



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

HANLLETH AGAMENON PESSOA DA SILVA

**Avaliação dos modelos digitais de elevação para o mapeamento de microbacias
hidrográficas**

MOSSORÓ/RN

2024

HANLLETH AGAMENON PESSOA DA SILVA

**Avaliação dos modelos digitais de elevação para o mapeamento de microbacias
hidrográficas**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Dr.

Co-orientador: Vinícius Navarro Varela Tinoco, Téc. MSc.

MOSSORÓ/RN

2024

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

d586a da Silva, Hanlleth Agamenon Pessoa da Silva.
Avaliação dos modelos digitais de elevação para o
mapeamento de micro bacias hidrográficas /
Hanlleth Agamenon Pessoa da Silva da Silva.
- 2024. 90 f.: il.

Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos
Fernandes Fernandes.
Coorientador: Vinícius Navarro Varela Tinoco
Tinoco.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Civil, 2024.

1. Hidrologia. 2. Geoprocessamento. 3. VANT.
4. VANT. 5. MDS. I. Fernandes, Rogério Taygra
Vasconcelos Fernandes, orient. II. Tinoco,
Vinícius Navarro Varela Tinoco, co-orient. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

HANLLETH AGAMENON PESSOA DA SILVA

**Avaliação dos modelos digitais de elevação para o mapeamento de microbacias
hidrográficas**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 16/ 04 / 2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ROGERIO TAYGRA VASCONCELOS FERNANDES
Data: 25/04/2024 19:33:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
VINICIUS NAVARRO VARELA TINOCO
Data: 22/04/2024 20:03:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Vinicius Navarro Varela Tinoco, Técnico. (UFERSA)
Membro Examinador

**PAULO CESAR MOURA
DA SILVA**

Assinado digitalmente por PAULO CESAR MOURA DA SILVA:
DN: CN=PAULO CESAR MOURA DA SILVA,
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2024.04.23 09:24:06-0300
Foxit PDF Reader Versão: 11.0.0

Paulo Cesar Moura da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
HERMINIO SABINO DE OLIVEIRA JUNIOR
Data: 23/04/2024 04:45:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Herminio Sabino de Oliveira Junior, Mestre em Manejo de Solo e Água
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, cujo amor e orientação foram fundamentais ao longo de toda esta jornada acadêmica. Sua sabedoria e força foram minha fonte de inspiração, fornecendo-me a coragem e a determinação necessárias para enfrentar os desafios e alcançar meus objetivos.

Agradeço imensamente aos meus queridos pais, José Auxiliador da Silva e Maria Magna Pessoa da Silva, cuja dedicação à minha educação sempre foi inabalável. Com amor e comprometimento, eles priorizaram minha formação, oferecendo-me o melhor suporte possível em todas as etapas dessa jornada acadêmica. Seu apoio constante e amor incondicional foram o alicerce sobre o qual construí meus sonhos e conquistas.

Também sou grato aos meus amados avós maternos, Luiz Gonçalves da Silva e Maria Benta Gomes Pessoa, pelo carinho e pelos valiosos conhecimentos que compartilharam comigo ao longo dos anos. Suas histórias, conselhos e amor foram essenciais para minha formação pessoal e acadêmica. Como disse meu Vô Luiz, "A caneta é mais maneira do que o machado", e como minha Vó Benta costumava dizer, "Na vida a gente aprende de tudo um pouco e usa o que for preciso", essas são algumas das frases marcantes.

Aos meus irmãos, Havardiere Natanael Pessoa da Silva, Hagatta Magnolia Pessoa da Silva e Hillangierre Matusalém Pessoa da Silva, expresso minha profunda gratidão pelo companheirismo, brincadeiras e alegrias compartilhadas. Sua presença em minha vida trouxe luz e diversão aos meus dias, e sou grato por termos enfrentado juntos os desafios e celebrado as conquistas ao longo dessa jornada.

Agradeço aos meus queridos tios e tias pelo apoio inestimável e pela incansável luta que travamos juntos ao longo dessa jornada. Seu incentivo e orientação foram uma fonte constante de inspiração, mostrando-me que a união da família é um pilar fundamental em qualquer empreendimento. Suas palavras de encorajamento e apoio tornaram os desafios mais suportáveis e as vitórias ainda mais gratificantes. Sou imensamente grato por todo o amor e dedicação que demonstraram a mim ao longo dos anos.

Ao meu Orientador, Prof. Rogério Taygra, expresso minha profunda gratidão por sua orientação e apoio ao longo deste trabalho. Sua prontidão em me orientar, assim como sua habilidade em guiar-me e mostrar os caminhos necessários para a realização deste projeto foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional. Além disso, quero reconhecê-lo por sua

inspiração em relação ao tema deste trabalho. Durante minha banca de defesa anterior, suas perspicazes indagações despertaram minha curiosidade e me motivaram a explorar este assunto com profundidade. Seu comprometimento e dedicação foram essenciais para o sucesso deste trabalho, e estou sinceramente grato por tê-lo como orientador.

Ao meu Co-Orientador Vinícius Navarro, agradeço por toda disponibilidade em sempre me ajudar quando precisei, e também por todo conhecimento que me passou no Acesso à Terra Urbanizada. Sua orientação e expertise foram inestimáveis durante todo o processo de pesquisa e desenvolvimento deste trabalho, contribuindo significativamente para sua qualidade e êxito.

Agradeço imensamente ao Francisco Nélío por sua excepcional contribuição em minha jornada acadêmica e profissional. Sua generosidade, sabedoria e profissionalismo foram verdadeiramente inspiradores e transformadores. Sempre pronto a oferecer sua orientação e apoio. Nélío foi uma das melhores pessoas que tive o privilégio de conhecer. Seu comprometimento e dedicação foram fundamentais em meu desenvolvimento, e por isso sou profundamente grato. Obrigado por tudo, Nélío.

Também expresso minha profunda gratidão à Equipe Salmão: Valdiane (Loirival), Ellen Torres (Ellenzinha), Hanna Stefanny (Nojenta), Miguel (Hugo) e Giorgy (Gigi). Juntos, vocês não apenas fizeram parte da minha jornada acadêmica, mas também tornaram cada momento especial e memorável. As risadas compartilhadas, os desafios superados e as amizades cultivadas são tesouros que guardarei para sempre em meu coração. Obrigado por serem uma parte tão significativa da minha vida universitária.

Também expresso minha profunda gratidão aos amigos da topografia: Daniel Corcino, Ruan Henrique, Hiza, Eduarda Holanda, Pedro Lucas, Maycon Aires, Matheus Lopes, José Luiz e Letícia. Vocês foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, proporcionando uma troca de informações valiosa e enriquecedora. Espero sinceramente que essa colaboração se mantenha ao longo de nossas carreiras profissionais, fortalecendo nossos laços de amizade e compartilhando conhecimentos de maneira contínua.

Aos membros do Acesso à Terra Urbanizada, expresso minha profunda gratidão pelos inúmeros aprendizados compartilhados, pelas valiosas experiências vividas e, sobretudo, pelas amizades sinceras que foram cultivadas. Vocês foram fundamentais em cada etapa deste processo, contribuindo significativamente para o meu crescimento pessoal e profissional. Cada interação

e colaboração foram verdadeiramente enriquecedoras, e sou imensamente grato por fazer parte dessa equipe tão dedicada e inspiradora.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, Professor Paulo César e Herminio Sabino, por aceitarem prontamente fazer parte deste momento tão importante na formação de um engenheiro. É uma honra contar com a presença de duas figuras tão relevantes na área, cuja experiência e conhecimento enriquecem significativamente esta avaliação. Sua disposição em contribuir e avaliar este trabalho é verdadeiramente valorizada e reconhecida. O compromisso e a expertise que trouxeram para esta avaliação foram fundamentais para o seu sucesso.

Gilson Muniz Gonçalves Filho e Tia Inácia, vocês também fazem parte dessa história. Para mim, vocês representam uma segunda casa em uma nova família. Agradeço pelo caloroso acolhimento e pela generosidade que demonstraram em todos os momentos.

Não posso deixar de expressar minha gratidão à minha querida escola Professora Conceição Leal Dantas, eternamente conhecida como Moranguinho. Foi lá que dei os primeiros passos rumo ao meu caminho até aqui. Aos dedicados profissionais que fizeram parte dessa trajetória, em especial, Tia Deise, Tia Débora, Tia Fátima, Evinha da Limpeza, Tia Dainha, Tia Teresinha, Professor Carlim, Professor Jusciano, Tia Mocinha, Tia Ana Amélia, Tia Berenice e Tia Vandinha, minha sincera gratidão. Suas orientações, apoio e carinho foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e acadêmico. Guardarei para sempre as lembranças e ensinamentos preciosos que recebi de cada um de vocês.

Em memória, dedico este momento aos meus eternos professores e amigos, Nein e Olegário. Além de mestres, foram verdadeiros amigos, cuja presença deixou marcas indeléveis em minha vida. Sua sabedoria, gentileza e apoio foram fundamentais em minha formação. Que suas memórias permaneçam vivas em nossos corações para sempre.

Em memória de José Figueiredo da Silva (Vô Zeca) e Maria Anisia da Silva (Vó Preta), que não puderam participar deste momento, mas cujo amor e apoio foram fundamentais em minha jornada. Suas lembranças e ensinamentos continuarão vivos em meu coração para sempre. Foi uma bênção partilhar a vida com vocês.

Por fim, não posso deixar de expressar minha profunda gratidão à minha amada Patricia de Oliveira Camelo. Seu amor inabalável, companheirismo e compreensão foram como um farol durante esta fase desafiadora que é a reta final do curso. Sua presença constante e apoio

incondicional foram verdadeiramente reconfortantes, mantendo minha motivação e equilíbrio emocional enquanto enfrentava os obstáculos acadêmicos. Seu incentivo e compreensão foram meu refúgio nos momentos mais difíceis. Sou imensamente grato por tê-la ao meu lado, Patricia. "Você entrou na minha vida... Como uma estrela da manhã... Como uma joia preferida... Minha flor de flamboyant... Foi como chuva passageira... No inverno da ilusão... Choveu apagando a poeira e de repente fez verão..."

RESUMO

A drenagem urbana representa um desafio devido ao crescimento populacional acelerado e à expansão das infraestruturas, demandando um gerenciamento sustentável das águas pluviais. O aumento do escoamento superficial das águas, por meio da impermeabilização do solo em áreas urbanas, tem causado alagamentos frequentes. Por esse motivo, os estudos hidrológicos são de grande importância para o gerenciamento dessas águas. Na atualidade, já é possível obter dados hidrológicos de maneira mais rápida, precisa e com menor custo, tais como aqueles adquiridos a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) disponíveis gratuitamente na web. Entretanto, ainda não existe consenso entre os pesquisadores sobre qual dos modelos utilizarem em estudos ligados à hidrologia. Deste modo, o presente estudo teve como objetivo principal avaliar a precisão de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) globais gratuitos na delimitação e caracterização de microbacias hidrográficas, em comparação com um Modelo Digital de Superfície (MDS) local obtido por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), com o intuito de avaliar a viabilidade de emprego desses modelos gratuitos como uma ferramenta de baixo custo para a gestão das águas pluviais. A área utilizada para o estudo está localizada entre as áreas das universidades UFERSA e UERN, com um total de 561,6016 hectares em um perímetro de 10,10 km. Utilizando o software livre e gratuito QGIS 3.34.4, foram analisados diversos parâmetros e índices morfométricos dos diferentes modelos tais como área, perímetro e comprimento axial da bacia, classificação, quantidade e comprimentos dos canais, comprimento do canal principal, comprimento vetorial do canal principal, posição do exutório, sobreposição dos canais principais, índice de circularidade, razão de alongação, coeficiente de forma, índice de compacidade, densidade hidrológica, densidade de drenagem, índice de sinuosidade, coeficiente de manutenção, gradiente dos canais, amplitude altimétrica, relação de relevo, percentagem de relevo relativo e índice de dissecação. Inspirado na metodologia do "Concurso de Vinhos" foi realizado uma análise comparativa dos diferentes modelos, destacando-se o modelo ALOS como o mais preciso em várias análises. Por outro lado, o modelo SRTM apresentou desempenho inferior nas diversas métricas morfométricas quando comparado aos resultados obtidos pelo VANT.

Palavras-chave: ALOS, Geoprocessamento, Hidrologia, MDS, SRTM, VANT.

ABSTRACT

Urban change represents a challenge due to accelerated population growth and the expansion of infrastructure, requiring sustainable stormwater management. The increase in surface water runoff, through soil sealing in urban areas, has caused frequent flooding. For this reason, hydrological studies are of great importance for the management of these waters. Currently, it is now possible to obtain hydrological data more quickly, accurately and at a lower cost, such as those acquired from Digital Elevation Models (DEMs) available free of charge on the web. However, there is still no consensus among researchers about which models are used in studies related to hydrology. Therefore, the main objective of the present study was to evaluate the accuracy of free global Digital Elevation Models (DEMs) in the delimitation and characterization of micro-watersheds, in comparison with a local Digital Surface Model (MDS) obtained by the Unmanned Aerial Vehicle (UAV), with the aim of evaluating the likelihood of using these free models as a low-cost tool for rainwater management. The area used for the study is located between the areas of the UFERSA and UERN universities, with a total of 561.6016 hectares in a perimeter of 10.10 km. Using the free software QGIS 3.34.4, several parameters and morphometric indices of the different models were analyzed, such as area, perimeter and axial length of the basin, classification, number and lengths of channels, length of the main channel, vector length of the channel main, outlet position, overlap of the main channels, circularity index, elongation ratio, shape coefficient, compactness index, hydrological density, drift density, sinuosity index, maintenance coefficient, channel gradient, altimetric amplitude, relationship of relevance, percentage of relative relevance and dissection index. Inspired by the "Wine Competition" methodology, a comparative analysis of the different models was carried out, highlighting the ALOS model as the most accurate in several analyses. On the other hand, the SRTM model presented lower performance in the various morphometric analyzes when compared to the results obtained by the UAV.

Keywords: ALOS, DSM, Geoprocessing, Hydrology, SRTM, VANT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação dos conceitos de bacia hidrográfica e suas ramificações.	25
Figura 2 - Hierarquização de drenagem proposto por Strahler.	26
Figura 3 - Principais atividades envolvidas em geoprocessamento.	32
Figura 4 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.	33
Figura 5 - Diferença entre as representações digitais MDE, MDS e MDT.....	35
Figura 6 - Esquematização de um plano de voo utilizado na topografia com VANT.....	37
Figura 7 - Diferença entre acurácia e precisão.	38
Figura 8 - Interface de mapas para encontrar MDE do Open Topograpy.....	44
Figura 9 - VANT modelo Phantom 4 PRO utilizado no levantamento aerofotogramétrico. ...	46
Figura 10 - Fly zones do município de Mossoró-RN.	47
Figura 11 - Zona de Alerta e Zona de Alerta Reforçado da área de estudo.	48
Figura 12 - Segmentação da área de estudo em subáreas.....	49
Figura 13 - Realização do levantamento aerofotogramétrico.....	50
Figura 14 - Classe de pontos Groud (terreno).Uma imagem contendo GráficoDescrição gerada automaticamente	52
Figura 15 - Fluxograma do processamento das imagens pelo Agisoft Metashape.	53
Figura 16 - Direção de fluxo utilizando o método D8.....	54
Figura 17 - Fluxograma do processamento para delimitação da bacia através das imagens de satélites.	55
Figura 18 - Fluxograma do processamento da delimitação da bacia através de imagens de VANT.....	56
Figura 19 - Ortomosaico da área de estudo.	58
Figura 20 - MDS da área de estudo.	59
Figura 21 - MDS Reamostrado da área de estudo.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Aproximação pela área delimitada.....	70
Gráfico 2 - Aproximação pelo perímetro delimitado.	71

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da área de estudo.....	40
Mapa 2 - Delimitação da área de estudo através do MDE da SRTM de 30 m.....	41
Mapa 3 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDS Reamostrado.	61
Mapa 4 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDS Reamostrado.	61
Mapa 5 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE FAMDEM.....	63
Mapa 6 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE FAMDEM.....	63
Mapa 7 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE SRTM.	64
Mapa 8 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE SRTM.	64
Mapa 9 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE NASADEM.	65
Mapa 10 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE NASADEM.....	65
Mapa 11 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE Copernicus.	66
Mapa 12 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE Copernicus.	66
Mapa 13 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE ALOS.....	67
Mapa 14 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE ALOS.....	67
Mapa 15 - Sobreposição dos canais principais do MDE FAMDEM em relação ao MDS Reamostrado.	72
Mapa 16 - Sobreposição dos canais principais do MDE SRTM em relação ao MDS Reamostrado.	73
Mapa 17 - Sobreposição dos canais principais do MDE NASADEM em relação ao MDS Reamostrado.	73
Mapa 18 - Sobreposição dos canais principais do MDE Copernicus em relação ao MDS Reamostrado.	74
Mapa 19 - Sobreposição dos canais principais do MDE ALOS em relação ao MDS Reamostrado.	74
Mapa 20 - Aproximação de cada modelo em relação ao exutório.	75
Mapa 21 - Sobreposição das microbacias (MDS e ALOS).	79
Mapa 22 - Sobreposição dos canais (MDS e ALOS).	80
Mapa 23 - Sobreposição das microbacias (MDS e SRTM).....	80
Mapa 24 - Sobreposição dos canais (MDS e SRTM).....	881

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características de cada modelo.	35
Tabela 2 - Comparação dos parâmetros de proporção da microbacia entres os MDE de diferentes bases de dados.....	42
Tabela 3 - Comparação dos parâmetros entres os MDE de diferentes bases de dados.	42
Tabela 4 - Parâmetros e resultados dos voos.....	49
Tabela 5 - Apuração das avaliações de todos os juízes.	57
Tabela 6 – Apuração das opiniões de todos os juízes.....	57
Tabela 7 - Parâmetros geométricos da microbacia.	62
Tabela 8 - Índices morfométricos da microbacia.	62
Tabela 9 - Comparação dos parâmetros da microbacia em relação aos MDS disponíveis gratuitamente e o MDS gerado por VANT.	68
Tabela 10 - Comparação dos índices da microbacia em relação aos MDS disponíveis gratuitamente e o MDS gerado por VANT.	69
Tabela 11 - Comparação entre os modelos em relação a sobreposição do canal principal.	72
Tabela 12 - Resultados das aproximações e erros dos modelos globais em relação ao modelo por VANT.....	76
Tabela 13 - Classificação dos parâmetros geométricos analisados.	77
Tabela 14 - Comparativo de mensuração do erro com base nos resultados obtidos pelo VANT.	77
Tabela 15 - Resultados totais dos índices morfométricos.	78
Tabela 16 - Ranqueamento final da análise comparativa das características morfométricas da microbacia entre os MDE.	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da bacia
Amáx	Cota máxima da bacia
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
Cm	Coeficiente de manutenção
Dd	Densidade de drenagem
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
Dh	Drenagem da bacia hidrográfica
Dis	Índice de Dissecação
Dv	Distância vetorial do curso d'água
e _{máx}	Ponto mais alto no divisor topográfico próximo ao eixo da bacia
e _{mín}	Altitude do exutório
F	Coeficiente de Forma
FAMDEM	<i>Forest And Buildings Removed Copernicus DEM</i>
Gc	Gradiente dos canais
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Hm	Amplitude altimétrica
IC	Índice de Circularidade
Is	Índice de sinuosidade
Kc	Coeficiente de Compacidade

KML	<i>Keyhole Markup Language</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
L	Comprimento do eixo da bacia
Lc	Comprimento do canal principal
Lcd	Comprimento do curso d'água
Lt	Comprimento total dos cursos d'água
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NSV	<i>Non-Vegetated Surface</i>
N	Número de cursos d'água
P	Perímetro
Re	Razão de alongamento
Rhp	Porcentagem de relevo relativo
Rr	Razão de relevo
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UERN	Universidade Estadual do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

LISTA DE SÍMBOLOS

°	Graus
‘	Segundo
Σ	Somatório
%	Porcentagem
$\sqrt{}$	Raiz quadrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo Geral	23
2.2 Objetivos Específicos	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1 Bacia hidrográfica.....	24
3.2 Hierarquia dos Cursos D'água.....	26
3.3 Forma da Bacia Hidrográfica	27
3.4 Coeficiente de Compacidade	28
3.5 Drenagem da bacia hidrográfica.....	29
3.6 Declividade da Bacia Hidrográfica.....	30
3.7 Uso das geotecnologias na caracterização de bacias hidrográficas	31
4 METODOLOGIA.....	39
4.1 Área de estudo	40
4.2 Parâmetros Analisados	42
4.3 Aquisição dos MDEs.....	43
4.3 Levantamento Aerofotogramétrico.....	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
5.1 Resultado do Processamento	58
5.2 Resultado da Delimitação com MDS Reamostrado	60
5.3 Resultado da Delimitação com MDEs de 30m.....	62
5.4 Aproximação da Área e do Perímetro	70
5.5 Aproximação no Traçado do Canal Principal.....	71
5.6 Aproximação do Exutório	75
5.7 “Concurso de MDE”	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXO I - CÓDIGO DE AMOSTRA	90

1 INTRODUÇÃO

A drenagem urbana se tornou um desafio devido ao rápido crescimento populacional e a expansão das infraestruturas, necessitando cada vez mais de um gerenciamento sustentável das águas pluviais. Este tema torna-se central em um contexto global, uma vez que as mudanças climáticas ampliam a frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e enchentes (de Souza, 2013). O processo de impermeabilização do solo em ambientes urbanos tem gerado um crescimento notável do escoamento superficial das águas pluviais, resultando em alagamentos frequentes (Moura; Silva, 2015).

De acordo com dados do Plano Nacional de Saneamento Básico em seu Relatório de Avaliação Anual, cerca de 44,1% dos municípios brasileiros informaram sobre a ocorrência de enxurradas, inundações ou alagamentos nos últimos 5 anos (Brasil, 2021). Tais resultados apontam um aumento de 1,2% em relação ao ano anterior, e acende um alerta quanto ao não cumprimento de metas previstas.

Na maioria dos casos, as inundações ocorrem em áreas de risco em que residem populações majoritariamente de baixa renda. Essas áreas acabam sendo ocupadas de forma irregular devido à situação de vulnerabilidade social, atrelado a impossibilidade financeira de adquirir uma moradia em áreas seguras. Por isso, acabam ocupando essas áreas suscetíveis a inundações, e por vezes, sofrem tanto perdas econômicas como vidas humanas (Schorn; Vieira, 2023).

Segundo Tucci (2012), no âmbito da gestão da drenagem urbana, é imprescindível gerenciar o fluxo de água ao longo do tempo e do espaço, com o objetivo primordial de minimizar os danos causados à sociedade e ao ambiente. A abordagem contemporânea dessa gestão propõe a integração eficiente dos recursos hídricos na bacia hidrográfica e das águas urbanas, com o intuito de minimizar os efeitos causados por chuvas intensas.

De acordo com as diretrizes do saneamento básico no Brasil, são estabelecidas pela Lei Federal N° 11.445/2007 os serviços públicos de saneamento básico, sendo definidos como:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;

- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes;

Entretanto, por vezes, a drenagem e o manejo das águas pluviais são negligenciados, tanto na execução quanto na fiscalização ou manutenção de obras de engenharia que envolve esse tipo de projeto.

A responsabilidade pela gestão e controle da drenagem urbana é atribuída aos municípios, os quais devem adotar medidas legislativas em conjunto com ações estruturais, de maneira a ter um planejamento urbano integrado (Tucci, 2012).

Para um bom planejamento, gestão e controle da drenagem urbana, as informações hidrológicas são de grande importância, bem como essas também são necessárias para a execução de diversas obras da engenharia civil. Por esse motivo, é necessário obter-se dados confiáveis para realizar os estudos, avaliações, execuções e gerência, tanto dos recursos hídricos como das obras que os envolvem (Zanetti, 2022).

Com isso, é importante salientar a relevância dos conhecimentos sobre as bacias hidrográficas para fomentar as escolhas estratégicas na elaboração de políticas públicas, planejamento e gestão territorial, sobretudo, no que diz respeito à drenagem urbana das águas pluviais (de Araújo *et al.*, 2009).

Nos estudos hidrológicos, a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica de interesse é uma das primeiras etapas, visando esclarecer questões relacionadas à dinâmica ambiental local e global daquela bacia (da Silva; Duarte, 2020). De acordo com Tucci (1997), os dados morfométricos de uma bacia podem ser obtidos através de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélites.

Devido aos grandes avanços tecnológicos e a atual realidade científica, cada vez mais se busca uma análise interdisciplinar integrando a utilização de ferramentas tecnológicas (Araújo; Bandeira, 2019). Atualmente é possível se conseguir dados hidrológicos de maneira bem mais rápida, mais precisa e com menor custo, isso graças ao desenvolvimento e avanços das geotecnologias como, por exemplo, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Ribeiro; Ferreira, 2014).

Uma maneira de conseguir esse tipo de informações, as quais são cruciais para a delimitação de uma bacia hidrográfica, se dá a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) que podem ser obtidos através do sensoriamento remoto. Segundo Guth *et al.* (2021), trata-se de um modelo matemático que representa os elementos da superfície terrestre, levando em consideração as três dimensões (X, Y e Z).

Em sites governamentais e institucionais são disponibilizados de forma gratuita, vários MDEs, que podem ser atualizados como uma ferramenta de estudo para os projetos ligados à hidrologia. Esses MDEs foram obtidos através de sensoriamento remoto por satélites, em diferentes missões e vários tratamentos de dados (Guth *et al.*, 2021).

