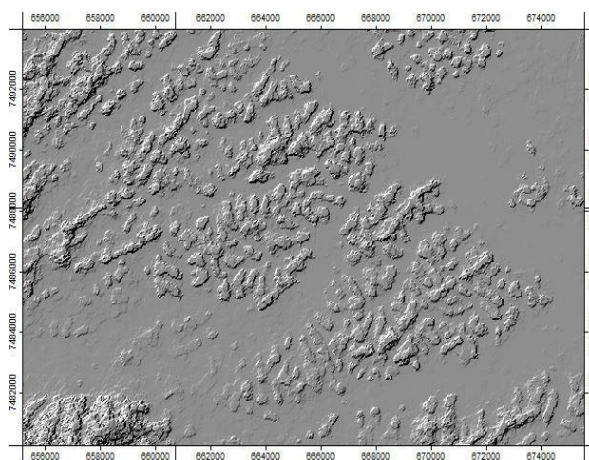
Figura 11- Aplicação do Filtro de Moda com janela móvel de 7x7 pixels.



Fonte: Os autores.

O filtro de mediana, com janela móvel de 3x3 pixels, não apresentou mudanças significativas, comparando-se ao MDE original (Figura 12). Algumas áreas, principalmente as áreas planas, foram suavizadas. Além disso, notou-se a preservação das morfologias e as suas bordas. Com relação ao MDE original, não foram percebidas reduções significativas nos ruídos por *stripping*. Outra observação foi a redução do foco da imagem, sem perdas, em relação a qualidade do MDE.

Figura 12 - Aplicação do Filtro de Mediana com janela móvel de 3x3 pixels.

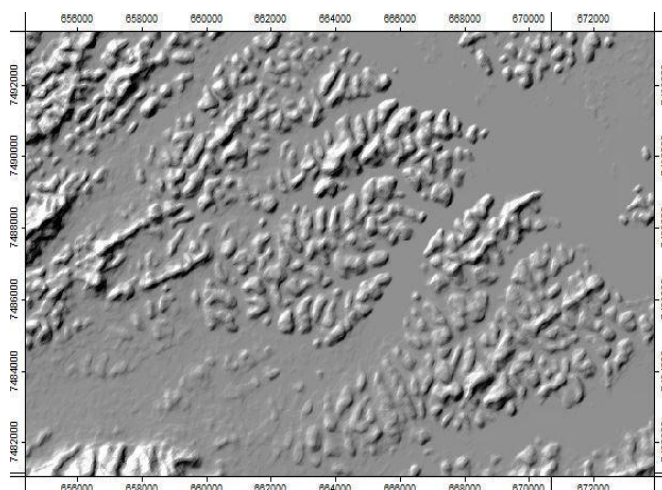


Fonte: Os autores.



O resultado do filtro de mediana, com janela móvel de 5x5 pixels resultou na redução do foco do MDE, preservando as bordas (Figura 13). Considerando o resultado anterior, não houve mudanças significativas, com exceção das áreas planas onde ocorrem os artefatos naturais, que foram mais suavizadas. Verificou-se que as áreas que apresentavam o ruído por *stripping* foram suavizadas, porém continuaram perceptíveis.

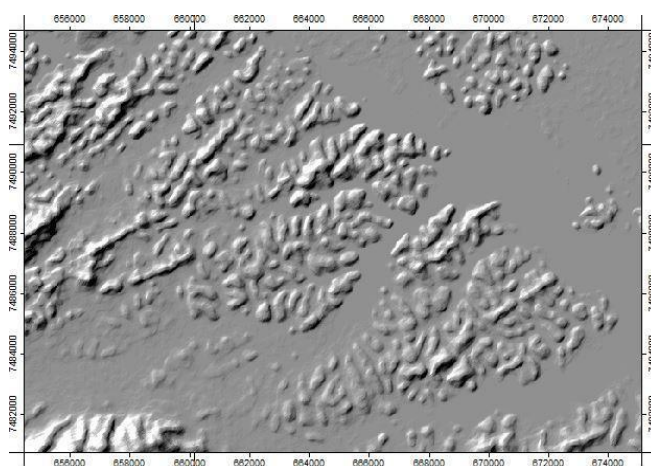
Figura 13 - Aplicação do Filtro de Mediana com janela móvel de 5x5 pixels.



Fonte: Os autores.

O filtro de mediana, com janela móvel de 7x7 pixels, resultou na suavização das áreas planas, de forma significativa no MDE, preservando as morfologias das bordas e possibilitando a distinção entre as diversas formas de relevo (Figura 14). Os artefatos naturais, presentes no MDE, foram reduzidos significativamente, permanecendo, em menor grau, os ruídos por *stripping*. A suavização foi satisfatória, removendo, quase que integralmente, o ruído. Nas texturas mais rugosas, no entanto, observou-se a ocorrência de algumas ondulações nas morfologias que possuem o ruído por *stripping*.

Figura 14 - Aplicação do Filtro de Mediana com janela móvel de 7x7 pixels.



Fonte: Os autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



O MDE NASADEM foi o mais adequado, por possuir acurácia altimétrica correspondente à classe B na escala de 1:25.000.

Com relação à aplicação de métodos para o preenchimento das depressões espúrias para melhoria da qualidade hidrológica dos MDEs, o algoritmo *Fill*, proposto por Planchon; Darboux (2001), foi o mais apropriado por corrigir hidrologicamente o MDE, resultando na suavização das áreas planas e sem perdas significativas de informações.