Como exemplos desses modelos é possível destacar o SRTM, ALOS World 3D, Copernicus Global DSM, NASADEM Global DEM, EU DTM, GEDI L3, ASTER GDEM, TanDEMx DEM e o FABDEM. Entretanto, é perceptível a falta de consenso entre os pesquisadores com relação a qual o melhor MDE para aplicações hidrológicas. Neste estudo, foram observados vários trabalhos a respeito do tema, entre eles Souza (2021), Vale (2020), Rodrigues (2020), Nobre (2020), Raiol (2022) e Schnorr (2021) utilizaram o SRTM nos seus trabalhos. Já os autores da Silva (2022) e Rocha, (2023) optaram pelo ALOS. Enquanto, Costa (2022), de Sordi (2021), Parma (2021) e Alves (2022) usaram o NASADEM. Londres *et al.* (2023), Silva (2022), Melo (2022) e Ferreira (2022) adotaram o Copernicus. Por fim, Nunes (2023) utilizou o FABDEM em sua pesquisa.

A aplicação de parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas revela resultados quantitativos essenciais para compreender o comportamento hidrológico. A expressão quantitativa se torna crucial para interpretar as interações entre características fisiográficas e processos hidrológicos, permitindo uma análise mais aprofundada (Silva *et al.*, 2014a)

Atualmente os estudos topográficos vêm sendo realizados com a utilização de VANT's o que proporciona a obtenção de produtos como os MDS's essenciais para diversos estudos, inclusive aqueles ligados à hidrologia. Entretanto apesar dessa nova tecnologia possuir um ótimo custo-benefício se comparada com os métodos tradicionais de levantamento topográfico a mesma ainda possui um alto custo de implementação.

Com isso, o presente trabalho tem como proposta levantar e avaliar as características morfométricas de uma microbacia hidrográfica localizada no município de Mossoró/RN, utilizando como parâmetro a caracterização feita a partir de um Modelo Digital de Superfície (MDS) de 0,5 m de resolução espacial gerado com base no levantamento de uma Aeronave Remotamente Pilotada (VANT). Dessa forma, realizando um comparativo com as caracterizações resultante da mesma microbacia utilizando MDEs globais de 30 m de resolução espacial, disponibilizados de forma gratuita na internet e avaliar.

A partir dos resultados obtidos, será possível apontar qual MDE terá uma melhor acurácia no que se diz respeito a estudos hidrológicos, principalmente, aqueles ligados à drenagem urbana. Além disso, apontar se há possibilidade de utilizá-lo como parâmetro para o planejamento, execução e manutenção de projetos de drenagem urbana, abrindo mão dos levantamentos topográficos convencionais e, por fim, reduzindo os custos do projeto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a caracterização fisiográfica de uma microbacia hidrográfica elaborada a partir dos MDE disponíveis de forma gratuita, utilizando como parâmetro de comparação a caracterização da mesma bacia a partir de um MDE gerado por VANT.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar os resultados obtidos pelos MDEs disponibilizados de forma gratuita com os obtidos a partir do MDE gerado por VANT.
- Elencar qual MDE possui melhor desempenhona delimitação e caracterização fisiográfica de uma bacia hidrográfica.
- Propor diretrizes e recomendações a serem implementadas no momento de escolha do MDE, bem como, aos parâmetros a serem utilizados para a análise dele.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bacia hidrográfica

As definições de bacias hidrográficas não variam muito entre diferentes autores ao longo do tempo, revelando semelhanças em alguns pontos. Entretanto, as discordâncias mais comuns aparecem nas definições associadas às sub-bacias e microbacias, as quais apresentam divergências entre os estudiosos.

Para Linsley e Franzini (1978), a bacia hidrográfica pode ser caracterizada como uma região delimitada por divisores de águas, estabelecendo uma fronteira com bacias vizinhas, e desempenha o papel de captar naturalmente a água da precipitação por meio de superfícies vertentes. Através de uma rede de drenagem composta por cursos d'água, ela direciona os fluxos para a seção de exutório, seu único ponto de saída.

Segundo Silva (1995), o termo bacia hidrográfica faz referência a uma subdivisão geográfica natural delineada por divisores de água. Essa região é caracterizada pela drenagem superficial, envolvendo um curso d'água principal e seus afluentes.

Já para Tucci (1997), uma bacia hidrográfica é caracterizada como uma área de captação natural para a água da precipitação, que direciona o escoamento para um ponto de saída único. Essa bacia é constituída por uma série de superfícies inclinadas e por uma rede de drenagem composta por cursos de água que convergem para formar um leito único em seu ponto de exutório.

Com relação às definições de sub-bacias, existem algumas divergências entre os autores, dentre eles têm-se Fernandes e Silva (1994) que relacionam essa divisão com as ordens hierárquicas que possuem as malhas hídricas. Partindo do ponto de vista de Teodoro *et al* (2007), outros autores definem sub-bacias como sendo áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal, e como parâmetro usam a unidade de medida em área. No que se refere às delimitações que definem as áreas como sendo sub-bacias, Faustino (1996) classifica como sub-bacias as áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km². Em contraproposta, Rocha (1997) afirma que esse intervalo de área varia entre 200 km² e 300 km².

Quanto às discussões sobre as definições de microbacias, há autores que defendem a substituição desse termo pelo termo sub-bacia (Santana, 2003). Uma outra perspectiva leva em consideração a área da bacia, afirmando que microbacias possuem áreas drenantes não superior a 100 km², na qual a união de várias microbacias forma uma sub-bacia (Fausto, 1996). Outro conceito se dá a partir da definição de uma microbacia sendo nada menos que uma sub-bacia de área reduzida com áreas drenantes, que podem variar entre 0,1 km² e 200 km² (Cecílio; Reis, 2006). Por fim, existe a visão que define as microbacias hidrográficas áreas formadas por canais de 1ª e 2ª ordem, podendo em alguns casos possuir canais de 3ª ordem (Calijuri; Bubel, 2006).

Tendo isto em vista, observa-se que na literatura atual os conceitos de bacia hidrográfica e suas ramificações podem divergir em alguns pontos, principalmente, em relação às suas delimitações. Abaixo na Figura 1, temos a representação de um esquema de definição desses conceitos.

Figura 1 – Representação dos conceitos de bacia hidrográfica e suas ramificações.

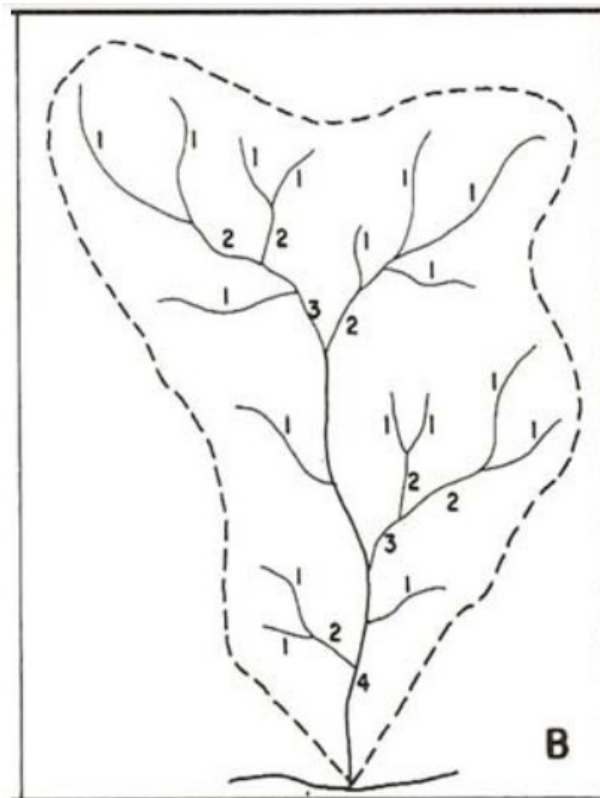


Fonte: Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, 2015.

3.2 Hierarquia dos Cursos D'água

Um curso d'água, independente de suas dimensões, sempre será originado pela contribuição de uma determinada área topográfica (Brigante; Espíndola, 2003). Com isso, os cursos d'água possuem uma classificação segundo a sua magnitude, os canais que não recebem tributos de nenhum outro canal são considerados de primeira ordem; a confluência de dois canais de primeira ordem origina um canal de segunda ordem, e só recebem contribuição de canais de primeira ordem; os de terceira ordem surgem da congruência de dois canais de segunda ordem, podendo este receber contribuição de canais de primeira e segunda, e assim sucessivamente para os demais casos (Strahler, 1952). Para exemplificar melhor essa classificação, na Figura 2 apresentada abaixo, temos o seguinte esquema de hierarquização.

Figura 2 - Hierarquização de drenagem proposto por Strahler.



Fonte: Christofolletti, 1980.

A hierarquização dos cursos d'água se dá pela classificação da bacia hidrográfica a que se encontra, sendo possível eliminar o conceito que o rio principal deve pertencer a mesma ordem ao decorrer de toda a sua extensão. A partir disso, se torna viável a identificação das suas

ramificações fluviais, suas nascentes e fozes e demais elementos que compõem a sua malha hídrica (Christofolletti, 1980).

3.3 Forma da Bacia Hidrográfica

Conforme as pesquisas de Piroli (2022), as bacias hidrográficas podem ter diferentes formatos, tamanho, relevo, recursos naturais e ocupação antrópica. Por isso, torna-se imprescindível caracterizar uma bacia, assim, havendo a possibilidade de determinar o seu tipo, aptidão, potencial, limitações e problemas. Para descobrir o formato de uma bacia, existem os seguintes índices que calculam estes parâmetros, sendo eles: Comprimento total dos cursos d'água; Índice de Circularidade; Razão de alongação e Coeficiente de Forma.

O Comprimento total dos cursos d'água (L_t) pode ser calculado, segundo Horton (1945), através do somatório de todos os comprimentos dos canais presentes na bacia. Com isso, temos a equação 1:

$$\sum L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (1)$$

O Índice de Circularidade (IC), desenvolvido por Christofolletti (1980), trata-se da relação da área da bacia (A), em km^2 , e o perímetro (P), em km, possuindo um valor máximo igual a 1. Com isso, o quão mais próximo a 1 o resultado for, mais a bacia se assemelha a uma forma circular, sendo mais suscetível a enchentes. Abaixo está a representação da equação 2:

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad (2)$$

A Razão de alongação (Re) refere-se a uma medida que relaciona o diâmetro do círculo de área, sendo igual a área da bacia (A), e o comprimento do eixo da bacia (L). A finalidade desse parâmetro se dá pela estimação do formato da bacia, no qual quando o valor resultante se aproxima de 1 tem um formato circular, e valores menores que 1 tem um formato mais alongado (Mosca, 2003). A medida pode ser dada pela equação 3:

$$R_e = \frac{1,128 \times A^{0,5}}{L} \quad (3)$$

O Coeficiente de Forma (F), criado por Vilella e Mattos (1975), consiste na relação entre a área da bacia (A), em km², e o comprimento axial da bacia (L), em km. Dessa forma, se o resultado for um valor pequeno refere-se a uma bacia alongada e com pouca probabilidade de a precipitação ultrapassar o seu limite. No caso do valor resultante for alto, a bacia se encontrará na forma circular, sendo possível atingir o máximo de sua extensão após uma precipitação elevada. A equação 4 do coeficiente de forma está apresentada abaixo:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

Onde o comprimento axial da bacia (L), obtém-se a partir da distância da foz do curso d'água até o ponto mais longe da área da bacia.

O último parâmetro pode ser relacionado a vulnerabilidade da bacia acerca das enchentes, sendo possível determinar o quão suscetível ela pode ser. Então, o quão menor for coeficiente, menor será a probabilidade de ocorrer enchentes, respectivamente se for maior, equivalerá a uma possibilidade maior de ocorrência (Vilella; Mattos, 1975).

3.4 Coeficiente de Compacidade

As inundações e enchentes são um dos principais problemas enfrentados pelas políticas públicas de gestão e planejamento urbano, conforme Tucci (2003), isto ocorre devido o sistema de drenagem não estar preparado para suportar precipitações intensas. Desse modo, Vilella e Mattos (1975), elaboraram o Coeficiente de Compacidade (K_c) que corresponde a relação entre o perímetro (P), em km, e a área da bacia (A), km². A equação 5 está mostrada abaixo:

$$K_c = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}} \quad (5)$$

No que diz respeito a esse índice, se o valor for próximo de 1 o tempo de concentração será menor, e haverá uma maior tendência a enchentes na bacia. Já para os casos de o valor ser mais irregular, maior será o índice. Para bacias circulares, o parâmetro tenderá a ser igual a 1 (Vilella; Mattos, 1975).

3.5 Drenagem da bacia hidrográfica

A drenagem urbana deve ser bem planejada, pois caso contrário pode acarretar danos como deslizamentos de encostas, enxurradas, inundações e aberturas de crateras (Santos, 2017). Tendo isso em vista, para desenvolver um projeto de drenagem eficiente, torna-se imprescindível a determinação de alguns parâmetros, dentre eles: densidade hidrográfica; densidade de drenagem; coeficiente de manutenção e índice de sinuosidade.

A densidade hidrográfica (D_h) trata-se da relação entre o número de cursos d'água (N) e a área da bacia hidrográfica (A), em km^2 . O objetivo desse parâmetro está na comparação entre a quantidade de cursos d'água e a área da bacia hidrográfica (Horton, 1945). Para determinar essa densidade utiliza-se a equação 6:

$$D_h = \frac{N}{A} \quad (6)$$

Onde o número de cursos d'água (N) está relacionado a ordenação de Strahler, a qual corresponde a quantidade de cursos de primeira ordem.

A determinação dessa densidade se torna muito importante, devido a representação do comportamento hidrológico para definir a área, ou seja, a capacidade de gerar novos cursos d'água (Coelho Junior, 2020). Portanto, esse aspecto deve ser levado em consideração para o planejamento da drenagem urbana.

A Densidade da drenagem (D_d) pode ser medida pela correlação entre o comprimento total dos cursos d'água (L_t) com a área da bacia hidrográfica (A), e, segundo proposto por Horton (1945), para determinar este comprimento utiliza-se tanto as medidas dos rios perenes como os temporários (Christofolletti, 1969). Para calcular este parâmetro aplica-se a equação 7:

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (7)$$

Esse parâmetro sofre influência a partir do comportamento hidrológico das rochas, sendo capaz de infiltrar com mais dificuldade devido ao maior escoamento superficial. Por isso, criando possibilidades maiores para a esculturação dos canais permanentes, assim, elevando a densidade de drenagem (Teodoro *et al*, 2007).

O Índice de Sinuosidade (I_s) está relacionado com o comprimento do curso d'água (L_{cd}), em km, e a distância vetorial desse curso d'água (D_v), em km, (Christofolletti, 1980). Tendo isso em vista, o índice representa a velocidade de escoamento dos canais, sendo o quanto maior ele for, mais difícil será de alcançar o seu exutório e devido isso a velocidade deverá ser menor (Coelho Junior, 2020). A equação 8 abaixo determina esse índice:

$$I_s = \frac{L_{cd}}{D_v} \quad (8)$$

Onde os valores de I_s forem próximos a 1, o curso d'água se classifica como retilíneo, já quando for maior que 2, os cursos serão sinuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais (Ribeiro et al, 2015).

O Coeficiente de manutenção (C_m), mediante os estudos de Horton (1945) e Schumm (1956), se refere a uma relação inversa da densidade de drenagem (D_d). O objetivo desse parâmetro é comparar os desenvolvimentos das redes de drenagem e a necessidade de manutenção delas. Para calcular o coeficiente utiliza-se a equação 9 abaixo:

$$C_m = \frac{I}{D_d} \times 1000 \quad (9)$$

3.6 Declividade da Bacia Hidrográfica

A declividade da bacia hidrográfica está atrelada ao escoamento de alta velocidade que, geralmente, drenam os cursos d'água e acarretam enchentes em locais com relevo muito acidentado. Com isso, as áreas planas estão sujeitas a sofrerem com inundações, devido à topografia irregular da região (Tucci, 2003). Para a determinação da declividade de uma bacia hidrográfica, temos os seguintes parâmetros: Gradiente de canais; Amplitude altimétrica; Relação de relevo; Percentagem de relevo relativo e Índice de dissecação.

O Gradiente de canais (G_c), consiste em uma razão entre a cota máxima ($A_{máx}$), em m, e o comprimento do canal principal (L_c), em m. Segundo Horton (1945), este índice tem como finalidade indicar a declividade dos cursos d'água da bacia. Para calcular esse índice utiliza-se a equação 10 a seguir:

$$G_c = \frac{A_{m\acute{a}x}}{L_c} \quad (10)$$

Onde o índice é expresso em porcentagem, além disso, quando o valor de declividade for maior, mais veloz será o escoamento pela gravidade e menor será o tempo de concentração da bacia (Horton, 1945).

A amplitude altimétrica (H_m) tem relação com a diferença altimétrica entre a altitude do ponto mais alto no divisor topográfico próximo ao eixo ($e_{m\acute{a}x}$), em m, e a altitude da foz ($e_{m\grave{m}n}$), em m, (Strahler, 1952). A equação 11 está apresentada abaixo:

$$H_m = e_{m\acute{a}x} - e_{m\grave{m}n} \quad (11)$$

A Relação de relevo (R_r), conforme Schumm (1956), trata-se da correlação entre a amplitude altimétrica da bacia (H_m), em metros, e o comprimento do canal principal (L_c), em metros. Desse modo, o índice indica que o maior valor resultante do cálculo, ocorrerá o maior desnível entre a cabeceira e o exutório, além da maior declividade média da bacia. Com isso, temos a equação 12 abaixo para determinar esse índice:

$$R_r = \frac{H_m}{L_c} \quad (12)$$

A Porcentagem de relevo relativo (R_{hp}) constitui-se da razão entre a amplitude (H_m), em km, e o perímetro da bacia (P), em km, sendo expressa em porcentagem (Melton, 1957). A medida pode ser obtida pela equação 13:

$$R_{hp} = H_m \times \frac{100}{P} \quad (13)$$

O Índice de Dissecção (Dis) corresponde a relação entre a amplitude (H_m), em m, e a altitude do ponto mais alto no divisor topográfico próximo ao eixo ($e_{m\acute{a}x}$), em metros (Gravelius, 1914). Abaixo está apresentado a equação 14 que determina este parâmetro:

$$Dis = \frac{H_m}{e_{m\acute{a}x}} \quad (14)$$

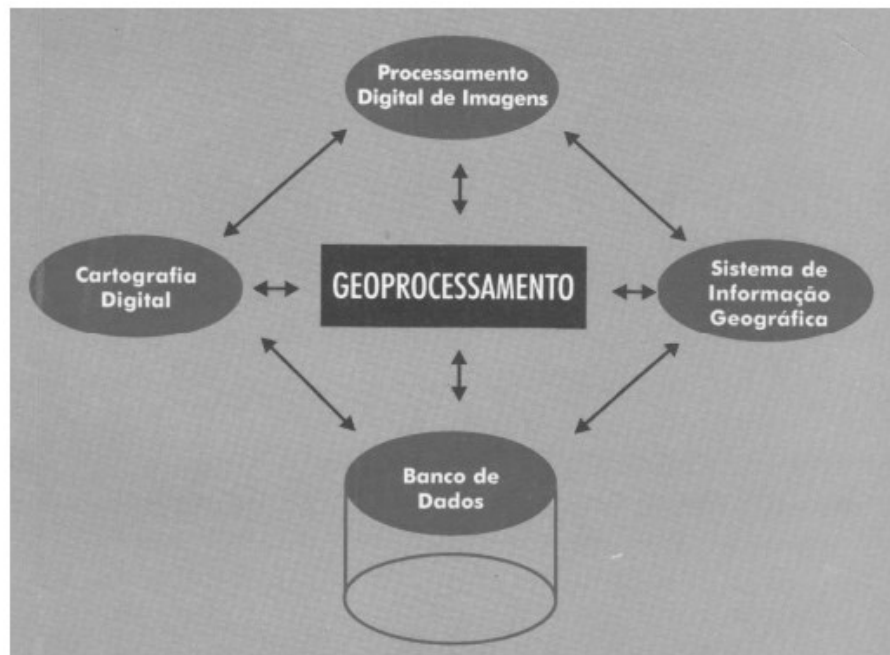
3.7 Uso das geotecnologias na caracterização de bacias hidrográficas

Todos esses parâmetros geométricos e índices, mencionados anteriormente, estão cada vez mais fáceis de serem mensurados com o advento da geotecnologia, já que essa é uma área que vem progredindo em sincronia com o desenvolvimento de tecnologias computacionais.

Para Rosa (2005), as geotecnologias representam um conjunto de ferramentas para a coleta, processamento, análise e compartilhamento de informações com referência espacial geográfica. Elas consistem em soluções de hardware, software e peopleware, que se combinam para fornecer recursos poderosos no apoio à tomada de decisões em várias áreas. Dentro desse campo, destacam-se tecnologias como geoprocessamento, SIGs, cartografia digital, sensoriamento remoto via satélite, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e técnicas como aerofotogrametria, geodésia e topografia clássica.

De acordo com Rosa e Brito (2013), o termo geoprocessamento é utilizado quase que exclusivamente no Brasil, esse termo é utilizado como um sinônimo de geomática, sendo definido como a ciência que emprega métodos matemáticos e computacionais para examinar dados geográficos, ou seja, dados relacionados à superfície terrestre e vinculados a um sistema de coordenadas. Na Figura 3 mostrada abaixo, temos as principais atividades relacionadas ao geoprocessamento.

Figura 3 - Principais atividades envolvidas em geoprocessamento.

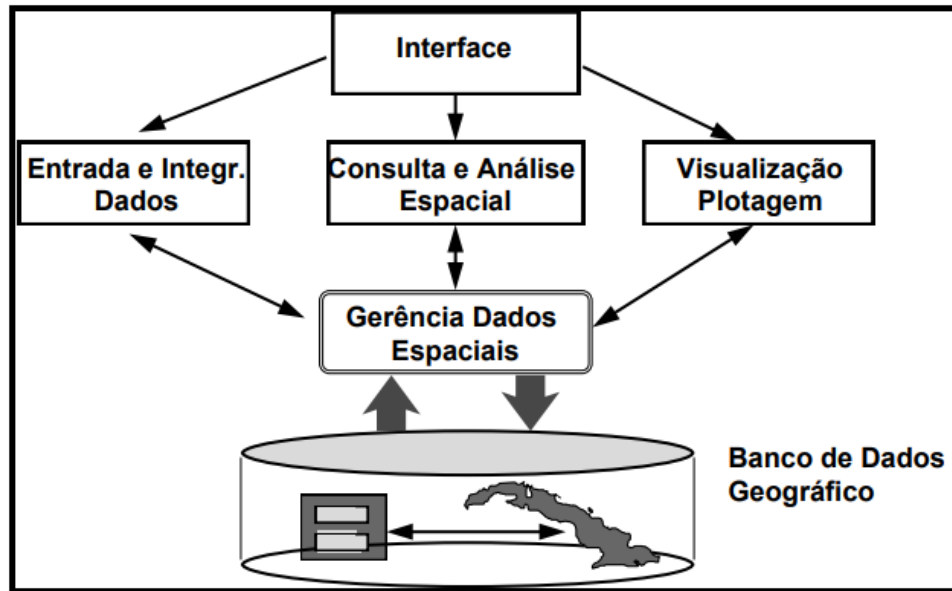


Fonte: Rosa, 2011.

Outra geotecnologia muito empregada nos estudos atuais é o SIG, esse pode ser

entendido como uma plataforma computacional, que contém ferramentas para a manipulação, transformação, armazenamento, visualização, análise e modelagem de dados georreferenciados (Camara, 1995). Na Figura 4 é apresentada a estrutura básica para criação de um SIG.

Figura 4 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.



Fonte: Câmara, 1995.

Já o conceito de Sensoriamento Remoto é definido como um conjunto de práticas, que permitem a coleta de informações dos elementos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com eles. Isso só é possível graças ao processo interativo, que existe entre a energia eletromagnética emitida ou refletida pelo objeto de estudo (alvo) e registradas pelos sensores remotos (Moraes, 2002).

Este processo de obtenção de dados da superfície terrestre, a partir do sensoriamento remoto por aerofotogrametria, tem o seu princípio no início dos anos de 1850 com a utilização de balões de ar quente em um voo realizado por Félix Nadar em Paris (Thurlemann, 2011). A partir desse episódio, despertou-se o interesse dos pesquisadores sobre essa nova maneira de mapear a superfície terrestre e, assim, surgiram novas maneiras de realizar esse tipo de mapeamento. As primeiras fotografias de pipas foram obtidas em 1882 por ED Archibald, um meteorologista britânico que contribuiu significativamente para o avanço da tecnologia de fotografia naquele período (PAPA, 2015).

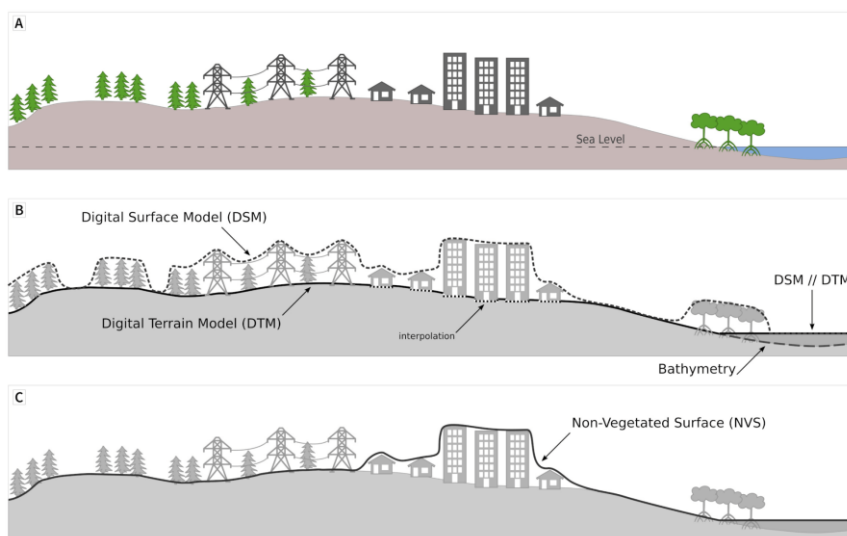
O desenvolvimento das tecnologias ligadas às Aeronaves Tripuladas, Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT's) e Satélites estão muito associadas à utilização militar, principalmente

em períodos de guerra como uma forma de buscar uma vantagem em relação ao inimigo, seja com um maior alcance de poder de fogo, seja com espionagem e monitoramento do inimigo. Com esses avanços e o fim dos conflitos, essas novas tecnologias foram adaptadas e tornaram-se úteis para a sociedade atual, incorporando novas ferramentas e tomando serviços de propósitos não militares (Pinto, 2019).