O uso dos filtros de suavização, para atenuação de ruídos como o *stripping* causados nos processos de geração dos MDEs, foi essencial. O filtro de mediana, com janela móvel de dimensões de 7x7 pixels, foi o mais adequado para atender as proposições do presente estudo e por atenuar esses ruídos.

A proposta de estrutura metodológica para pré-processamento dos MDEs, no intuito de melhorar a qualidade dos MDEs, mostrou-se satisfatória, principalmente considerando a visualização e interpretação das formas de relevo, a partir do sombreado do relevo. Outros estudos devem ser efetuados comparando variáveis geomorfométricas, como: declividade e diversas curvaturas (formas das encostas), para avaliar os ganhos referentes a visualização e a interpretação das formas de relevo.

REFERÊNCIAS

- ABRAMS, M.; CRIPPEN, R.; FUJISADA, H. ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) and ASTER Global Water Body Dataset (ASTWBD). **Remote Sensing**, 12, 1156, 2020.
- AMADOR, E. S. **Bacia da Baía de Guanabara: caracterização geoambientais, formação e ecossistemas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 432p. 2012.
- BARROS, R. S. **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a partir de Sensores Orbitais**. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 2006. 195p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BRASIL. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)** Versão 2.1.3. Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro. 2011.
- BRASIL. **Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional [online]. Diário Oficial da União, Brasília, 22 jun, 1984, Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/indexf7a0.html?q=node/41>. Acesso em: 06 out. 2020.
- Buckley, S.M.; Agram, P.S.; Belz, J.E.; Crippen, R.E.; Gurrola, E.M.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Lavalley, M.; Martin, J.M.; Neumann, M.; et al. **NASADEM User Guide** v1; National Aeronautics and Space Administration: Washington, DC, USA, 2022.
- Crippen, R., S. Buckley, P. Agram, E. Belz, E. Gurrola, S. Hensley, M. Kobrick, M. Lavalley, et al. 2016. NASADEM global elevation model: Methods and progress. **ISPRS– International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences** XLI-B4: 125–128.
- CRÓSTA, A.P. Filtragem de frequências espaciais. In: CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoramento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP. p. 69-80, 1992.
- ESRI. **Creating a depressionless DEM**. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/creating-a-depressionless-dem.htm>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- FARR, T.G.; ROSEN, P.A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. **Review of Geophysics**, v.45, 2007
- GUTH, P. L.; VAN NIEKERK, A.; GROHMANN, C. H.; MULLER, J-P.; HAWKER, L.; FLORINSKY, I. V.; GESCH, D.; REUTER, H. I.; HERRERA-CRUZ, V.; RIAZANOFF, S.; LÓPEZ-VÁZQUEZ, C.; CARABAJAL, C. C.; ALBINET, C.; STROBL, P. Digital Elevation Models: Terminology and Definitions. **Remote Sensing**, v. 13, p. 3581, 2021.
- HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. (Orgs). **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais**. Belo Horizonte: CPRM, 184p. 2016.



- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução da Presidência do IBGE nº 01/2015**. Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- MAUNE, D. F.; HEIDEMANN, H. K.; KOOP, S. M.; CRAWFORD, C. A. Introduction to digital elevation models. In: Maune, D. F.; NAYEGANDHI, A. **Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User's Manual**. 3. ed. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 674p. 2019.
- MENESES, P. R.; SANTA ROSA, A. N. C. Filtragem. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento digital de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, p.168-190, 2012.
- MESA-MINGORANCE, J.L.; ARIZA-LÓPEZ, F.J. Accuracy Assessment of Digital Elevation Models (DEMs): A Critical Review of Practices of the Past Three Decades. **Remote Sensing**. 2020, 12, 2630.
- NELSON, A.; REUTER, H. I.; GESSLER, P.; SOILLE, P. Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis. In: HENGL, T., REUTER, H.I. (Eds.), **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. 1. ed. Elsevier, Amsterdam, p.65-86, 2009.
- PLANCHON, O.; Darboux, F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. **Catena** v. 46: p.159-176, 2001.
- REUTER, H. I.; HENGL, T.; GESSLER, P.; SOILLE, P. Preparation of DEMs for geomorphometric Analysis. In: Hengl, T., Reuter, H.I. (org.). **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. Amsterdam, Elsevier, p.87-120, 2009.
- Tarboton, D. G., R. L. Bras, and I. Rodriguez-Iturbe. 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. **Hydrological Processes** 5: 81–100.
- VALERIANO, C. M. (Org) **Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CPRM, 156p. 2012.
- VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p.
- WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science** v.20(2), p.193-213, 2006.
- WILSON, J. P. Digital terrain modelling. **Geomorphology** v.137, p.107-121, 2012.
- ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. Filtragem no domínio espacial e no domínio das frequências. In: ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 181-200, 2019.

COMO CITAR ESTE TRABALHO

DE FREITAS, Igor. BUENO, Karine. DE CARVALHO, Igor. AGROBIODIVERSIDADE DE QUINTAIS AGROFLORESTAIS DO ASSENTAMENTO TERRA PROMETIDA (DUQUE DE CAXIAS – RJ). *Revista Tamoios*, São Gonçalo, v. 21, n. 1, p. 201-217, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2025.82947>. Acesso em: DD MMM. AAAA.