Atualmente uma das aplicações dessas novas tecnologias está ligada a estudos que têm empregado métodos de sensoriamento remoto orbital e suborbital para analisar a dinâmica de águas superficiais, ou seja, utilizam dados coletados por sensores em satélites e VANT's para seus estudos (Furlan; Brito, 2023). O surgimento dessas novas tecnologias avançadas nas últimas décadas, proporcionou a criação de várias representações digitais de superfícies do terreno (Ferreira, 2014). As principais representações são: Modelo Digital de Elevação, Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital de Terreno.

Como já mencionado, um dos produtos gerados por meio do sensoriamento remoto é o MDE, conforme descrito por Fernandes (2021), este é um modelo matemático aproximado com a finalidade de criar representações digitais da variação de elevação da superfície terrestre. É importante salientar que o MDE é uma designação geral, dividida em duas categorias distintas: o MDS e o Modelo Digital de Terreno (MDT).

Segundo Guth (2021), o MDS representa o limite inferior da atmosfera com as outras esferas (litosfera, hidrosfera, criosfera, biosfera ou antroposfera), considerando elementos como árvores ou edifícios. Por outro lado, o MDT demarca a fronteira entre a litosfera e a atmosfera, representando a superfície da "terra nua", excluindo elementos como árvores, edifícios ou qualquer outra superfície que não seja a do terreno natural. Ainda o NSV (Non-Vegetated Surface) que é um MDS onde é feita uma filtragem e excluída a vegetação. Assim, na Figura 5 é apresentado a diferença entre os modelos.

Figura 5 - Diferença entre as representações digitais MDE, MDS e MDT.

Fonte: Guth, 2021.

Já estão disponíveis na internet de forma gratuita diversos MDEs, gerados a partir de satélites espaciais com resolução espacial de aproximadamente 30 m (1'' de arco). Estes modelos possuem uma cobertura global quase que completa da superfície terrestre (Guth, 2021). A Tabela 1 a seguir mostra as principais características de cada modelo.

Tabela 1 - Principais características de cada modelo.

DEM	Espaçamento	Produtor	Precisão	Armazenamento em grade	Adquirido
SRTM (v3)	1", 3"	NASA	Inteiro	RasterPixelIsPoint	2000 (11 dias)
ALOS	1"	JAXA	Inteiro	RasterPixelIsArea	2006–2011
NASADEM	1"	NASA	Número inteiro ou ponto flutuante	RasterPixelIsPoint	2000 (11 dias)
Copernicus DEM	1", 3"	ESA/Airbus	Ponto flutuante	RasterPixelIsPoint	2011–2015

Fonte: Adaptado de Guth, 2021.

O modelo FABDEM (*Forest And Buildings Removed Copernicus DEM*), que não aparece na tabela anterior, foi resultado de um trabalho realizado com os dados do MDE Copernicus, no qual removeu-se as distorções geradas pela vegetação, edifícios e obras humanas. Com isso, obteve-se um mapa de elevação global com um espaçamento de grade de 1' de arco, aproximadamente 30 m (Hawker, 2022).

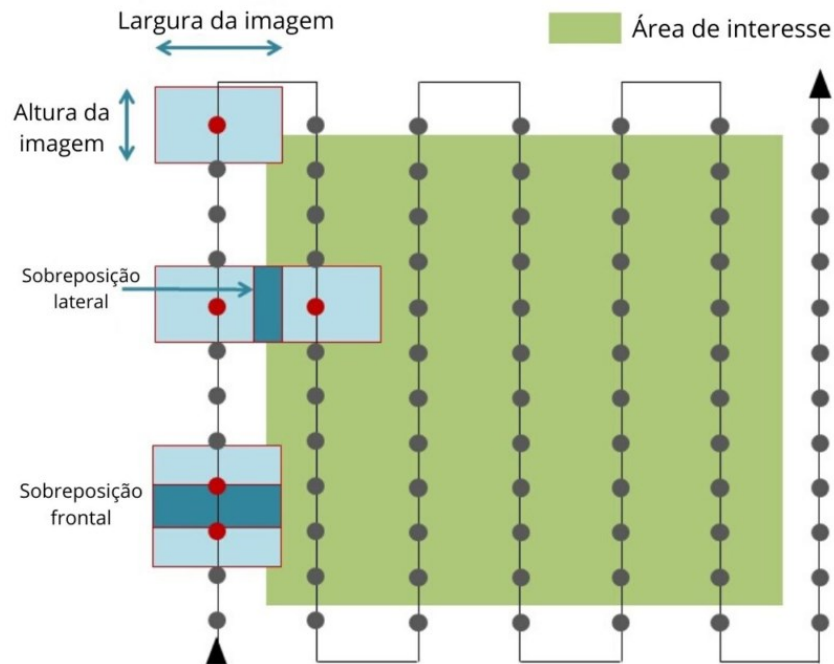
Tais modelos também podem ser adquiridos em escala local por meio do processamento de imagens adquiridas por VANT's que, segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), trata-se de uma aeronave desenvolvida para operar de maneira autônoma, ou seja, dispensa a presença de um piloto a bordo. Esta categoria engloba todas as aeronaves controláveis nos três eixos, tais como aviões, helicópteros e dirigíveis, mas exclui os balões convencionais e os aeromodelos (ANAC, 2015).

Uma das maiores aplicações dessa ferramenta é no setor de topografia, em que são utilizados para o mapeamento de áreas agrícolas a fim de obter medições de áreas, volumes e curvas de nível. De modo que se torna uma ferramenta indispensável para a agricultura de precisão. Outro setor que tem crescido o uso de tal artifício é a construção civil, no qual está sendo usado para o mapeamento de terrenos, locação, acompanhamento e fiscalização de obras (Granemann, 2019).

A mesma metodologia pode também ser aplicada como ferramenta de gestão urbana, onde tem-se diversas aplicações tais como engenharia de tráfego, controle do crescimento urbano, fiscalização de obras, entre outras (Bastian, 2019). Todas essas aplicações só são possíveis devido aos dois produtos oriundos das fotografias aéreas, MDE e a Ortoimagem. A partir desses dois produtos, podemos obter outros diversos subprodutos como curvas de nível, medições de volume, mapeamento de feições, rede de drenagem, entre outros.

Visto que o VANT faz o mapeamento aéreo de maneira autônoma, é necessário a programação do voo antes de iniciar a missão, e alguns fatores como velocidade, altura e principalmente a sobreposição das imagens capturadas são importantes para garantirmos qualidade aos produtos gerados. As sobreposições por exemplo variam entre 60% e 90% e são fundamentais para fornecer visões diferentes do mesmo objeto/terreno, garantindo assim uma boa modelagem do terreno e êxito na missão (Terrasystem, 2024). Na Figura 6 temos a esquematização de um plano de voo.

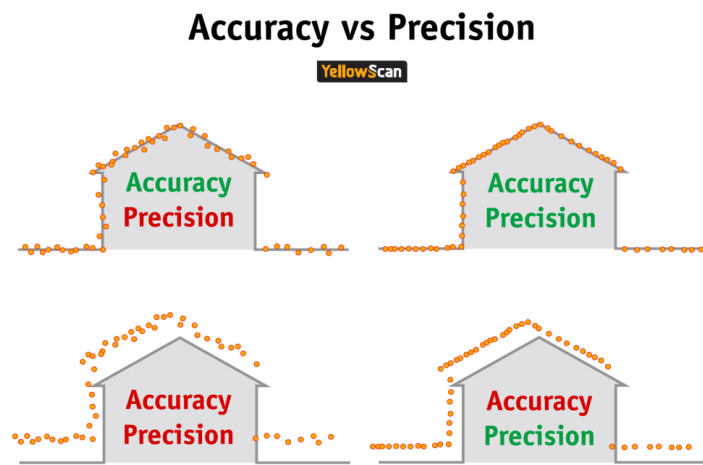
Figura 6 - Esquemática de um plano de voo utilizado na topografia com VANT.



Fonte: Terrasystem, 2024.

Outros parâmetros importantes a serem avaliados são a precisão e a acurácia dos produtos gerados, Mikhail e Ackermann (1976), distinguem esses dois conceitos que muitas vezes causam confusão nas suas definições ou são utilizados como sinônimos. Para os autores, a precisão é definida como a consistência nas medições em torno da média, enquanto a acurácia representa o quão próximo uma estimativa está do valor real, em resumo, a precisão consiste em afinar o alvo, e a acurácia em acertar o centro. Na Figura 7 é mostrado a diferença entre acurácia e precisão.

Figura 7 - Diferença entre acurácia e precisão.



Fonte: YellowScan, 2024.

4 METODOLOGIA

Este trabalho se propõe a realizar uma análise dos parâmetros de caracterização morfométrica de uma microbacia urbana a partir de diferentes MDEs. Os resultados obtidos com um MDE de 0,5 m serão analisados e comparados com os resultados os obtidos a partir de MDEs de 30m disponíveis gratuitamente.

De acordo com as propostas de Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa está classificada como de abordagem quantitativa uma vez que tem raízes no pensamento positivo lógico, com uma tendência ao raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os resultados mensuráveis. Quanto a sua natureza, esta pode ser classificada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos com aplicações práticas com o intuito de solucionar um problema específico.

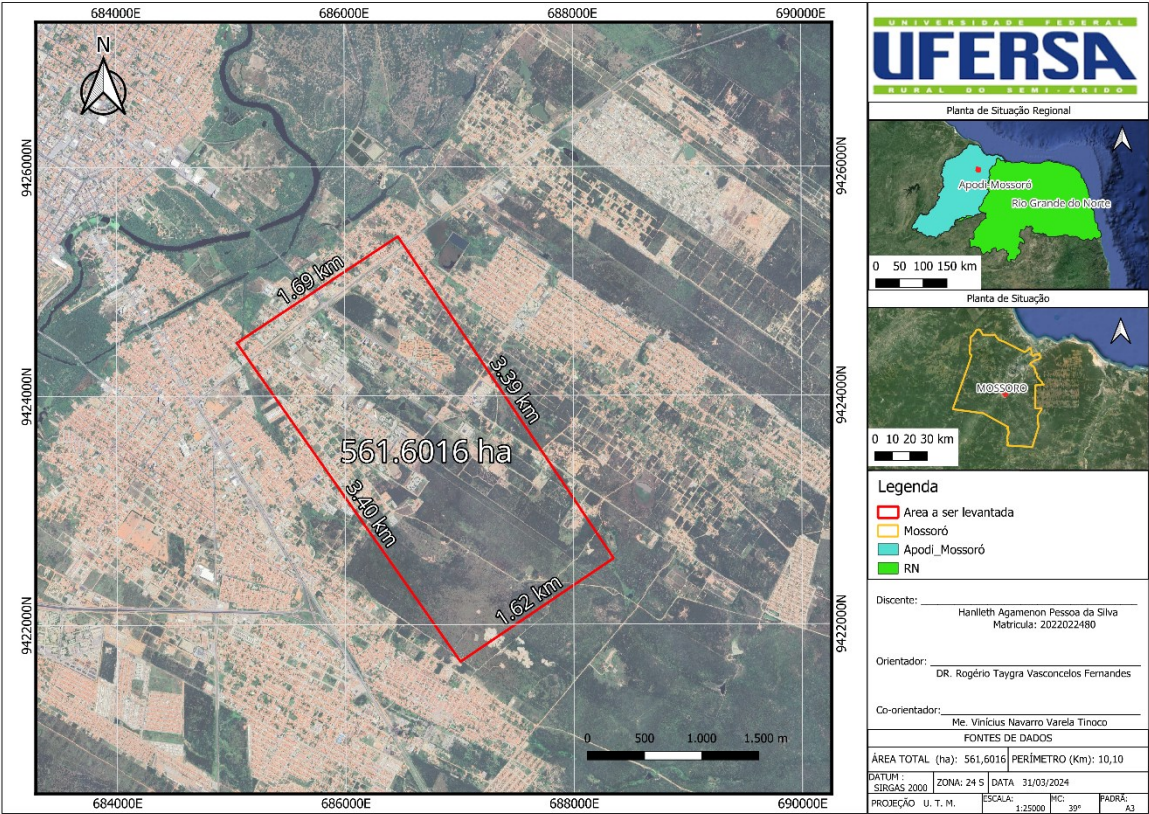
Já com relação aos seus objetivos, a mesma pode ser classificada como descritiva, onde busca-se descrever os fatos ou fenômenos de uma realidade, voltando sua atenção para a caracterização de bacias hidrográficas a partir do sensoriamento remoto. E por fim, quanto ao seu procedimento, esta ainda pode ser caracterizada como um estudo de caso, pois enfatiza o estudo na análise de uma área específica.

- **Abordagem:** Quantitativa;
- **Natureza:** Aplicada;
- **Objetivo:** Descritivo;
- **Procedimento:** Estudo de Caso.

4.1 Área de estudo

A área escolhida para estudo se caracteriza como uma microbacia hidrográfica de acordo com as definições dos autores apresentados neste trabalho, está inserida na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental e pertence à Bacia Apodi-Mossoró. Esta microbacia fica localizada na cidade de Mossoró-RN, em uma área situada entre os terrenos das universidades estadual e federal, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) e Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), respectivamente. No Mapa 1 é apresentado a área de estudo utilizada na pesquisa.

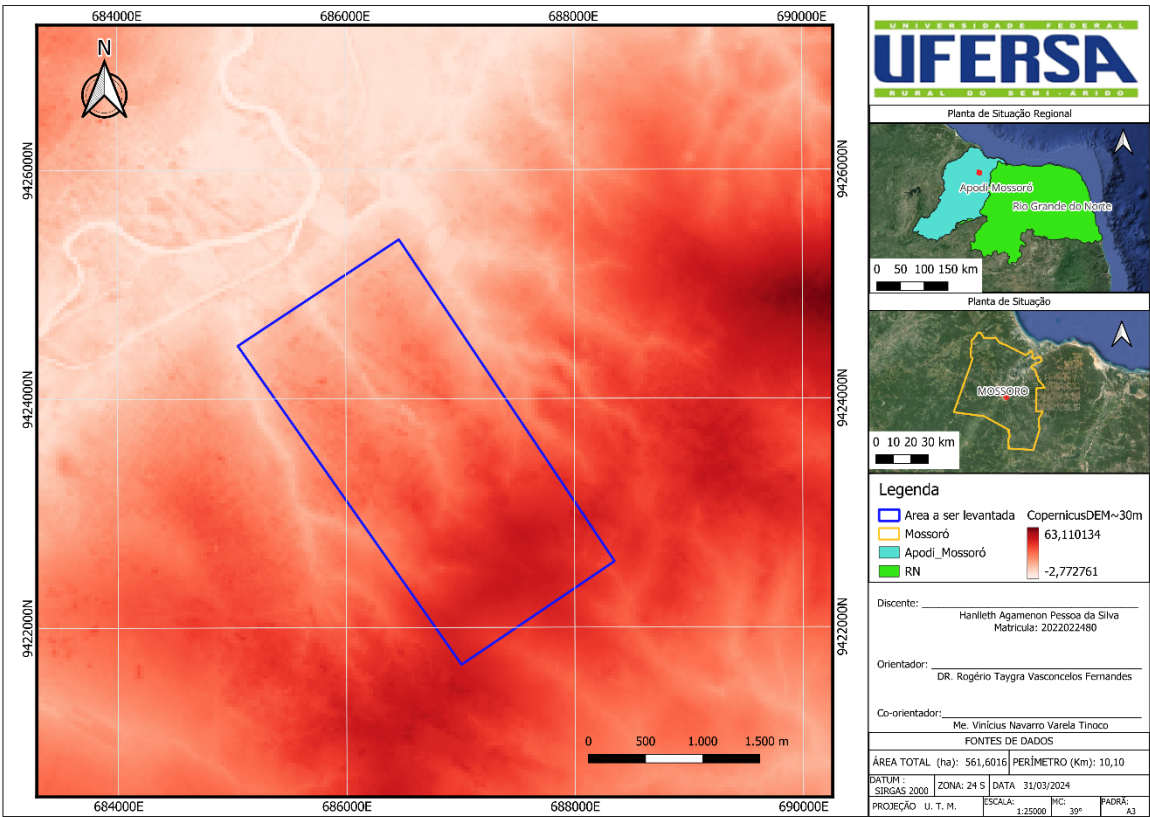
Mapa 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A área de estudo foi delimitada a partir do MDE Copernicus de 30 m, no qual em uma análise visual prévia foi possível identificar os divisores topográficos da região, e assim, delimitar uma área de 561,6016 hectares em um perímetro de 10,10 km, que engloba toda a microbacia em estudo. No Mapa 2 observa-se a delimitação do MDE da SRTM.

Mapa 2 - Delimitação da área de estudo através do MDE da COPERNICUS de 30 m.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2 Parâmetros Analisados

Os parâmetros analisados foram descritos nos itens 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, os quais trazem características fisiográficas da bacia e estão presentes nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Comparação dos parâmetros de proporção da microbacia entres os MDE de diferentes bases de dados.

Parâmetro	Unidade
Área	Km ²
Perímetro	Km
Canais de 1ª Ordem	Quantidade
Canais de 2ª Ordem	Quantidade
Canais de 3ª Ordem	Quantidade
Quantidade de Canais	Quantidade
Comprimento Vetorial	Km
Comprimento dos Canais	Km
Comprimento do Canal Principal	Km
Comprimento Axial da Bacia	Km
Cota na Foz	m
Cota na Nascente	m
Cota do Maior Divisor Topográfico	m
Posição do Exutório	m
Sobreposição do Canal Principal	ha

Fonte: Autoria própria, 2024.

TEXTO PARA APRESENTAR A TABELA.

Tabela 3 - Comparação dos parâmetros entres os MDE de diferentes bases de dados.

Parâmetro	Unidade
Índice de Circularidade (Ic)	
Razão de Elongação (Re)	
Coefficiente de Forma (F)	
Índice de Compacidade (Kc)	
Densidade Hidrológica (Dh)	canais/Km ²
Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km ²
Índice de Sinuosidade (Is)	m/m
Coefficiente de Manutenção (Cm)	m ² /m
Gradientede dos Canais (Gc)	%
Amplitude Altimetria (Hm)	m
Relação de Relevo (Rr)	m/Km
Percentagem de relevo relativo (Rhp)	%
Índice de dissecação (Dis)	

Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3 Aquisição dos MDEs

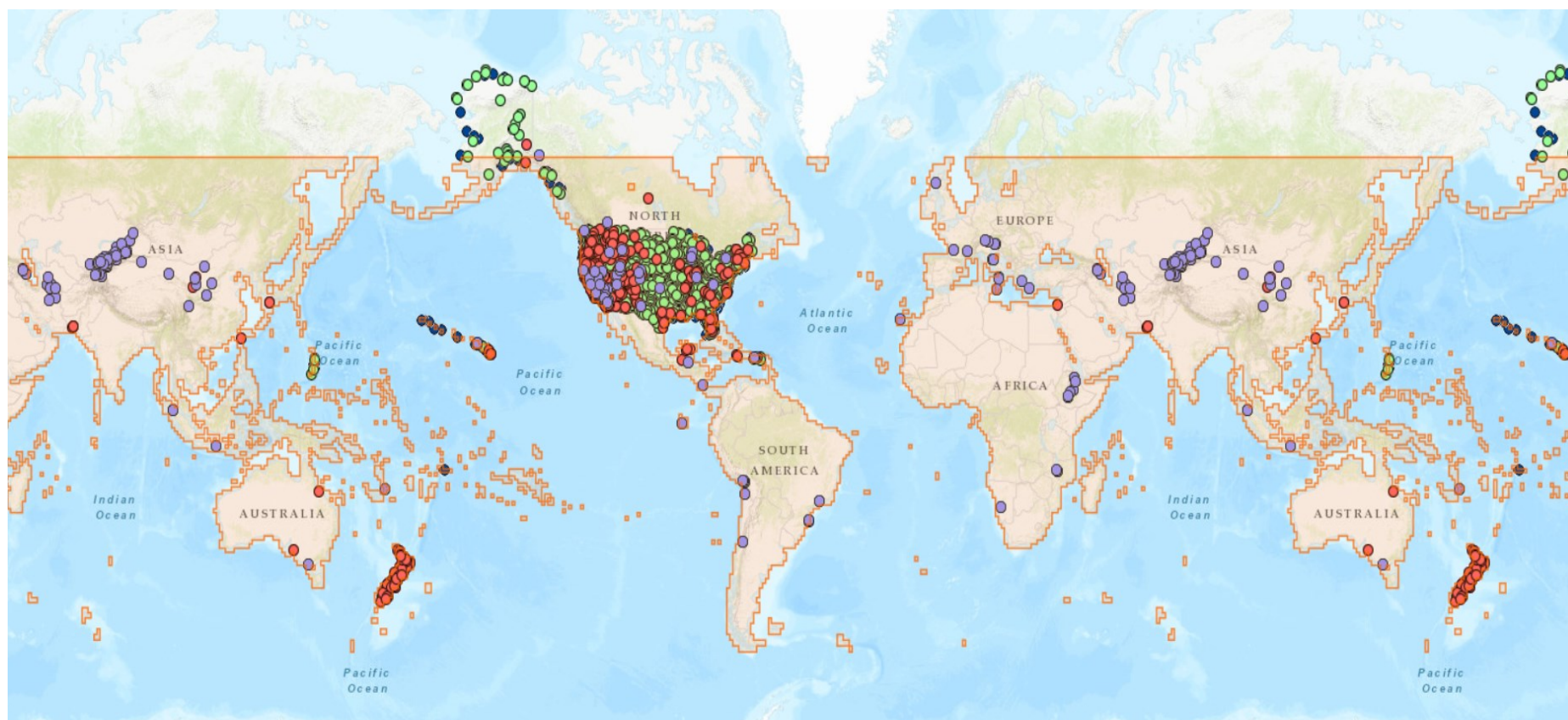
A obtenção dos Modelos Digitais de Elevação gratuitos, com resolução espacial de aproximadamente 30 m, se deu através do plugin *Open Topography DEM Downloader* disponível de forma gratuita para os usuários. Esta é uma ferramenta auxiliar do QGIS, que facilita o acesso e obtenção de dados topográficos. De modo que, essas ferramentas contribuem para um avanço na nossa compreensão da superfície terrestre.

O *Open Topography* é um programa financiado pela *Division of Earth Sciences at the US National Science Foundation*, que fornece o acesso baseado em dados topográficos de alta resolução disponíveis na web. Com isso, esses dados estão disponíveis em escalas regionais e globais, e são adquiridos por meio de tecnologias LiDAR (*Light Detection and Ranging*), radar e fotogrametria. Os conjuntos de dados disponíveis incluem:

- Cobertura LiDAR *Open Topography* (contornos vermelhos no mapa de dados) - Gratuita e aberta ao público.
- Dados contribuídos pela comunidade (contornos roxos) - Acesso gratuito e aberto ao público.
- Programa de Elevação 3D do USGS (3DEP) (contornos verdes) - Acesso Acadêmico
- LiDAR Topográfico Costeiro NOAA (contornos azuis) - Acesso Acadêmico
- Vários dados raster regionais e globais (resolução de 2 a 90 m) - 10 a 90 m são gratuitos e abertos ao público.
- Resoluções mais altas são Acesso Acadêmico.

Na Figura 8 é mostrado o site *Open Topography DEM Downloader*, no qual se obtém os modelos de forma gratuita.

Figura 8 - Interface de mapas para encontrar MDE do *Open Topografy*.



Fonte: *Open Topografy*, 2024.

Dentro do o software livre e gratuito QGIS 3.34.4, para a obtenção dos dados do SRTM, ALOS, COPERNICUS e NASADEM via plugin, é necessário um cadastro anterior no [site da Open Topography](#) para conseguir a chave de API, pois através dos dados de cadastro essa chave vai restringir o seu nível de acesso aos dados do site.

Para obter o MDE FABDEM, se deu a adoção de outra estratégia, uma vez que, ele não está disponível na base de dados da *Open Topography*. O conjunto de dados completos está disponível no [site oficial](#) da Universidade de Bristol.

Tendo em vista que, o conjunto completo de dados é muito grande na ordem dos 460 GiB, e os dados parcelados não nos permitem uma visualização prévia da área a ser obtida as informações das elevações. Por isso, utilizou-se um código de amostra que facilita a visualização, e a delimitação da área a ser baixado os dados. Dessa forma, o código de amostra proporciona o alcance desses dados de forma mais rápida, e com os recortes mais precisos da área a ser estudada.

Esse código de amostra está disponível no [catálogo da comunidade dos usuários do Google Earth Engine \(GEE\)](#), e pode ser visualizado no Anexo I.

4.3 Levantamento Aerofotogramétrico

Essa foi uma das principais etapas do trabalho, pois a partir dos produtos gerados por ela conseguiu-se estimar a qualidade dos MDEs globais de 30 m. Com isso, utilizou-se uma VANT do tipo quadricóptero, modelo *Phantom 4 PRO* da marca DJI. Na figura 9 é apresentado o modelo de VANT utilizado no levantamento aerofotogramétrico

Figura 9 - VANT modelo Phantom 4 PRO utilizado no levantamento aerofotogramétrico.



Fonte: Acervo do Projeto Acesso à Terra Urbanizada, 2021.

A etapa inicial do levantamento envolveu o planejamento da missão de voo, na qual foi realizada uma análise prévia da área a ser levantada. Essa análise tinha como objetivo principal, determinar se essa área estava dentro das áreas de restrições aéreas, conhecidas como "*fly zones*" (DJI, 2021). Nas "*fly zones*", os voos com VANT's só podem ser realizados com a devida autorização da ANAC e desbloqueio do fabricante da aeronave.

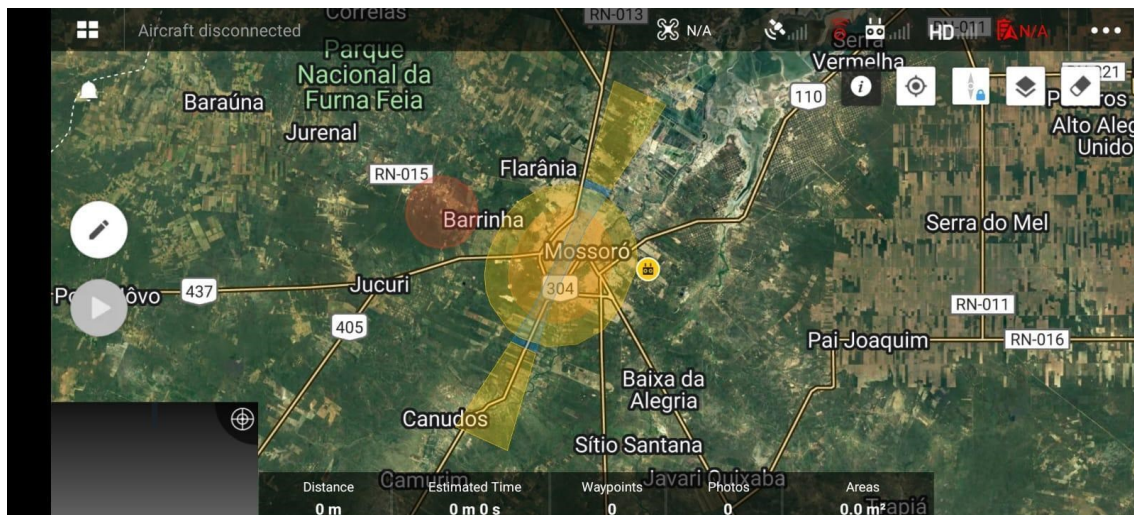
Para garantir a segurança de aeroportos ou áreas de segurança, a DJI define zonas de restrições e alertas para voos de VANT's, essas restrições são feitas através de uma tecnologia de *geofencing*, ou geocerca em português. Essas zonas são aplicadas principalmente em áreas de tráfego aéreo, sobretudo nos aeroportos onde existe uma movimentação constante de aeronaves. Entretanto, essas zonas são classificadas de acordo com o porte do aeroporto e o seu grau de risco (DJI, 2021). Para o Aeroporto Municipal de Mossoró Dix-Sept Rosado a classificação é de médio risco, portanto as suas zonas de restrição estão definidas e ilustradas na Figura 10.

- *Restricted Zone* (Vermelho): Zona Restrita, nenhum voo é permitido dentro de uma Zona Restrita.
- *Authorization Zones* (Azul): Uma zona de autorização, todos os voos são restritos por padrão, mas os usuários podem desbloquear automaticamente com uma conta verificada pela DJI.
- *Enhanced Warning Zones* (Amarelo mais Intenso): Uma Zona de Alerta Reforçada é uma área circular que se estende por 4 km para fora do perímetro de uma Zona de

Autorização. Quando um VANT se aproxima desta área pelo lado de fora, o aplicativo DJI emitirá um aviso. Os usuários devem então confirmar que desejam continuar voando.

- *Warning Zones* (Amarelo mais Intenso): Uma Zona de Alerta é uma área circular que se estende por 6 km para fora do perímetro de uma Zona de Autorização e as faixas finais do cone de aproximação numa extensão de 8,4 Km. Quando um VANT se aproxima desta área pelo lado de fora, o aplicativo DJI emitirá um aviso. Os usuários devem então confirmar que desejam continuar voando.

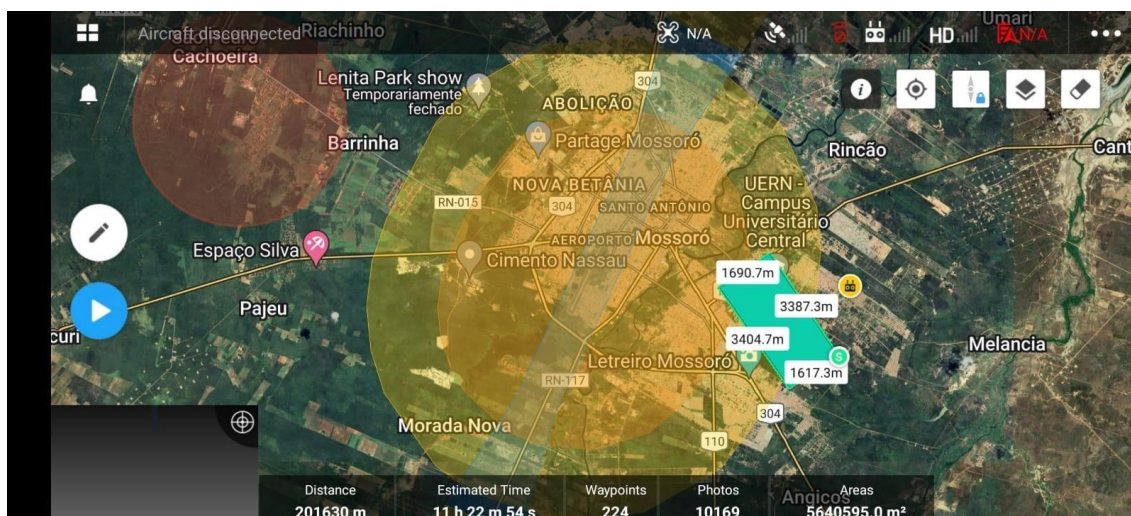
Figura 10 - Fly zones do município de Mossoró-RN.



Fonte: DJI Pilot, 2024.

A partir dessa análise, observa-se que a região de estudo possui mais da metade de sua área inserida na Zona de Alerta e na Zona de Alerta Reforçado como mostra a Figura 11. No entanto, não possui nenhuma restrição quanto à autorização dos voos, sendo dispensada a solicitação de autorização para realizar o estudo.

Figura 11 - Zona de Alerta e Zona de Alerta Reforçado da área de estudo.



Fonte: DJI Pilot, 2024.

A próxima etapa se deu com a realização dos planos de voo para a área de estudo, na qual a mesma foi dividida em 34 subáreas, cada uma com área de 19,9 hectares e cerca de 2,2 km de perímetro. Em cada área inseriu-se uma sobreposição de 30 m com as áreas laterais e de 50 m com as áreas frontais. Com isso, garantindo que haja uma área de sobreposição das imagens de voos diferentes, com o intuito de melhorar a qualidade dos produtos gerados.

Essa segmentação da área de estudo em áreas menores foi uma medida de segurança, adotada como prevenção contra condições adversas que possam prejudicar a captura dos dados durante a execução do voo. Caso isso aconteça, se faz necessário um retrabalho apenas nas áreas afetadas durante a execução da missão.

A divisão dessas áreas fundamentou-se através do software *Google Earth Pro*, e posteriormente, esses polígonos foram exportados no formato *Keyhole Markup Language* (KML) para o smartphone e posteriormente foram inseridas no aplicativo utilizado para a execução do voo. Na Figura 12 nota-se a segmentação da área de estudo em subáreas.

Figura 12 - Segmentação da área de estudo em subáreas.



Fonte: *Google Earth*, 2024.

Após a exportação dos arquivos para o smartphone é necessário acessá-los utilizando o aplicativo *DJI Pilot*, no qual é preciso configurar os parâmetros de voo que podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros e resultados dos voos.

Parâmetros e resultados dos voos	
Altura de voo	120 m
Tempo médio de voo	15 min
Velocidade de voo	7 m/s
Câmera Regulada	16:9
Sobreposição lateral	70%
Sobreposição horizontal	80%
Quantidade de Voos	40
Quantidade de Imagens	5780

Fonte: Autoria própria, 2024.

Com os parâmetros de voo e a área delimitada definidos, procedeu-se à etapa de trabalho de campo, consistindo na execução do planejamento por meio de levantamento aerofotogramétrico utilizando a VANT no seu modo autônomo de trabalho. As baterias utilizadas no levantamento, tinham uma autonomia média de aproximadamente 15 minutos para

pousar com segurança. As áreas de voo foram delimitadas com base nesse tempo estimado de descarga das baterias. Entretanto, devido a algumas condições adversas do tempo, como fortes ventos e a presença de chuva, ou em alguns casos nos quais o pouso e decolagem da aeronave ficaram muito distantes da área da missão, tornou-se necessário trocar a bateria para que a mesma pudesse executar o voo com segurança, e nesses casos foram utilizadas mais de uma bateria para uma única área. Na Figura 13 é mostrado um dos levantamentos aerofotogramétricos.

Figura 13 - Realização do levantamento aerofotogramétrico.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Nesse levantamento aerofotogramétrico não foram utilizados pontos de controle, pois não havia a necessidade de georreferenciar com precisão as feições da área de estudo. O objetivo principal deste estudo está relacionado a obter as características morfométricas da

bacia, os quais não são diretamente afetados pelo seu posicionamento geográfico, mas sim, pelo relevo e objetos que estão sobre a superfície terrestre daquela área.

Para tal levantamento sem ponto de controle o presente trabalho tomou como embasamento um estudo realizado por Hung *et al.* (2018), onde foi analisada a precisão do MDT gerado a partir de um processo semiautomático, sem a utilização de ponto de controle em uma área de vegetação dispersa. Na sua avaliação os dados de MDT, foram comparados com 354 pontos coletados por meio de técnicas de levantamento topográficos tradicionais. Por fim, os resultados observaram que as diferenças altimétricas em geral foram inferiores a 0,5 m ($R^2 = 0,99$), sendo um erro padrão de aproximadamente 0,29 m e uma precisão cartográfica de cerca 0,49 m.

O processamento das imagens foi realizado utilizando o software *Agisoft Metashape*, em um procedimento semi-automático. Para isso, foram definidos diversos parâmetros de processamento, com o objetivo de obter um MDS sem a presença de vegetação, carros ou outros objetos que pudessem interferir na delimitação e classificação dos parâmetros morfométricos da microbacia.

Inicialmente, as imagens foram importadas para o software e foi definido o Sistema de Coordenadas referente à área do levantamento (Sirgas 2000 UTM Zona 24S). Em seguida, realizou-se uma filtragem na qualidade das imagens, descartando aquelas com qualidade inferior a 0,6.

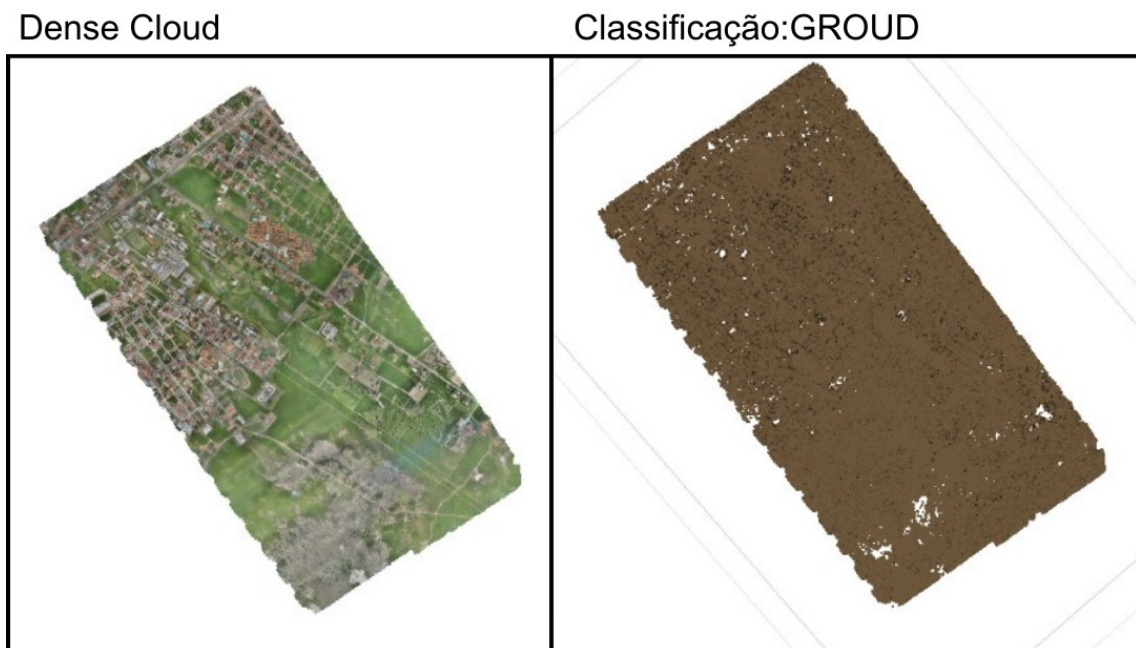
O próximo passo do processamento foi a importação das máscaras, seguida do alinhamento das fotos com uma precisão elevada. Ao término do processo de alinhamento das fotos, procedeu-se à seleção e exclusão de alguns pontos da nuvem. Essa exclusão elimina pontos que foram detectados pelos sensores da aeronave, mas possuem erros de projeção ou acurácia. Em seguida, foi feita uma nova otimização de câmeras e o processamento automático através da Tarefa Sequencial, onde foram gerados a Nuvem Densa de Pontos, o Modelo Digital de Elevação (DEM) e a Ortoimagem.

Após a geração desses produtos, deu-se início à segunda parte do processamento das imagens. Como medida de segurança, foi feita uma cópia da Nuvem Densa de Pontos, na qual

foi realizada a Classificação Automática de Pontos. Foram identificados e classificados pontos como: Terreno, Vegetação alta, Prédios, Superfícies da rodovia, Carros e Objetos feitos pelo homem. Realizou-se uma análise da classificação dos pontos para verificação de quais pontos utilizar para a geração do MDS Reamostrado. Após essa análise, foi possível gerar o MDS Reamostrado a partir dos pontos da Nuvem Densa que foram classificados como: Prédios, Superfícies da rodovia e Objetos feitos pelo homem.

A opção por não utilizar a classe de pontos *Groud* (terreno), na geração do MDS sem vegetação, se deu pelo fato de que o programa não conseguiu fazer uma boa filtragem dos pontos. O software classificou quase todas as áreas do levantamento como sendo de terreno, inclusive áreas de vegetação como pode ser visto na Figura 14.

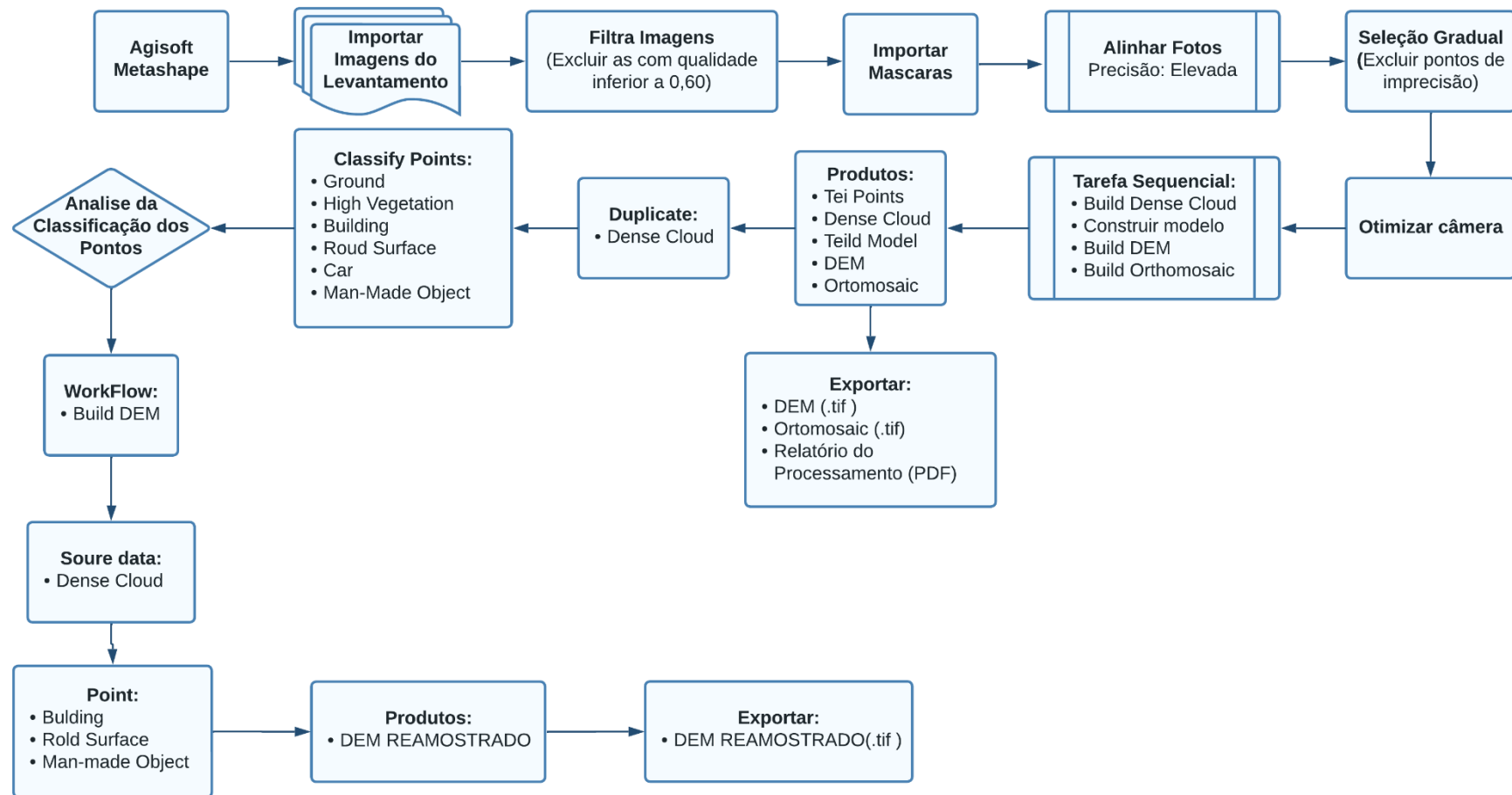
Figura 14 - Classe de pontos *Groud* (terreno).



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Figura 15 é mostrado o fluxograma do processamento das imagens pelo *Agisoft Metashape*.

Figura 15 - Fluxograma do processamento das imagens pelo *Agisoft Metashape*.



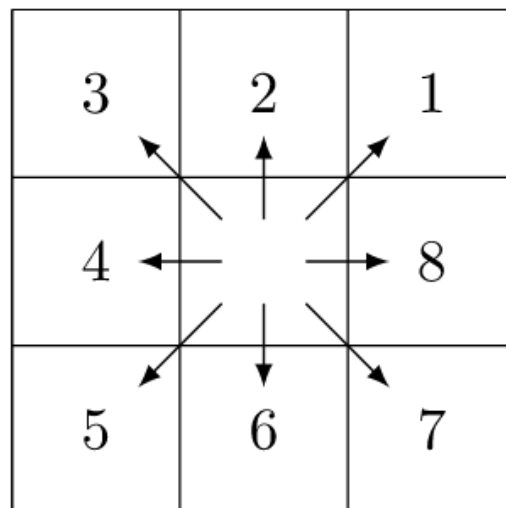
Fonte: Autoria própria, 2024.

A Ortofoto e os MDS's gerados no *Agisoft Metashape* são exportados no formato GeoTiff. Tanto o MDS sem vegetação gerado por VANT como os MDE globais foram abertos no software livre QGIS versão 3.34.4. Dentro do próprio QGIS, foram utilizadas as ferramentas GRASS para a delimitação de áreas da microbacia em estudo e toda a sua caracterização morfométrica dentro do próprio software.

Tópico de delimitação da bacia – inserir.

Por padrão, o GRASS vem configurado para determinar a direção do fluxo com base no método D8, no qual cada pixel central pode "escorrer seu fluxo" para seus oito vizinhos, sendo aquele que tiver a menor cota é responsável por criar a direção do fluxo. Essa direção de fluxo é usada tanto para delimitar a área da bacia quanto para determinar o traçado dos canais de drenagem, os quais são determinados a partir da acumulação de fluxo (GRASS GIS, 2024). A Figura 16 ilustra o método.

Figura 16 - Direção de fluxo utilizando o método D8.

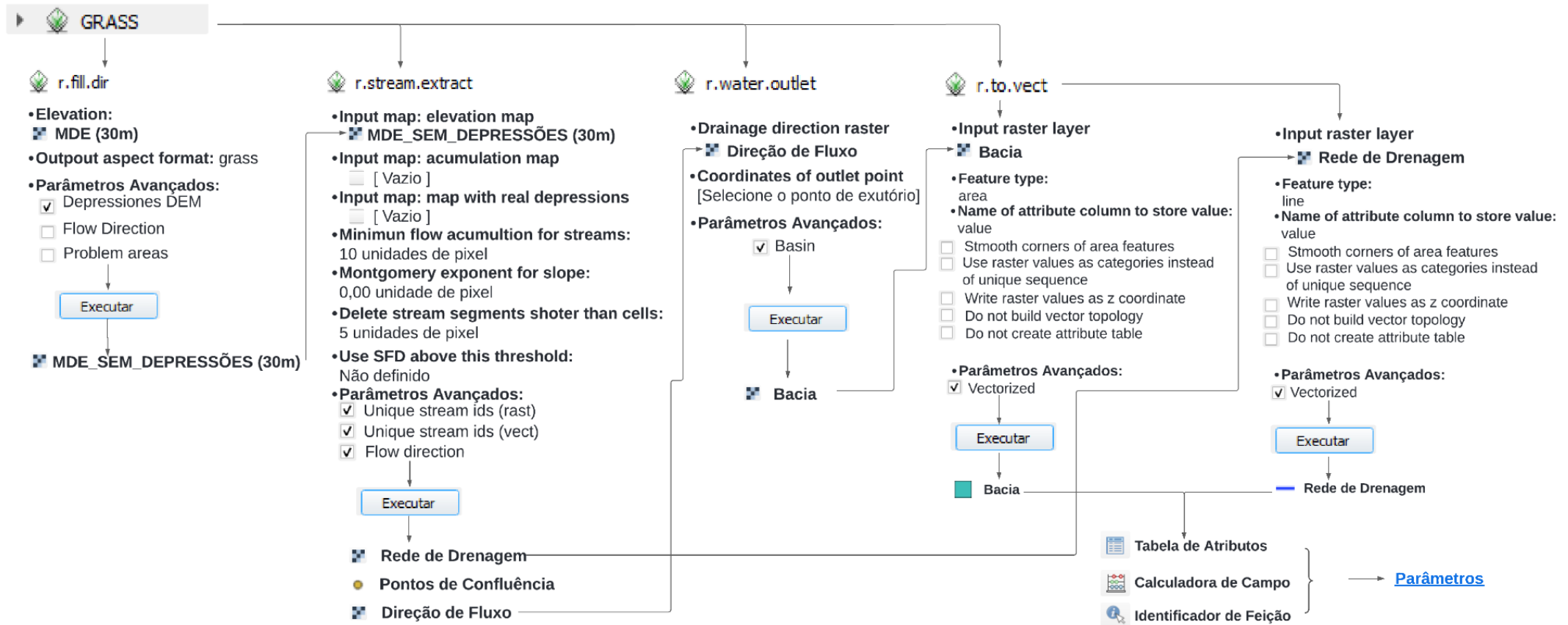


Fonte: GRASS, 2024.

As Figuras 17 e 18 mostram os fluxogramas do processo e dos parâmetros utilizados para obter as áreas das bacias hidrográficas, suas redes de drenagem e os índices. Uma observação importante é que as únicas diferenças entre os processos de delimitação das bacias estão na quantidade de pixels na acumulação de fluxo e no tamanho dos canais.

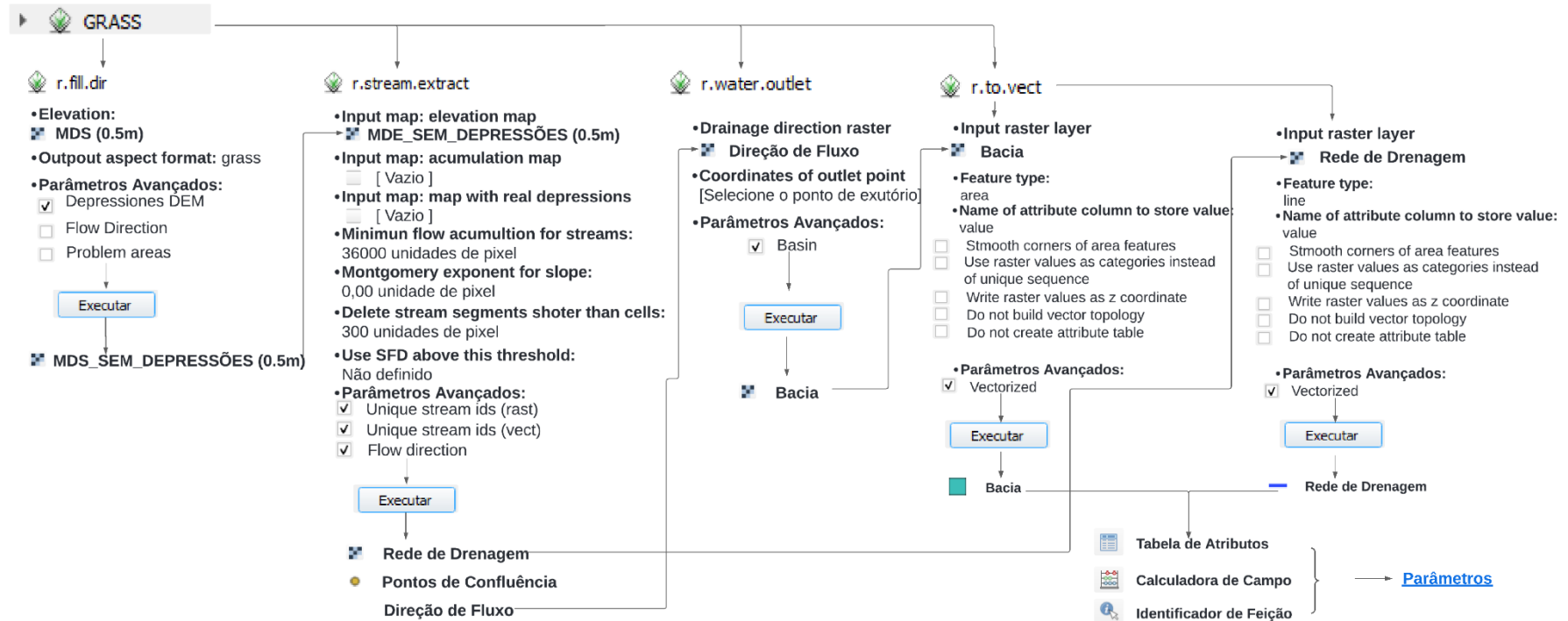
Essa diferenciação é necessária devido à resolução espacial dos dados, uma vez que o MDE possui uma resolução espacial de 30 m, enquanto o MDS Reamostrado possui apenas 0,5 m. Essa diferenciação no processamento é realizada utilizando uma proporção entre a área e o comprimento dos pixels, garantindo que os resultados sejam consistentes e adequados às características específicas de cada conjunto de dados.

Figura 17 - Fluxograma do processamento para delimitação da bacia através das imagens de satélites.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 18 - Fluxograma do processamento da delimitação da bacia através de imagens de VANT.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Por fim, foi empregada uma análise comparativa inspirada na metodologia desenvolvida por Bielski *et al.* (2024) em sua pesquisa. Essa metodologia ficou conhecida entre o grupo de pesquisadores como o "Concurso de Vinhos", no qual usa critérios predefinidos e métodos estatísticos para uma análise prática e confiável dos resultados numa abordagem classificatória.

A classificação de uma coleção de vinhos, ou de um conjunto de MDEs, apresenta um desafio matemático similar. A analogia com o concurso de vinhos é empregada para auxiliar na introdução de uma comparação inovadora dos DEM's globais. Ainda vale ressaltar que, essa metodologia de comparação pode se estender para outras comparações de produtos geoespaciais, não se limitando à análise de MDEs (Bielski *et al.*, 2024).

Em um verdadeiro concurso de vinhos, cada juiz/especialista avalia os vinhos de acordo com os seus próprios critérios, que podem ser o aroma, a cor, o sabor, ou até mesmo o preço, entre outros critérios, mas não leva em consideração a origem do vinho. O vencedor do concurso é determinado após a apuração da avaliação de todos os juízes, onde cada avaliação tem peso igual, as Tabelas 5 e 6 mostra um exemplo de como seria um concurso de vinho (Bielski *et al.*, 2024).

Tabela 5 - Apuração das avaliações de todos os juízes.

Avaliação				
Juizes	Vinho - 1	Vinho - 2	Vinho - 3	
Juiz A	85	95	90	
Juiz B	95	85	85	
Juiz C	95	90	85	

Fonte: Bielski *et al.*, 2024

Tabela 6 – Apuração das opiniões de todos os juízes.

Opinião		
Vinho - 1	Vinho - 2	Vinho - 3
3	1	2
1	3	3
1	2	3

Fonte: Bielski *et al.*, 2024

Seguindo essa mesma linha de raciocínio, foi feita uma avaliação dos parâmetros morfométricos da microbacia, em estudo tomando como parâmetro os resultados obtidos a partir do MDE gerado por VANT. De acordo com os mesmos parâmetros obtidos através do MDEs de 30 m será avaliado qual deles tem a maior aproximação com a realidade da área.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultado do Processamento

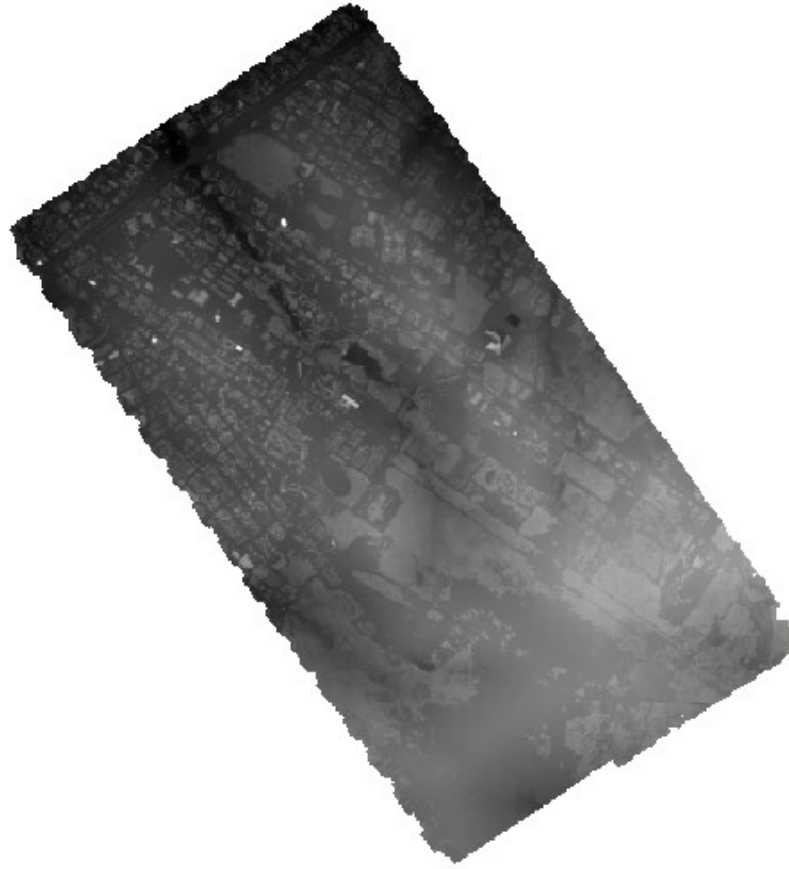
A partir do processamento das imagens do VANT, os produtos obtidos são o ortomosaico, MDS e MDS Reamostrado, com resolução espacial de 0,1 m/pixel e de 0,5 m/pixel respectivamente. Nesse levantamento, obteve-se uma precisão geral de 3,15 m em X, 3,03 em Y e 8,37 em Z. Nas Figuras 19 a 21 podem ser observados os produtos do levantamento pelo VANT.

Figura 19 - Ortomosaico da área de estudo.



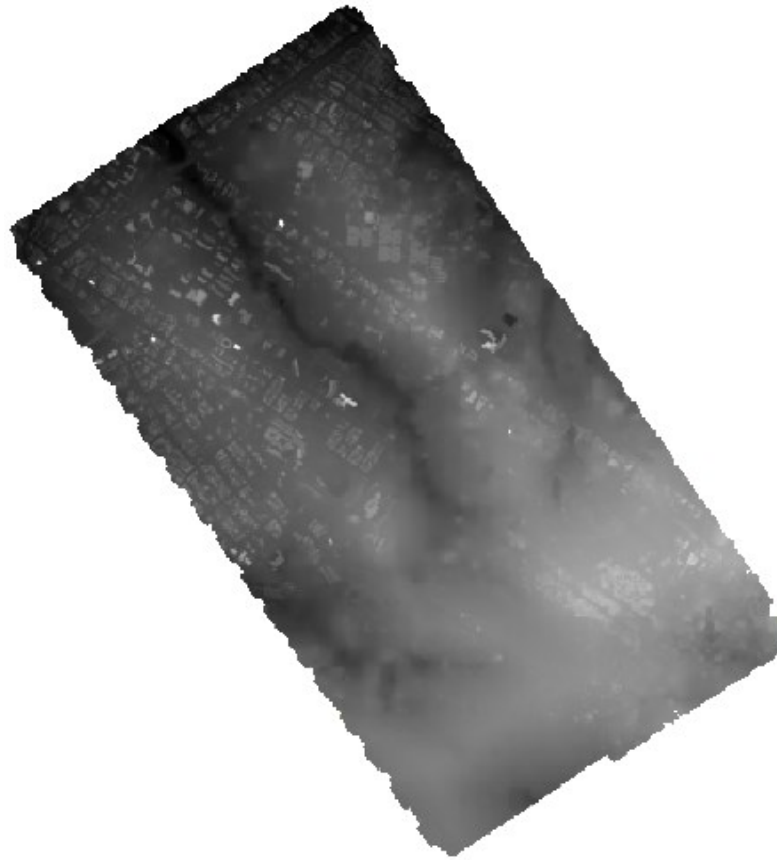
Fonte: Aatoria própria, 2024.

Figura 20 - MDS da área de estudo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 21 - MDS Reamostrado da área de estudo.

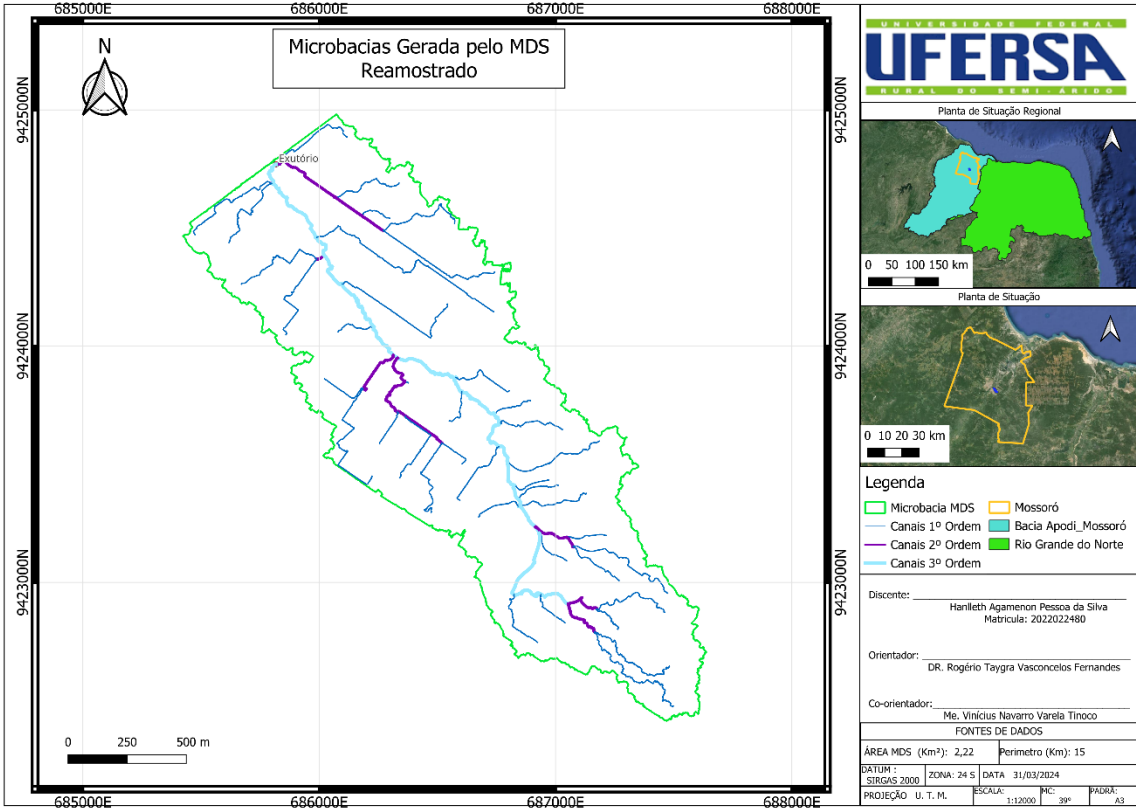


Fonte: Autoria própria, 2024.

5.2 Resultado da Delimitação com MDS Reamostrado

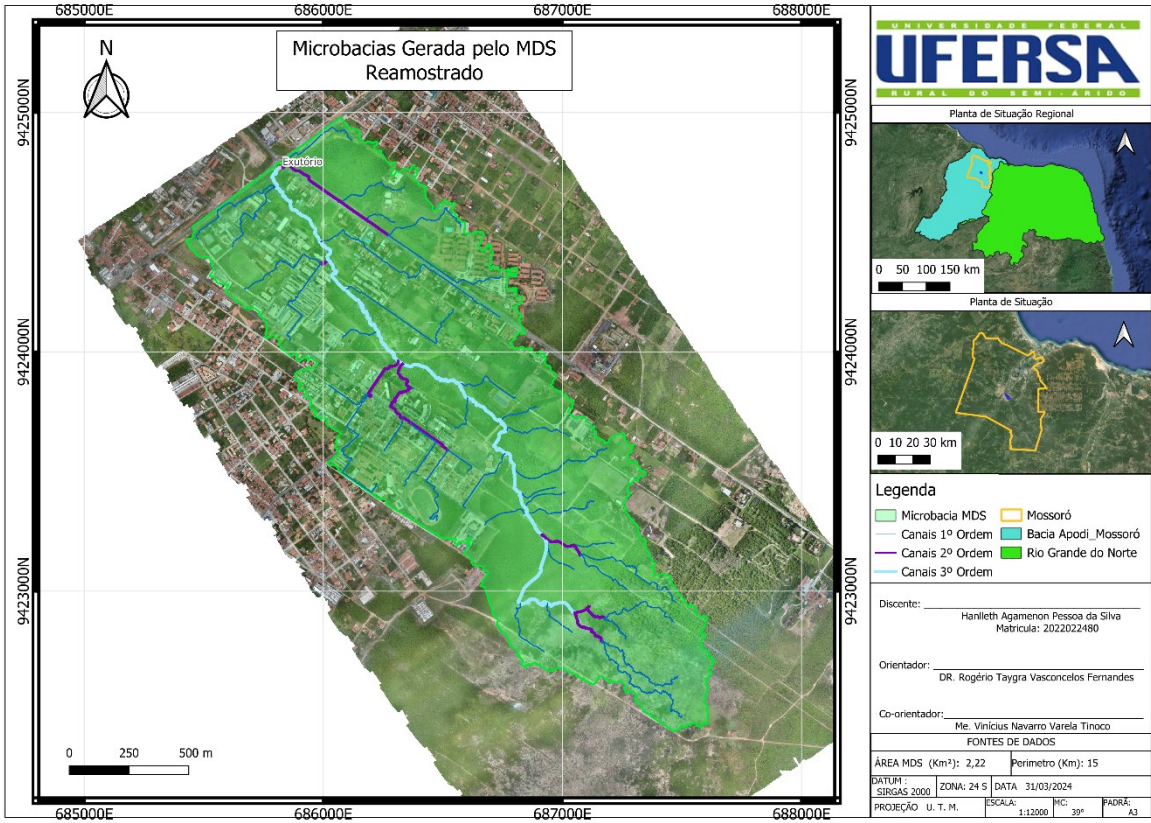
De acordo com a delimitação gerada a partir do MDS Reamostrado, obteve-se uma bacia com uma área total de 2,22 km² e um perímetro de, aproximadamente, 15 km. Com isso, seus parâmetros geométricos podem ser visualizados nos Mapas 3 e 4 e Tabela 7 e os índices físicos podem ser melhor analisados na Tabela 8.

Mapa 3 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDS Reamostrado.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 4 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDS Reamostrado.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Tabela 7 - Parâmetros geométricos da microbacia.

Parâmetro	MDS 0,5m
Área (Km ²)	2,22
Perímetro (Km)	15
Canais de 1ª Ordem (Qtd)	39
Canais de 2ª Ordem (Qtd)	8
Canais de 3ª Ordem (Qtd)	1
Quantidade de Canais	48
Comprimento Vetorial (Km)	2,84
Comprimento dos Canais (Km)	20,47
Comprimento do Canal Principal (Km)	4,32
Comprimento Axial da Bacia (Km)	2,93
Cota no Exutório(m)	17,51
Cota na Nascente (m)	39
Cota do Maior Divisor Topográfico (m)	74,44

Fonte: Autoria própria, 2024.

Tabela 8 - Índices morfométricos da microbacia.

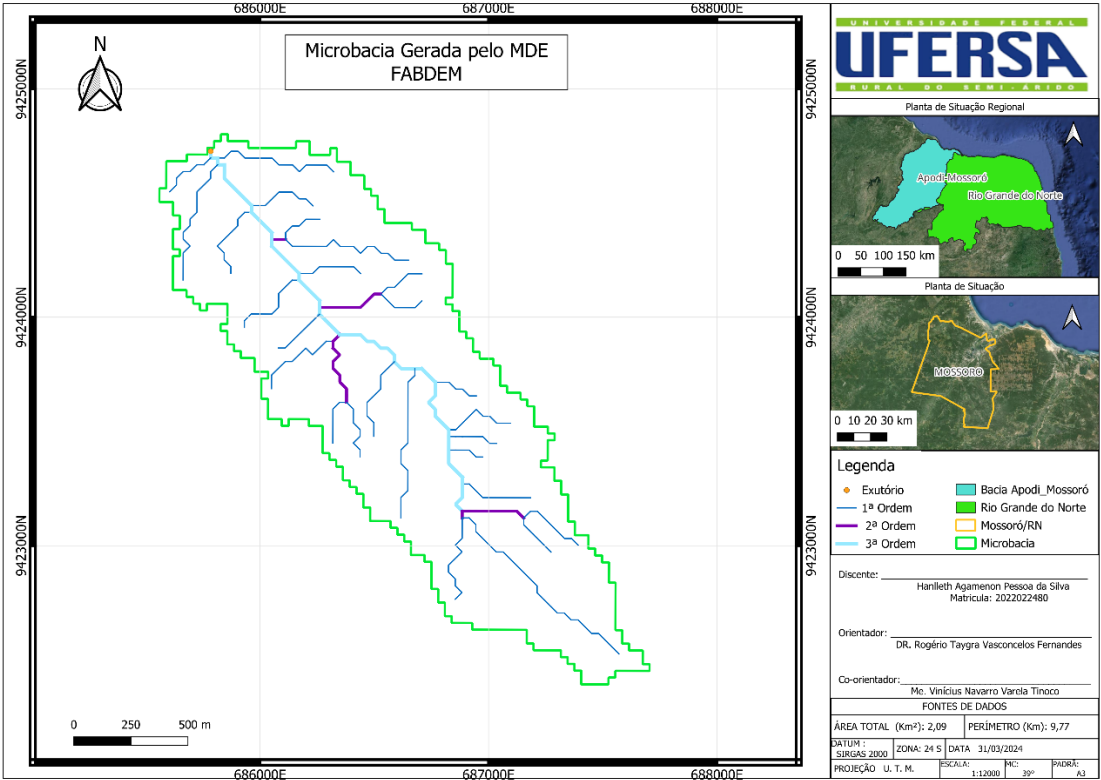
Parâmetro	Unidade	MDS 0,5m
Índice de Circularidade (Ic)		0,124
Razão de Elongação (Re)		0,573
Coeficiente de Forma (F)		0,258
Índice de Compacidade (Kc)		2,82
Densidade Hidrológica (Dh)	canais/Km ²	21,62
Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km ²	9,22
Índice de Sinuosidade (Is)	m/m	1,52
Coeficiente de Manutenção (Cm)	m ² /m	108,49
Gradientes dos Canais (Gc)	%	17,22
Amplitude Altimétrica (Hm)	m	21,49
Relação de Relevo (Rr)	m/Km	4,97
Porcentagem de relevo relativo (Rhp)	%	0,143
Índice de dissecação (Dis)		0,289

Fonte: Autoria própria, 2024.

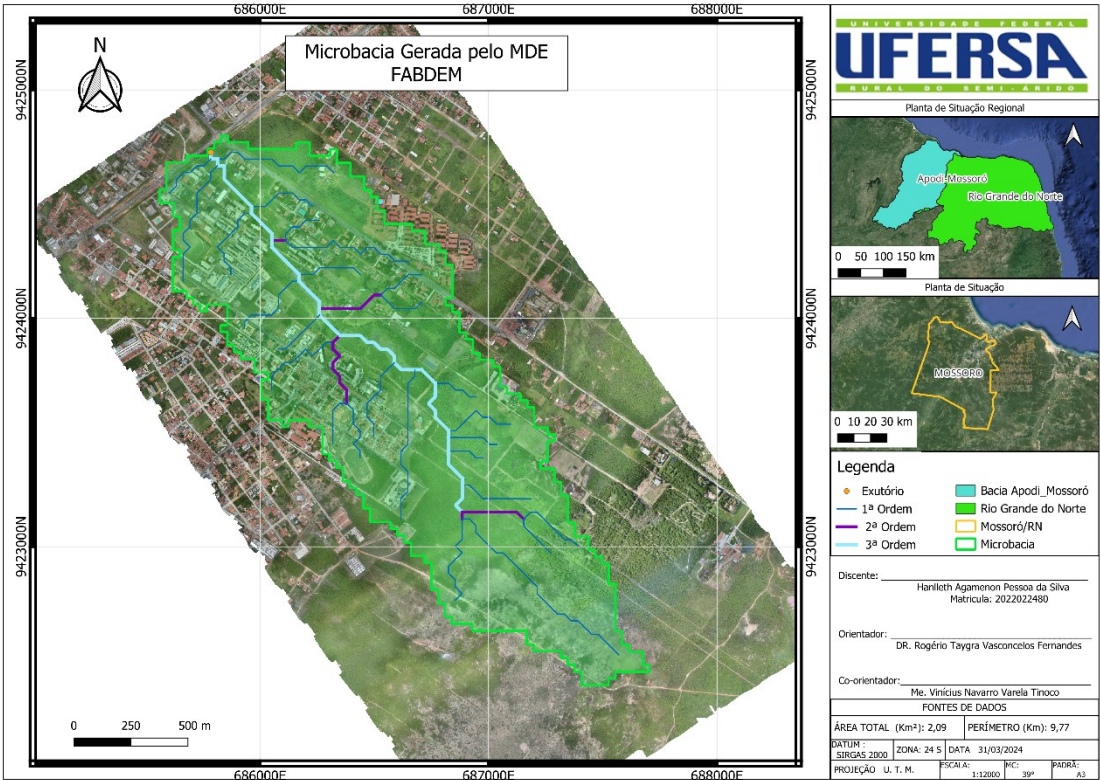
5.3 Resultado da Delimitação com MDEs de 30m

De acordo com a delimitação gerada a partir dos MDEs, foram obtidas bacias com áreas que variaram entre 1,95 e 2,09 km², e seus perímetros variaram entre 9,77 e 10,47 km. Os seus parâmetros geométricos podem ser mais bem visualizados nos Mapas 5 a 14 e Tabela 9 e os índices físicos estão apresentados na Tabela 10.

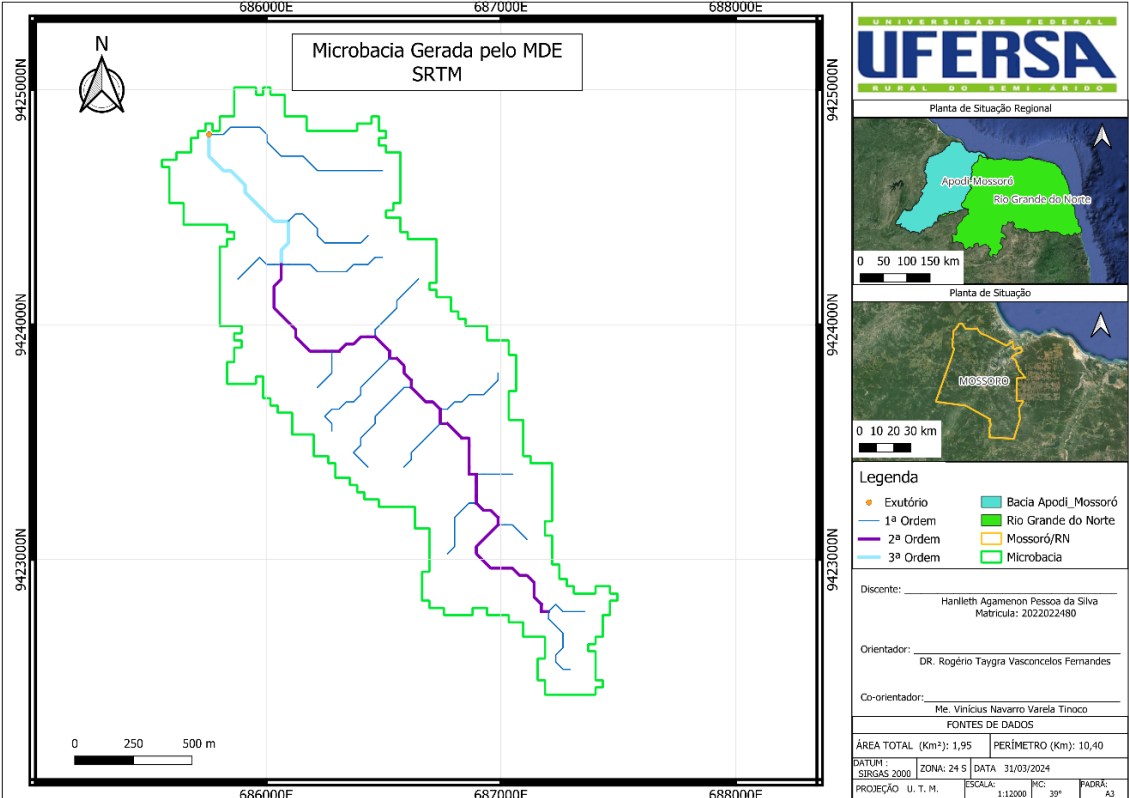
Mapa 5 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE FABDEM.



Mapa 6 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE FABDEM.

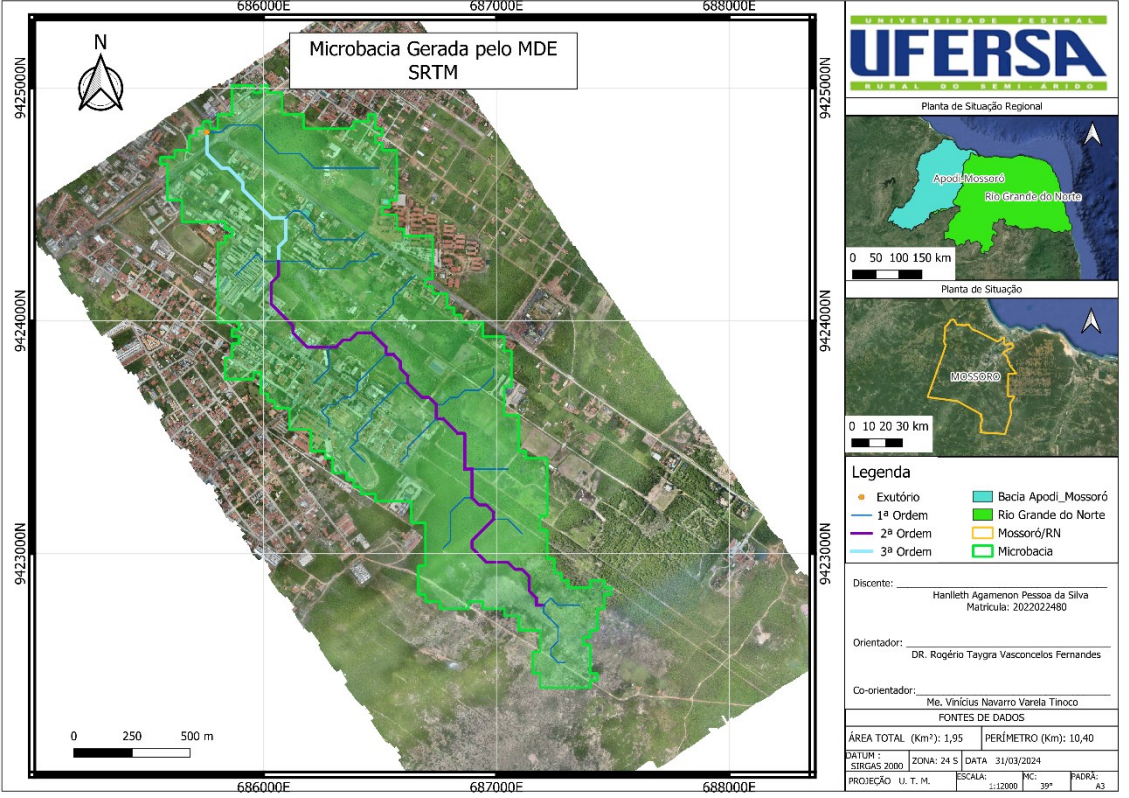


Mapa 7 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE SRTM.



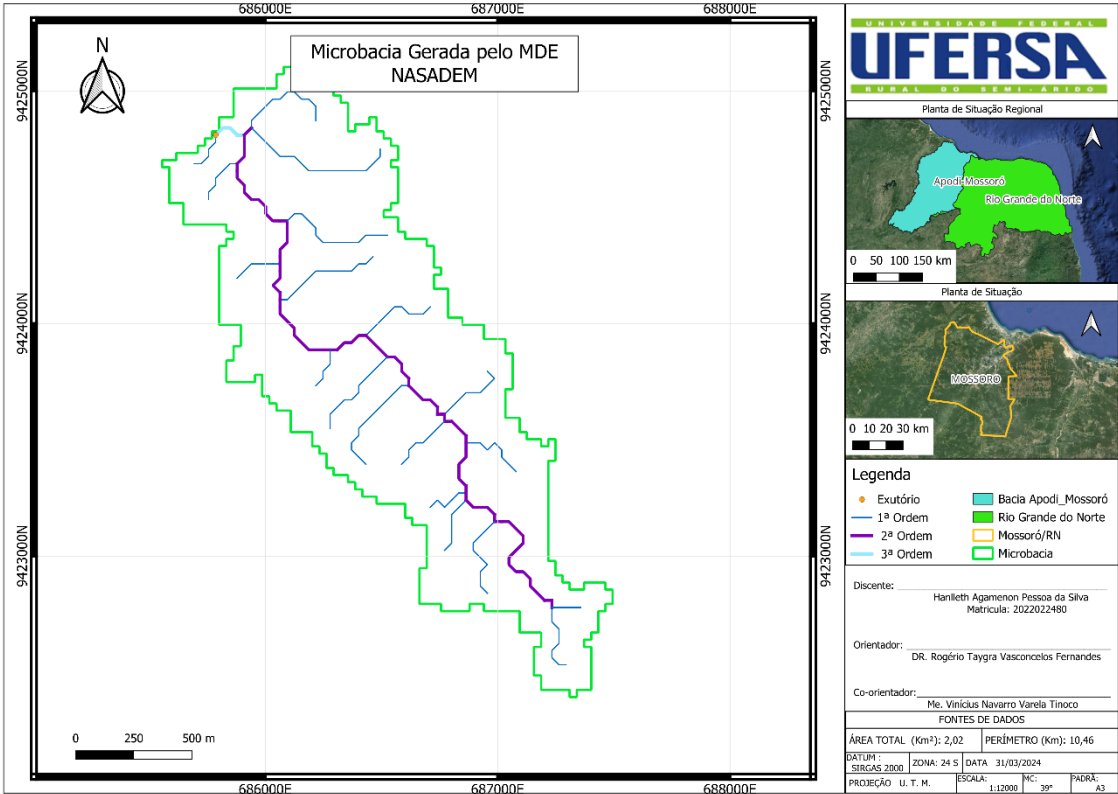
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 8 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE SRTM.



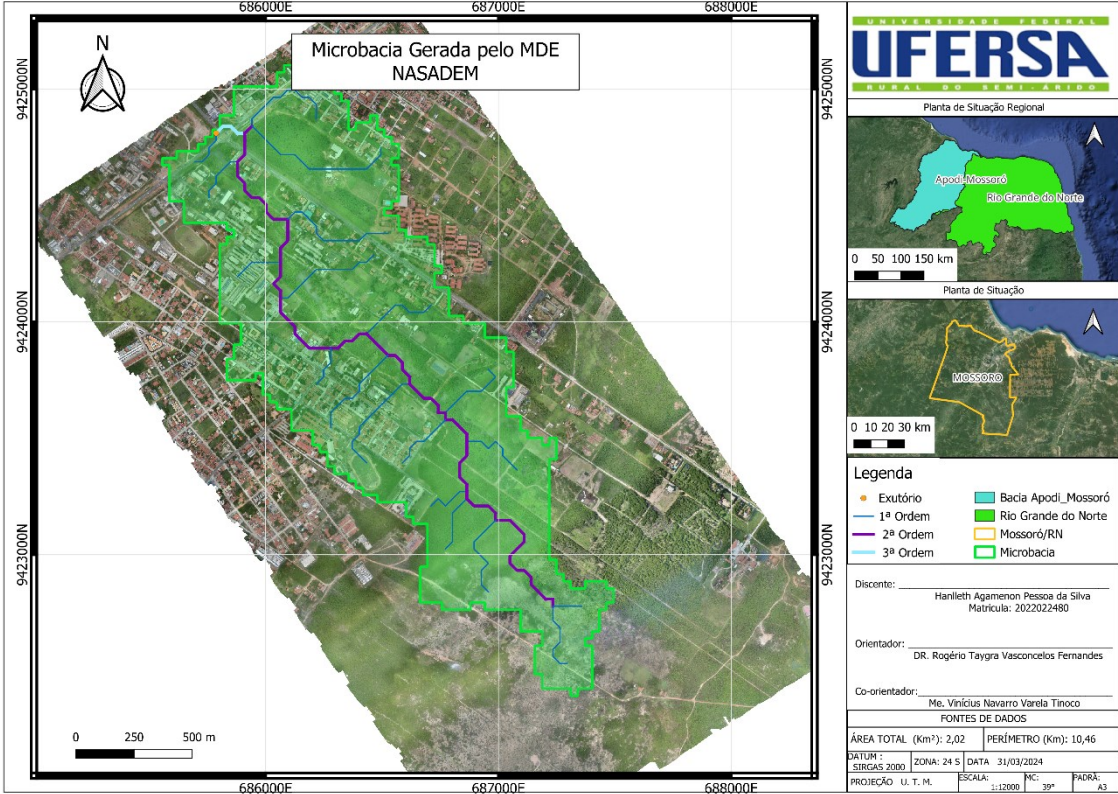
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 9 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE NASADEM.



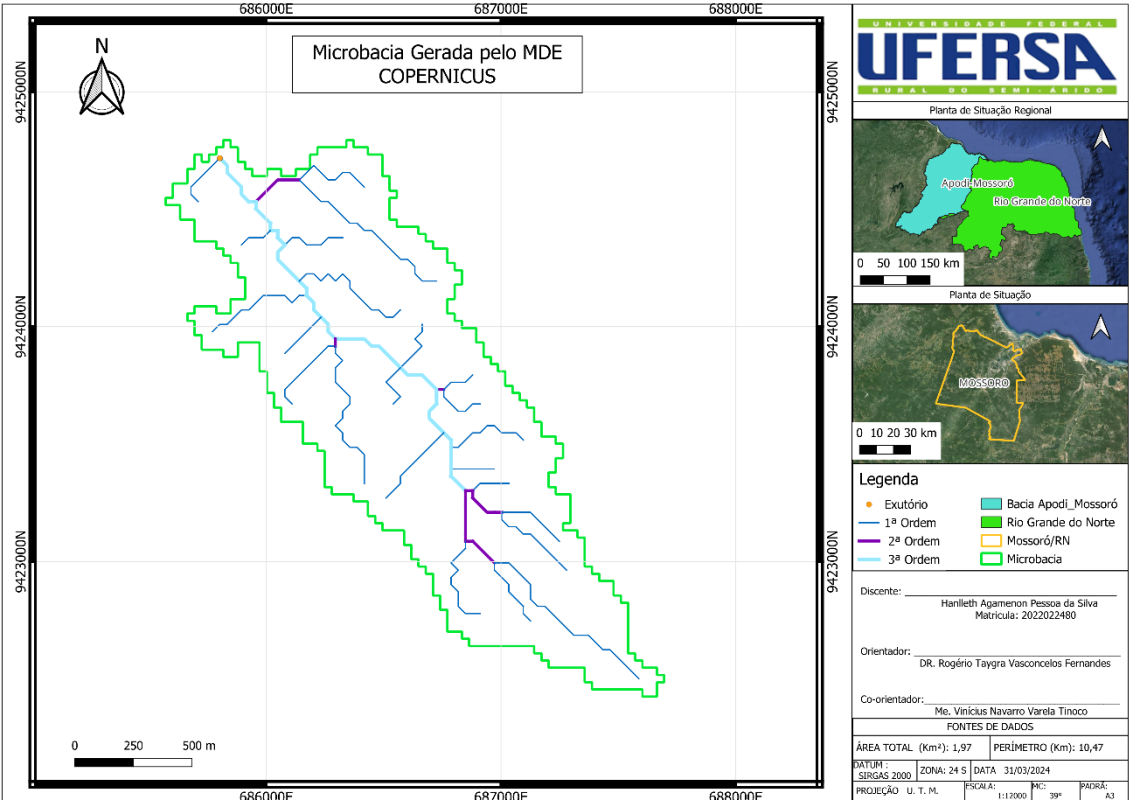
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 10 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE NASADEM.



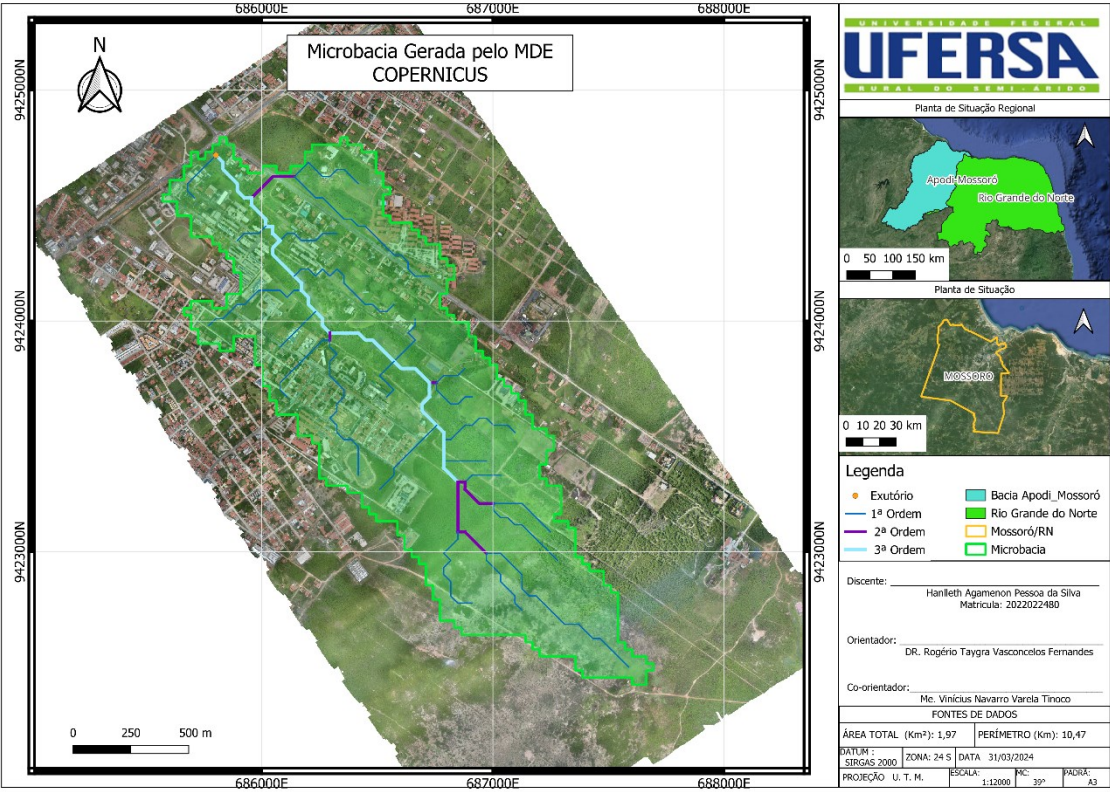
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 11 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE Copernicus.



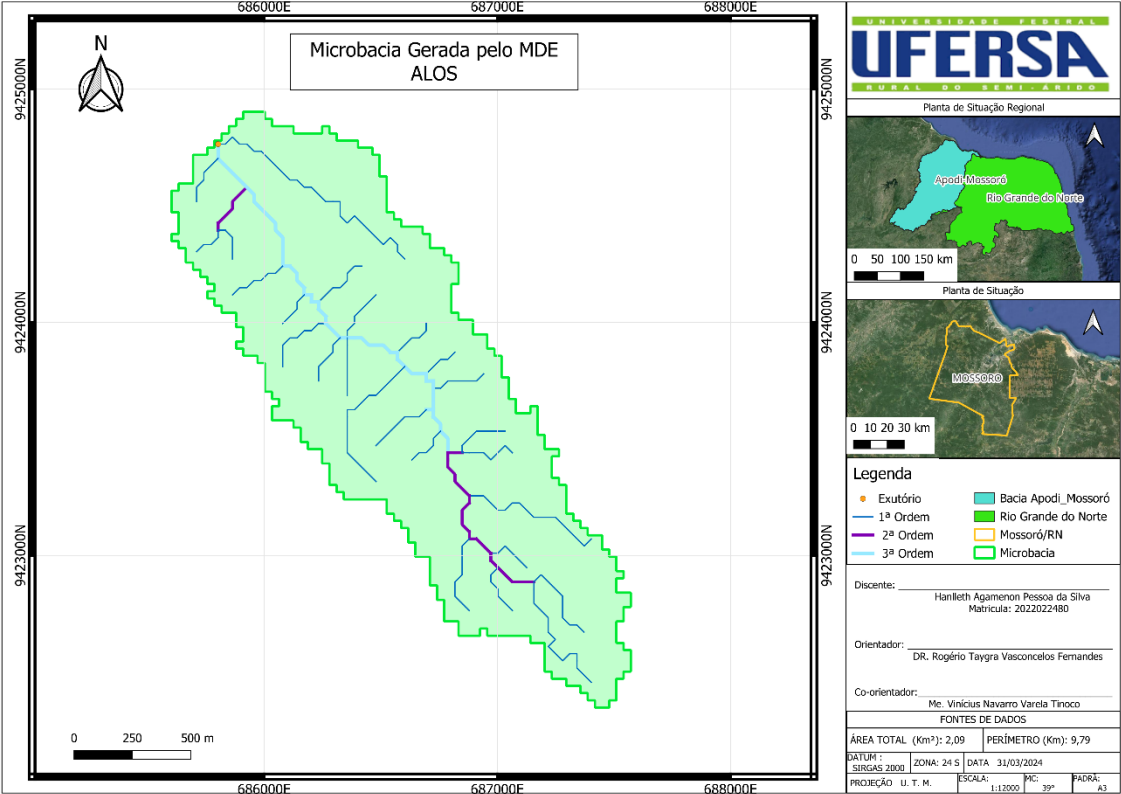
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 12 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE Copernicus.



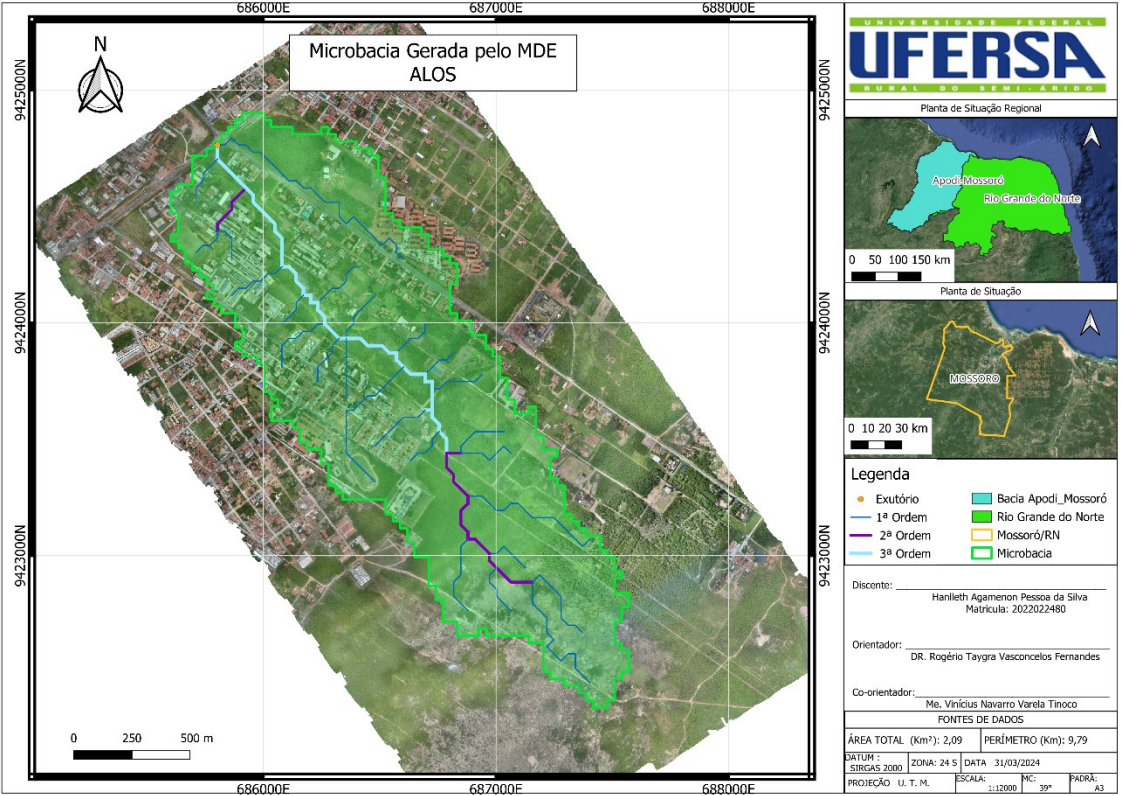
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 13 - Delimitação da microbacia gerada pelo MDE ALOS.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 14 - Delimitação com ortomosaico da microbacia gerado pelo MDE ALOS.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Tabela 9 - Comparação dos parâmetros da microbacia em relação aos MDS disponíveis gratuitamente e o MDS gerado por VANT.

Parâmetro	FABDEM	SRTM	NASADEM	Copernicus	Alos		MDS 0,5m
Área (Km²)	2,09	1,95	2,02	1,97	2,09		2,22
Perímetro (Km)	9,77	10,4	10,46	10,47	9,79		15
Canais de 1ª Ordem (Qtd)	25	15	18	23	25		39
Canais de 2ª Ordem (Qtd)	5	1	2	3	3		8
Canais de 3ª Ordem (Qtd)	1	1	1	1	1		1
Quantidade de Canais	31	17	20	27	29		48
Comprimento Vetorial (Km)	2,84	2,75	2,73	2,85	2,81		2,84
Comprimento dos Canais (Km)	12,74	8,4	9,79	11,41	11,2		20,47
Comprimento do Canal Principal (Km)	3,25	3,59	3,62	3,3	3,39		4,32
Comprimento Axial da Bacia (Km)	2,98	2,92	2,88	2,95	2,94		2,93
Cota no Exutório (m)	10,99	13	9	10,29	18		17,51
Cota na Nascente (m)	48,17	50	46	48,27	53		39
Cota do Maior Divisor Topográfico (m)	48,7	58	54	50,75	57		74,44
Posição do Exutório (m)	50,46	73,21	54,19	54,13	16		-
Sobreposição do Canal Principal (ha)	9,16	14,69	19,14	9,84	7,83		-

Fonte: Autoria própria, 2024.

Tabela 10 - Comparação dos índices da microbacia em relação aos MDS disponíveis gratuitamente e o MDS gerado por VANT.

Parâmetro	Unidade	FABDEM	SRTM	NASADEM	Copernicus	Alos		MDS 0,5m
Índice de Circularidade (Ic)		0,275	0,226	0,233	0,227	0,275		0,124
Razão de Elongação (Re)		0,547	0,539	0,557	0,537	0,555		0,573
Coeficiente de Forma (F)		0,235	0,228	0,244	0,226	0,242		0,258
Índice de Compacidade (Kc)		1,89	2,09	2,06	2,09	1,89		2,82
Densidade Hidrológica (Dh)	canais/Km ²	14,86	8,72	9,89	13,67	13,85		21,62
Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km ²	6,11	4,31	4,84	5,78	5,35		9,22
Índice de Sinuosidade (Is)	m/m	1,15	1,31	1,33	1,16	1,21		1,52
Coeficiente de Manutenção (Cm)	m ² /m	163,66	232	206,65	172,98	187		108,49
Gradiente dos Canais (Gc)	%	14,97	16,16	14,9	15,4	16,81		17,22
Amplitude Altimétrica (Hm)	m	37,18	37	37	37,98	35		21,49
Relação de Relevo (Rr)	m/Km	11,43	10,31	10,21	11,52	10,32		4,97
Porcentagem de relevo relativo (Rhp)	%	0,381	0,356	0,354	0,363	0,358		0,143
Índice de dissecação (Dis)		0,763	0,638	0,685	0,748	0,614		0,289

Fonte: Autoria própria, 2024.

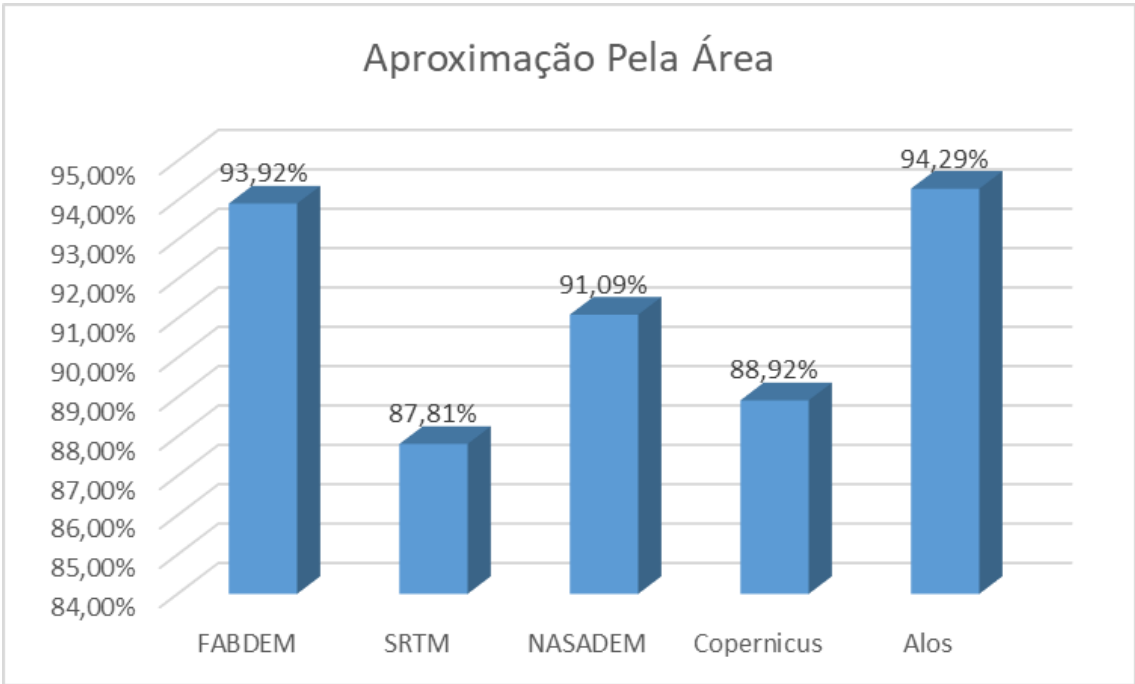
De acordo com esses resultados, já é possível se notar as variações dos parâmetros obtidos por cada um dos modelos, apesar de possuírem a mesma resolução espacial. Podemos notar também que todos os modelos na maioria das análises atingiram patamares distintos da representação feita a partir do processamento das imagens aéreas.

5.4 Aproximação da Área e do Perímetro

Um parâmetro importante a ser analisado é a área da bacia. Sua importância decorre do fato de que essa área delimitada é precisamente a área de contribuição hidrológica da bacia, e servirá como base para diversos outros cálculos. De acordo com os resultados mostrados na Tabela 9, foi possível gerar o Gráfico 1. Nele, observamos que em todos os casos tivemos um desempenho dos modelos alcançando patamares que superam os 85% de aproximação da área delimitada pela metodologia usando VANT. No melhor resultado neste quesito, o modelo Alos obteve uma aproximação de área de 94,29%.

Tais resultados mostram que a delimitação dos divisores topográficos tem uma boa aproximação, o que resulta em um formato geométrico da bacia bastante semelhante, como é possível ver nos Mapas de 5 a 14.

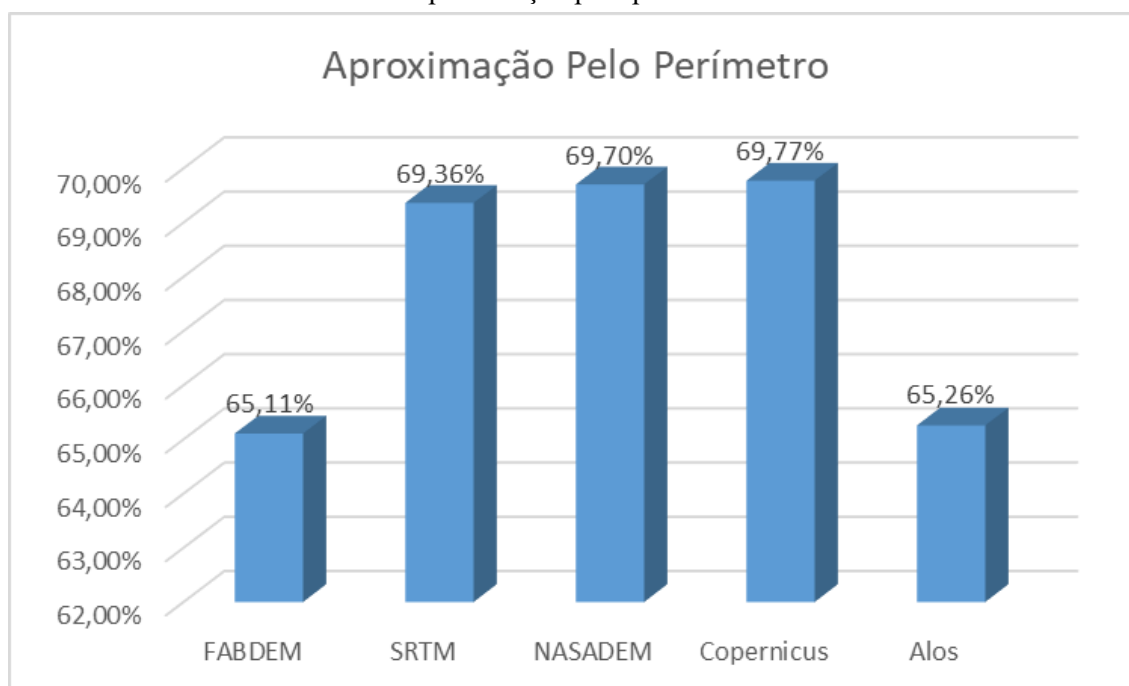
Gráfico 1 - Aproximação pela área delimitada.



Fonte: Autoria própria, 2024.

No quesito perímetro da bacia, os modelos não atingiram patamares de aproximação de nem mesmo 70%, como pode ser observado no Gráfico 2. Tal discrepância era esperada nesse tipo de comparação, uma vez que, devido à melhor resolução espacial do modelo de 0,5 m, há a possibilidade de detalhar melhor os contornos topográficos e, conseqüentemente, percorrer um caminho maior em vez de uma linha reta de 30 m.

Gráfico 2 - Aproximação pelo perímetro delimitado.



Fonte: Autoria própria, 2024.

5.5 Aproximação no Traçado do Canal Principal

Nesse aspecto, foi analisado quão próximo ficou o traçado dos canais principais, ou seja, qual deles teve maior sobreposição com o Canal Principal definido pelo MDS Reamostrado de 0,5 m de resolução.

Para isso, foram examinadas as áreas entre os canais. Aquele que tiver a menor área formada entre os canais é considerado como tendo maior taxa de sobreposição, visto que, se tivessem o mesmo traçado, essa área seria igual a zero. Os resultados dessas sobreposições podem ser observados na tabela a seguir, onde o modelo ALOS teve o melhor desempenho, formando uma área entre canais de cerca de 7,83 hectares, enquanto o modelo do NASADEM teve o pior desempenho, com uma área de 19,14 hectares.

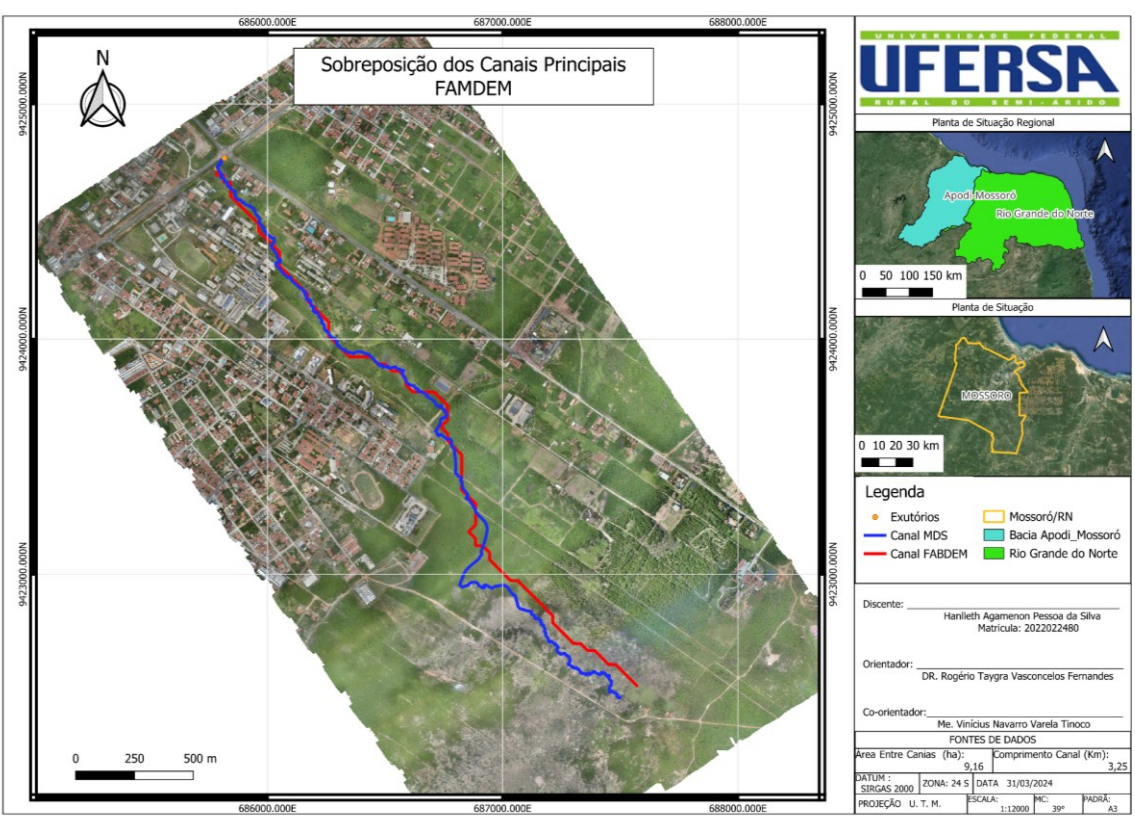
Tabela 11 - Comparação entre os modelos em relação a sobreposição do canal principal.

Parâmetro	FABDEM	SRTM	NASADEM	Copernicus	Alos
Sobreposição Canal Principal (ha)	9,16	14,69	19,14	9,84	7,83

Fonte: Autoria própria, 2024.

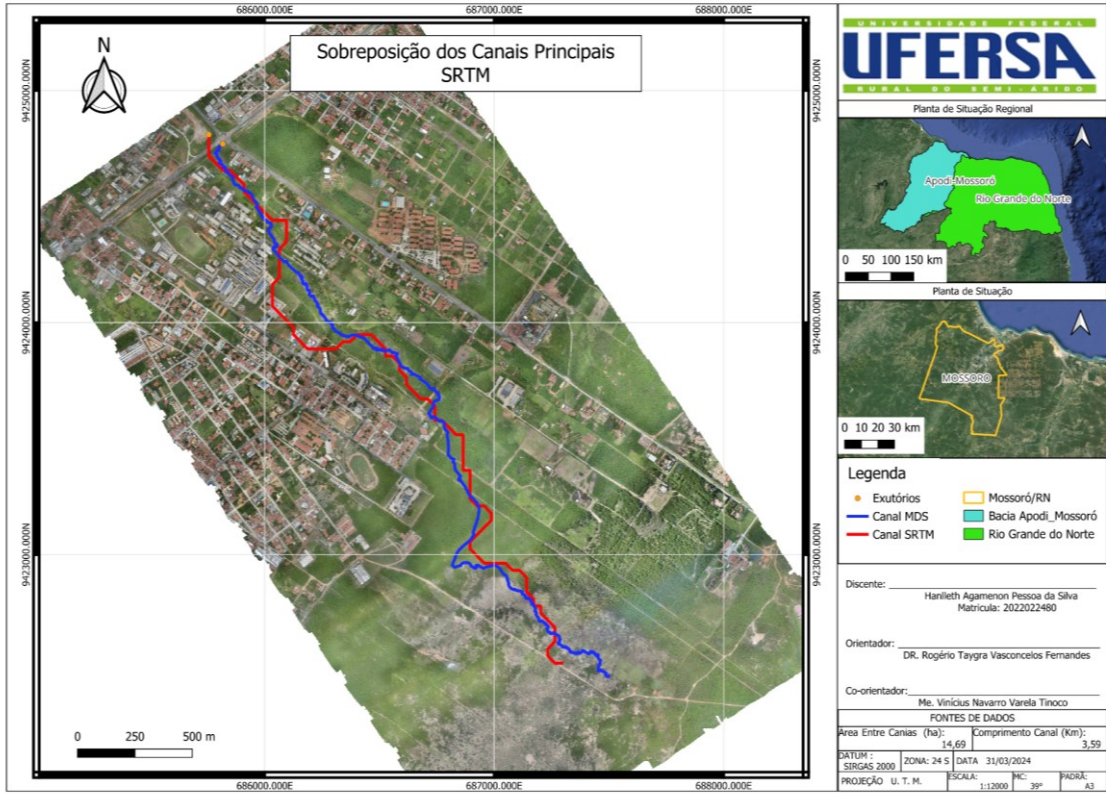
Os Mapas 15 a 19 mostram a sobreposição dos canais principais dos MDEs de 30 m de resolução com o canal principal do MDS Reamostrado.

Mapa 15 - Sobreposição dos canais principais do MDE FAMDEM em relação ao MDS Reamostrado.



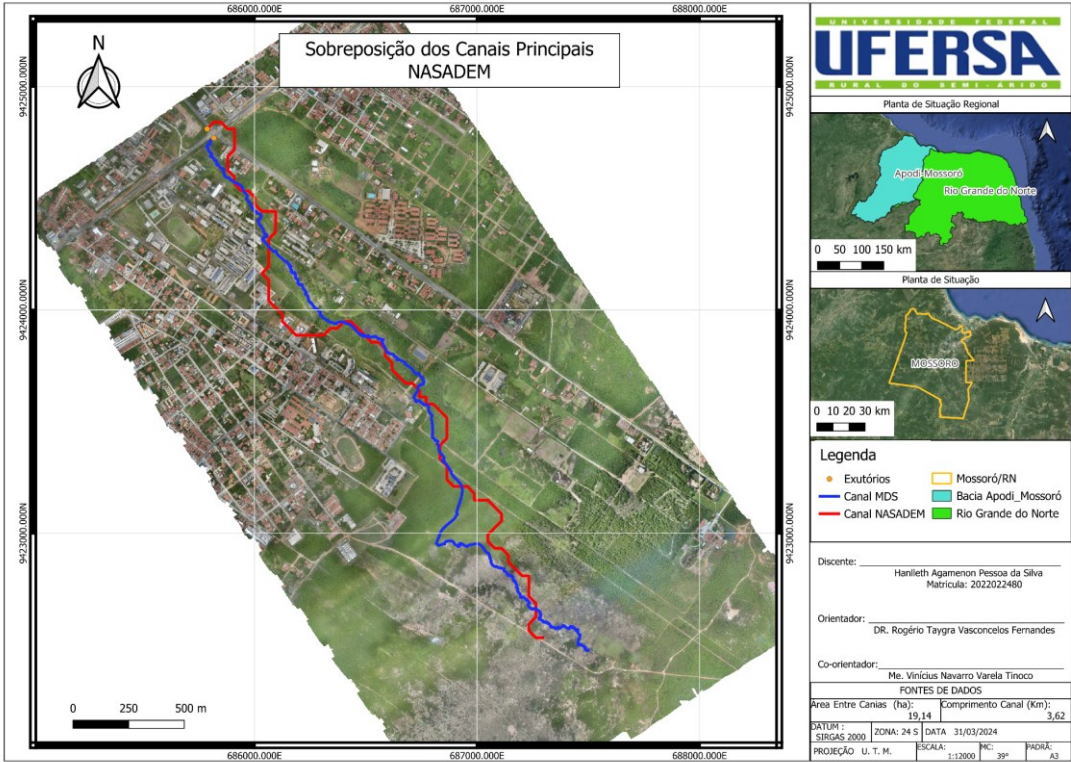
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 16 - Sobreposição dos canais principais do MDE SRTM em relação ao MDS Reamostrado.



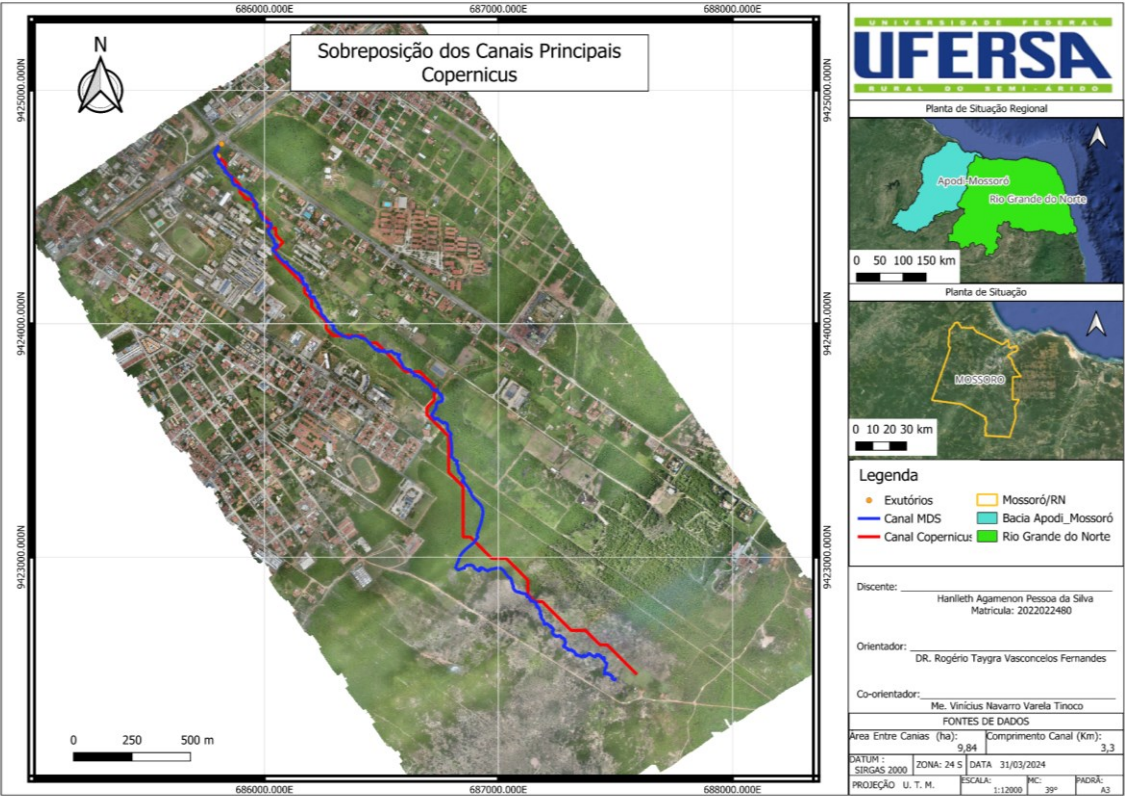
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 17 - Sobreposição dos canais principais do MDE NASADEM em relação ao MDS Reamostrado.



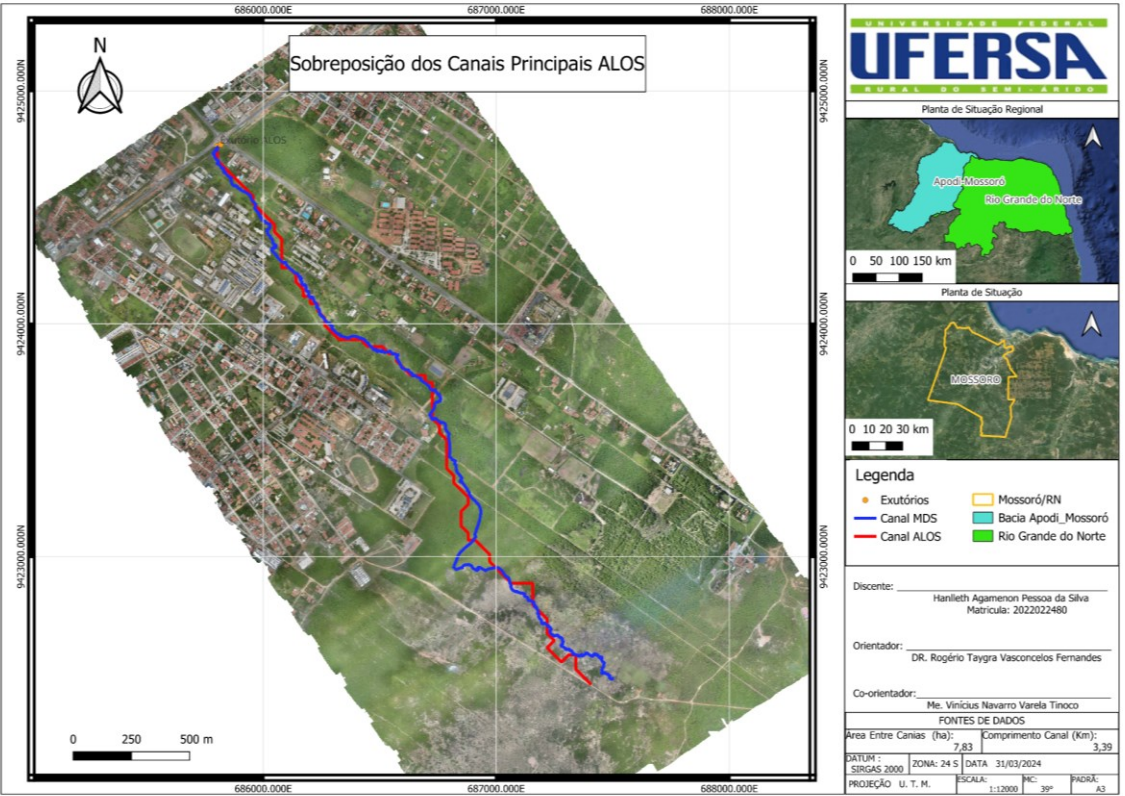
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 18 - Sobreposição dos canais principais do MDE Copernicus em relação ao MDS Reamostrado.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 19 - Sobreposição dos canais principais do MDE ALOS em relação ao MDS Reamostrado.

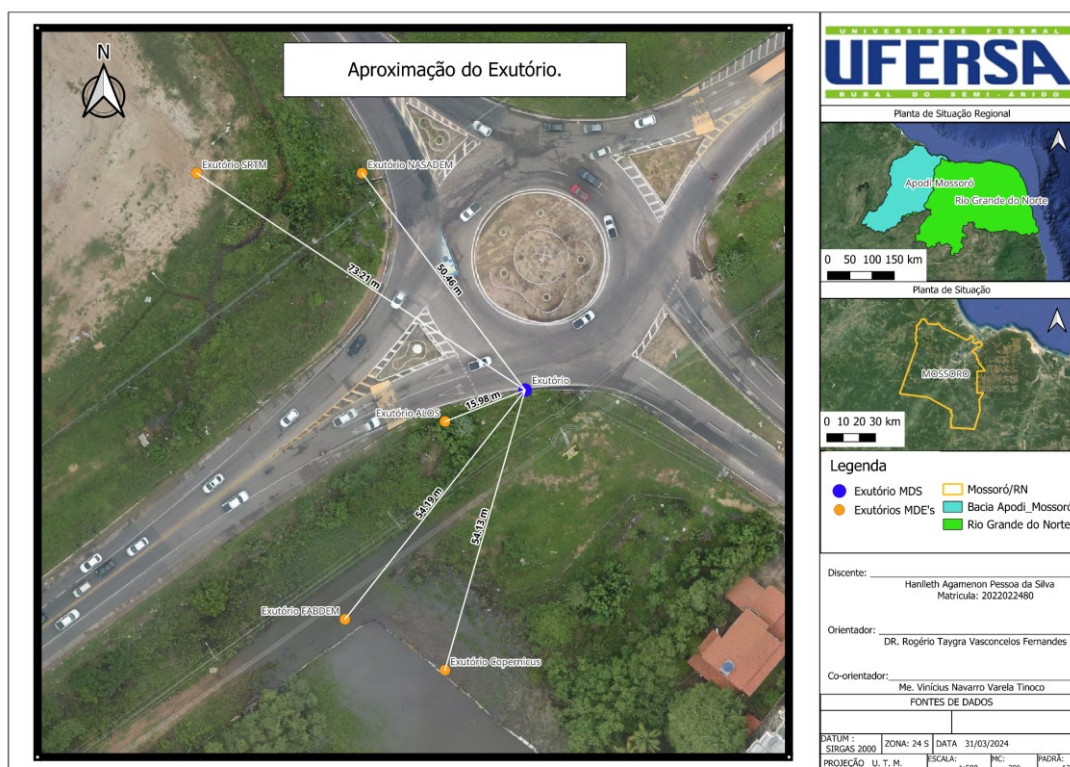


Fonte: Autoria própria, 2024.

5.6 Aproximação do Exutório

Da mesma forma, analisamos o posicionamento dos exutórios em relação a cada modelo. Medimos a distância entre o exutório do MDS Reamostrado, gerado pelo VANT, e os MDS's globais de satélite. Com isso, conseguimos identificar o erro na aproximação de cada modelo, conforme demonstrado no Mapa 20. Destaca-se que o ALOS novamente apresentou o menor erro em comparação aos demais.

Mapa 20 - Aproximação de cada modelo em relação ao exutório.



Fonte: Autoria própria, 2024.

5.7 “Concurso de MDE”

Neste tópico, além das características geométricas mencionadas anteriormente, é apresentada uma análise adicional de outras características geométricas, bem como dos índices morfométricos que também foram investigados. Na primeira Tabela 12, encontram-se os resultados das aproximações e erros dos modelos globais em relação ao modelo gerado por VANT, considerando os parâmetros geométricos.

Tabela 12 - Resultados das aproximações e erros dos modelos globais em relação ao modelo por VANT.

Parâmetro	FABDEM	SRTM	NASADEM	Copernicus	Alos
Área (Km ²)	0,14	0,27	0,2	0,25	0,13
Perímetro (Km)	5,23	4,6	4,54	4,53	5,21
Canais de 1ª Ordem (Qtd)	14	24	21	16	14
Canais de 2ª Ordem (Qtd)	3	7	6	5	5
Canais de 3ª Ordem (Qtd)	0	0	0	0	0
Quantidade de Canais	17	31	28	21	19
Comprimento Vetorial (Km)	0,01	0,09	0,11	0	0,03
Comprimento dos Canais (Km)	7,73	12,07	10,68	9,05	9,27
Comprimento do Canal Principal (Km)	1,07	0,73	0,7	1,03	0,93
Comprimento Axial da Bacia (Km)	-0,05	0,01	0,05	-0,02	-0,01
Cota na Foz (m)	6,52	4,51	8,51	7,22	-0,49
Cota na Nascente (m)	-9,17	-11	-7	-9,27	-14
Cota do Maior Divisor Topográfico (m)	25,74	16,44	20,44	23,69	17,4
Posição do Exutório (m)	50,46	73,21	54,19	54,13	15,98
Sobreposição do Canal Principal (ha)	9,16	14,69	19,14	9,84	7,83

Fonte: Autoria própria, 2024.

A partir desses resultados, foi possível classificar os modelos em relação a cada parâmetro analisado, onde aquele com a maior aproximação é mais bem classificado no quesito analisado, ao final o modelo que obtiver a menor somatória das classificações por parâmetro será considerado o MDE que melhor se aproximou do modelo gerado por VANT. Na Tabela 13 são mostradas as classificações quanto aos parâmetros geométricos, destaca-se o modelo Alos, que obteve a melhor classificação, seguido pelo FABDEM, Copernicus, NASADEM e, por último, o SRTM.

Tabela 13 - Classificação dos parâmetros geométricos analisados.

Parâmetro	FABDEM	SRTM	NASADE M	Copernicus	Alos
Área (Km²)	2	5	3	4	1
Perímetro (Km)	5	3	2	1	4
Canais de 1ª Ordem (Qtd)	1	4	3	2	1
Canais de 2ª Ordem (Qtd)	1	4	3	2	2
Canais de 3ª Ordem (Qtd)	1	1	1	1	1
Quantidade de Canais	1	5	4	3	2
Comprimento Vetorial (Km)	2	4	5	1	3
Comprimento dos Canais (Km)	1	5	4	2	3
Comprimento do Canal Principal (Km)	4	2	1	4	3
Comprimento Axial da Bacia (Km)	5	1	4	3	2
Cota na Foz (m)	2	1	5	4	3
Cota na Nascente (m)	2	4	1	3	5
Cota do Maior Divisor Topográfico (m)	5	2	3	4	2
Posição do Exutório (m)	2	4	5	3	1
Sobreposição do Canal Principal (ha)	2	5	4	3	1
Somatório	36	50	48	40	34

Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Tabela 14, foi realizado o mesmo comparativo de mensuração do erro com base nos resultados obtidos pelo VANT. Isso possibilitou identificar essas diferenças e classificar os modelos.

Tabela 14 - Comparativo de mensuração do erro com base nos resultados obtidos pelo VANT.

Índices	FABDEM	SRTM	NASAD EM	Copernicus	Alos
Índice de Circularidade (Ic)	0,151	0,102	0,109	0,103	0,151
Razão de Elongação (Re)	-0,026	-0,034	-0,016	-0,037	-0,018
Coeficiente de Forma (F)	-0,023	-0,03	-0,014	-0,032	-0,016
Índice de Compacidade (Kc)	-0,925	-0,732	-0,76	-0,733	-0,924
Densidade Hidrológica (Dh)	-6,751	-12,9	-	-7,941	-7,766
Densidade de drenagem (Dd)	-3,107	-4,908	11,728	-3,437	-3,871
Índice de Sinuosidade (Is)	-0,373	-0,215	-0,194	-0,363	-0,313
Coeficiente de Manutenção (Cm)	55,169	123,55	98,156	64,493	78,539
Gradiente dos Canais (Gc)	-2,244	-1,059	-2,314	-1,813	-0,404
Amplitude Altimétrica (Hm)	15,695	15,515	15,515	16,491	13,515
Relação de Relevo (Rr)	6,461	5,338	5,241	6,556	5,354
Porcentagem de relevo relativo (Rhp)	0,237	0,212	0,211	0,22	0,214
Índice de dissecação (Dis)	0,475	0,349	0,397	0,46	0,325

Fonte: Autoria própria, 2024.

A partir desses resultados, foi possível classificar cada modelo em relação a cada índice analisado, onde aquele com a maior aproximação é melhor classificado. Na Tabela 15 com os resultados totais dos índices morfométricos, destaca-se mais uma vez o modelo ALOS com a melhor classificação, seguido pelo NASADEM, FABDEM e SRTM empatados, e por último o Copernicus.

Tabela 15 - Resultados totais dos índices morfométricos.

Parâmetro	FABDEM	SRTM	NASADEM	Copernicus	ALOS
Índice de Circularidade (Ic)	4	1	3	2	4
Razão de Elongação (Re)	3	4	1	5	2
Coeficiente de Forma (F)	3	4	1	5	2
Índice de Compacidade (Kc)	5	1	3	2	4
Densidade Hidrológica (Dh)	1	5	4	3	2
Densidade de drenagem (Dd)	1	5	4	2	3
Índice de Sinuosidade (Is)	4	5	1	3	2
Coeficiente de Manutenção (Cm)	1	5	4	2	3
Gradiente de dos Canais (Gc)	4	1	5	3	2
Amplitude Altimétrica (Hm)	3	2	2	4	1
Relação de Relevô (Rr)	3	5	1	4	2
Porcentagem de relevo relativo (Rhp)	5	2	1	4	3
Índice de dissecação (Dis)	5	2	3	4	1
Somatório	42	42	33	43	31

Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Tabela 16, é possível observar o ranqueamento final da análise comparativa das características morfométricas da microbacia entre os diferentes Modelos Digitais de Elevação globais gerados por satélites e o Modelo Digital de Superfície gerado por VANT. Os resultados destacaram o modelo ALOS, que obteve um bom desempenho nos principais quesitos da caracterização morfométrica.

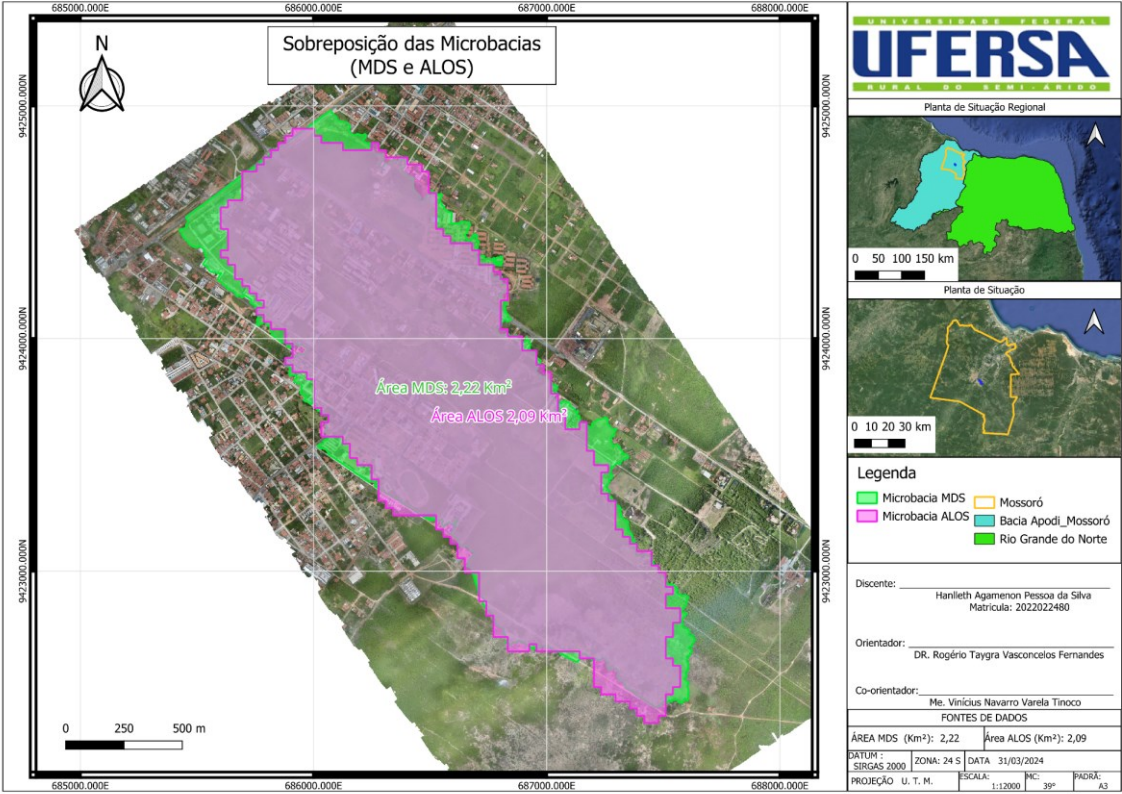
Tabela 16 - Ranqueamento final da análise comparativa das características morfométricas da microbacia entre os MDE.

Classificação	Modelo	Pontuação
1º	ALOS	65
2º	FABDEM	78
3º	NASADEM	81
4º	Copernicus	83
5º	SRTM	92

Fonte: Autoria própria, 2024.

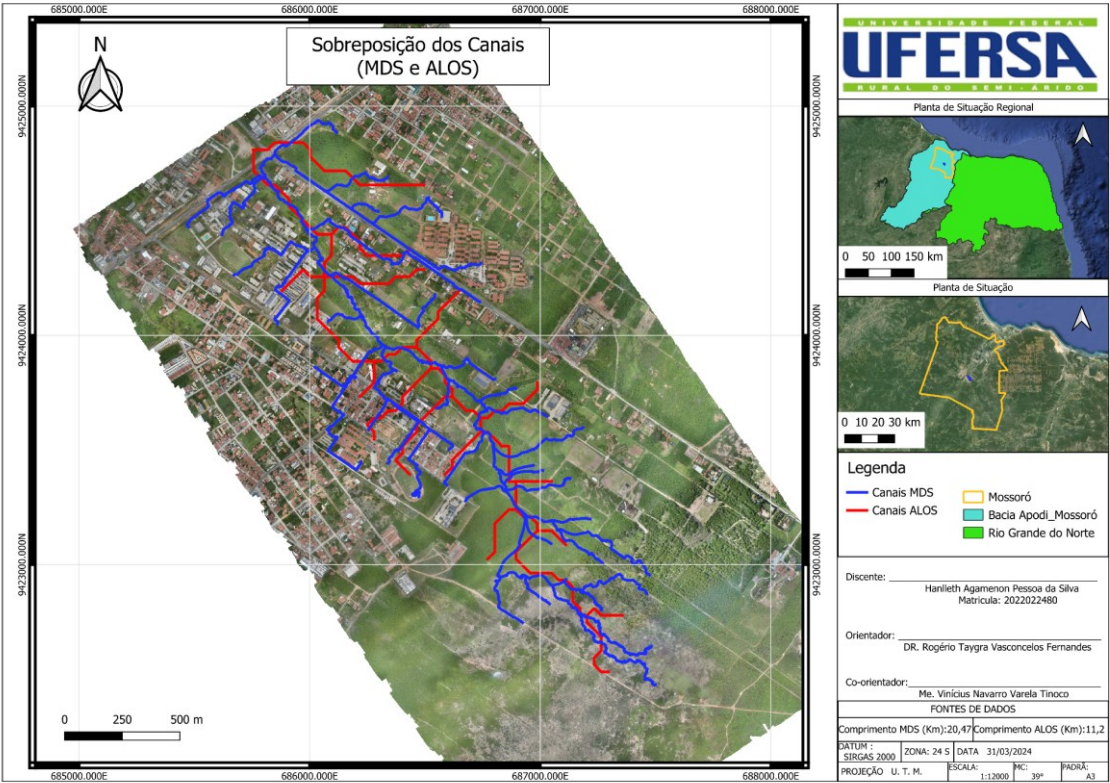
Nos Mapas 21 a 24 podemos observar os modelos melhor e pior ranqueado respectivamente e as suas sobreposições de áreas das bacias e dos seus canais com os resultados obtidos pelo MDS Reamostrado.

Mapa 21 - Sobreposição das microbacias (MDS e ALOS).



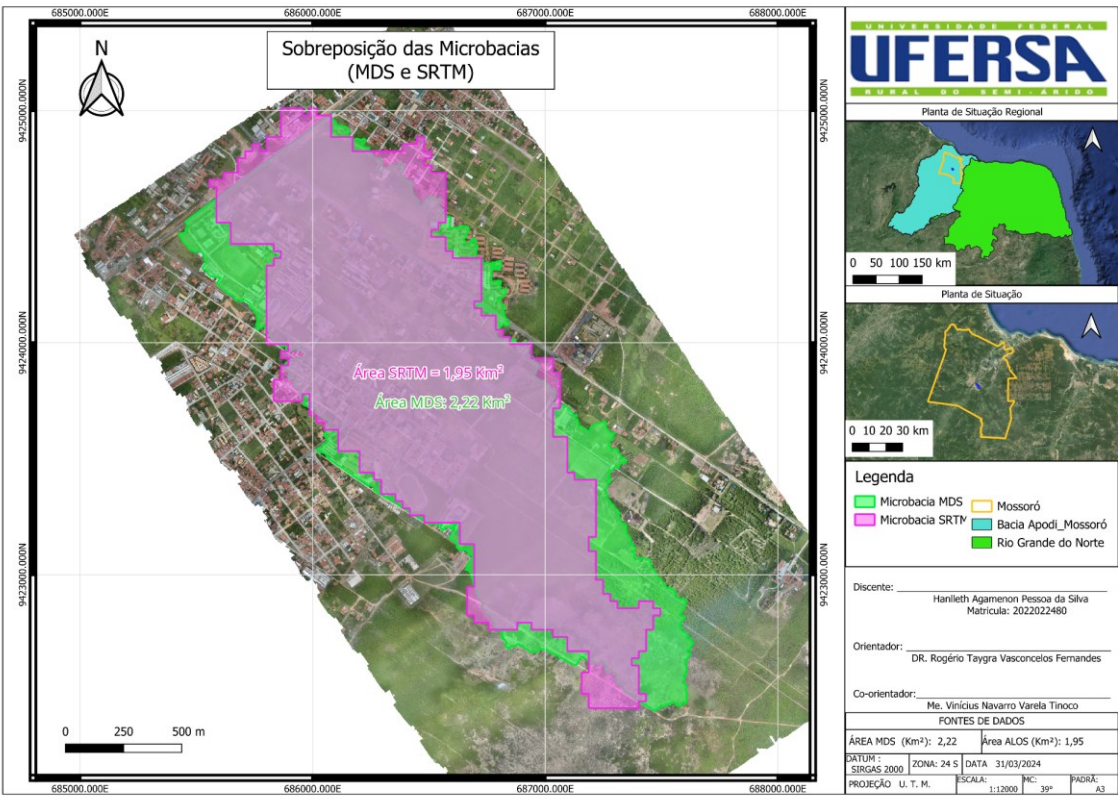
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 22 - Sobreposição dos canais (MDS e ALOS).



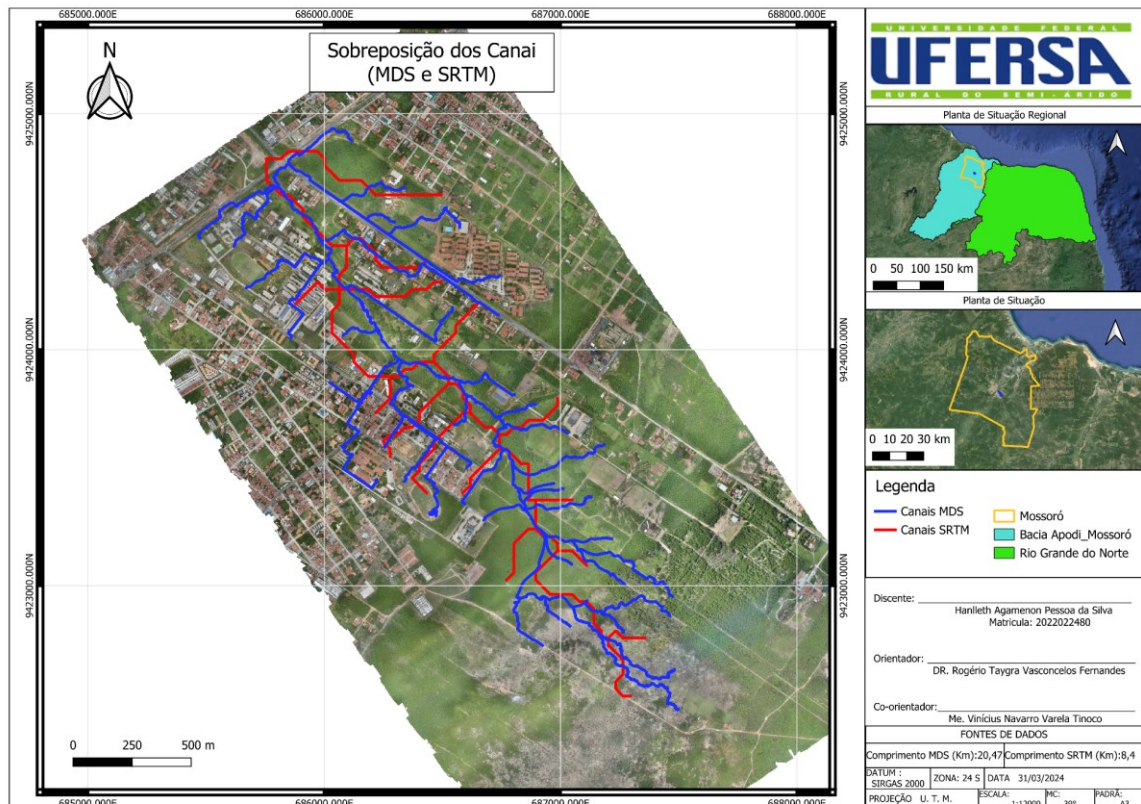
Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 23 - Sobreposição das microbacias (MDS e SRTM).



Fonte: Autoria própria, 2024.

Mapa 24 - Sobreposição dos canais (MDS e SRTM).



Fonte: Autoria própria, 2024.

Essas discrepâncias entre os resultados desses dois modelos podem ter sido causadas por vários outros motivos, mas, a princípio, podemos citar três motivos que têm influência direta na qualidade de representação da superfície terrestre na atualidade.

A primeira diz respeito ao ano de rastreamento dos dados, uma vez que os dados do SRTM foram adquiridos a partir da missão realizada pela NASA em 2000. Por outro lado, a missão que coletou os dados do ALOS teve sua conclusão em 2011, totalizando mais de uma década de diferença no rastreamento de dados, o que implica tanto em avanços tecnológicos quanto nas alterações efetuadas sobre o relevo terrestre, principalmente ocasionadas pela urbanização da área de estudo.

O segundo ponto está relacionado ao tempo de rastreamento das missões e metodologia empregada nas missões: a do SRTM concluiu sua missão em apenas 11 dias com a utilização de um ônibus espacial equipado com um mastro e sensores radar, entretanto o rastreamento dos dados foi impactado por pequenas oscilações no mastro que o sensor estava acoplado. Já a missão do ALOS teve um período de coleta de dados de aproximadamente 5 anos, iniciando em 2006 e finalizando em 2011, utilizando satélite equipado por um par de estereoscópicos, e por sua vez sofre com a captação de dados na presença das nuvens, por isso a necessidade um maior período de captura de dados .

E, por fim, essa discrepância nos resultados finais deve-se também ao tipo de armazenamento de dados. Dos modelos analisados, o ALOS é o único que tem seu armazenamento em grade do tipo RasterPixelArea, onde os dados da elevação do terreno armazenados em cada pixel são resultado da média das elevações da área daquele pixel. Já os outros modelos, incluindo o SRTM, têm seus dados armazenados no tipo RasterPixelPoint, onde a elevação de cada pixel é atribuída a partir de uma única leitura do sensor no centro da área do pixel.

Um outro ponto importante que deve ser levado em consideração é a regionalização desses resultados, pois de acordo com (Carvalho, 2024), e observando os resultados obtidos por (Bielski *et al.*, 2024) os resultados desse tipo de comparação podem mudar a depender da área de estudo, ou seja esses resultados podem variar de acordo com o grau de urbanização da área de estudo ou de acordo com o grau de declividade de cada área, além de que esses resultados dependem dos critérios adotados para a análise, e uma mudança nesses critérios também podem trazer resultados diferentes para uma mesma área de estudo.

Por fim, a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) globais para delimitar e caracterizar microbacias urbanas têm demonstrado resultados satisfatórios, proporcionando uma ferramenta viável para projetos relacionados a obras hídricas, especialmente nas fases iniciais de estudos hidrológicos. Essa abordagem pode reduzir significativamente os custos associados aos estudos hidrológicos, uma vez que elimina a necessidade de levantamentos topográficos extensivos em toda a bacia.

No entanto, é importante ressaltar que, embora os MDEs globais possam fornecer uma visão geral útil da área em estudo, eles podem não ser suficientemente precisos em todos os aspectos. Portanto, ainda pode ser necessário realizar levantamentos topográficos localizados para obter informações mais precisas, especialmente em pontos críticos, como as regiões onde as obras hídricas serão realizadas.

Esses levantamentos adicionais podem ser fundamentais para garantir que os projetos sejam projetados e executados com precisão, minimizando os riscos de erros e problemas durante a implementação das obras. Portanto, embora os MDEs globais sejam uma ferramenta valiosa para reduzir custos e agilizar o processo de estudos hidrológicos preliminares, eles devem ser complementados com levantamentos locais sempre que necessário, especialmente em áreas de interesse crítico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o seu objetivo inicial atingido, de modo que foi possível elencar qual MDE global gratuito possui maior aproximação do MDS local gerado por VANT no que diz respeito à delimitação e caracterização de microbacias hidrográficas. Além disso, foi possível abordar sobre os principais parâmetros a serem utilizados na delimitação e caracterização das bacias hidrográficas.

Portanto, a partir dos resultados obtidos com as delimitações e caracterização por meio do software livre QGIS 3.4.34, foi possível comparar os resultados dos diferentes modelos e elencar o modelo ALOS como sendo o que mais se aproxima da realidade, se destacando positivamente na maioria dos parâmetros e índices analisados. Por outro lado, o modelo SRTM teve um destaque negativo obtendo a pior classificação e se destacando negativamente na maioria dos parâmetros e índices avaliados.

Vale ressaltar que para uma melhor acurácia nos dados utilizados como modelo padrão para essa comparação, o ideal seria a utilização de pontos de controle por GNSS onde teríamos uma maior acurácia no posicionamento das feições, ou o emprego da tecnologia Radar onde teríamos um melhor detalhamento da superfície do terreno e com isso conseguimos fazer uma melhor filtragem dos pontos de interesse.

Mas fazendo uma consideração da regionalização do método, o mesmo traz um norte no momento da escolha do melhor modelo a se trabalhar, principalmente para os estudos preliminares de projetos ligados a obras hídricas.

Por fim, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas, se possível utilizando tecnologias mais precisas para a obtenção dos modelos utilizados como parâmetro e analisando áreas com características geográficas distintas, além da difusão de tais metodologias a serem empregadas em estudos hidrológicos tão importantes para gestão de águas pluviais e conforto e segurança da população.

REFERÊNCIAS

ALVES, Maria Bevilacqua. **Regionalização de vazões mínimas de referência e média de longa duração da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia**. 2022

ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94)**. Brasília, 2015.

BASTIAN, Alysson Vitor. **Aplicação de VANT na gestão urbana: a utilização de drones e fotogrametria como instrumento para levantamentos de IPTU**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Relatório de avaliação anual do Plansab 2021. Nota técnica 2021. Brasília: SNS/MDR, 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2011.445%2C%20DE%205%20DE%20JANEIRO%20DE%202007.&text=\)%20\(Vig%C3%Aancia%20encerrada\)-,Estabelece%20diretrizes%20nacionais%20para%20o%20saneamento%20b%C3%A1sico%3B%20altera%20as%20Leis,1978%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2011.445%2C%20DE%205%20DE%20JANEIRO%20DE%202007.&text=)%20(Vig%C3%Aancia%20encerrada)-,Estabelece%20diretrizes%20nacionais%20para%20o%20saneamento%20b%C3%A1sico%3B%20altera%20as%20Leis,1978%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias.). Acesso em: 29 fevereiro de 2024.

BRIGANTE, Janete; ESPÍNDOLA, Evaldo Luiz Gaeta. *Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. 2003.

BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A.; LLOYD, Christopher D. **Principles of geographical information systems**. Oxford University Press, USA, 2015.

CÂMARA, Gilberto. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. **São José dos Campos**, v. 264, 1995.

CARVALHO, Carlos Henrique Grohmann de. **SPAMLab IEE-USP: copernicusdem é o melhor e pronto!** artigo compara com srtm, aster, fabdem, alos e nasadem. São Paulo: Youtube, 2024. Color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=vrZzolC_Xs&t=601s. Acesso em: 27 fev. 2024.

CECÍLIO, Roberto Avelino; REIS, Edvaldo Fialho. Manejo de bacias hidrográficas. **UFES, Alegre, ES, 10p**, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. A análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Rev. Geomorfol**, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

COSTA, Geraldo André Rosseto Barreto1 Diogo; MARCHIORO, Buarque2 Eberval; PRAÇA, Jonas Otaviano. **Índice de Conectividade dos Sedimentos para a Bacia**

Hidrográfica Do Rio Doce. IN: XV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Campo Grande/MS. 2022.

DA ROCHA ARAÚJO, Ícaro; BANDEIRA, Túlio Viana. Uso dos SIGS como ferramenta para a delimitação dos sistemas e subsistemas ambientais da foz do rio Ceará. **Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, v. 1, n. 2, p. 204-220, 2019.

DA SILVA, Jéssica Bruna Alves; ARAÚJO DUARTE, Simone Mirtes. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio espinharas no estado da Paraíba-PB. **Tecno-Lógica**, v. 24, n. 1, 2020.

DA SILVA MOURA, Erika Fernanda; DA SILVA, Simone Rosa. Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife-PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 15, 2015.

DA SILVA, Thamires Oliveira et al. Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio dos Monos-Bahia, Brasil. **Conjecturas**, v. 22, n. 2, p. 292-306, 2022.

DE ARAÚJO, Lincoln Eloi et al. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 8, n. 1, 2009.

DE MORAES, Elisabete Caria. Capítulo 1 fundamentos de sensoriamento remoto. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos**, 2002.

DE SORDI, Michael Vinicius; PAISANI, Julio Cesar; PEREIRA, Josielle Samara. Condicionamento litoestrutural e diferenciação preliminar dos vales do planalto vulcânico sul-rio-grandense a partir de parâmetros morfométricos da drenagem. **Pesquisas em Geociências**, v. 48, n. 4, 2021.

DE SOUZA, Vladimir Caramori Borges. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista eletrônica de gestão e tecnologias ambientais**, v. 1, n. 1, p. 58-72, 2013.

FAUSTINO, Jorge. Planificación y gestión de manejo de cuencas. **Turrialba: CATIE**, v. 1, p. 90, 1996.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.) Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 7-1 - 7-36.

FERNANDES, Mauricio Roberto; SILVA, João Carlos. Programa estadual de manejo de subbacias hidrográficas: fundamentos e estratégias. **Belo Horizonte: EMATER-MG**, 1994.

FERNANDES, Rogério Taygra Vasconcelos *et al.* (org.). Geoprocessamento e estudos urbanos auxiliados por QGIS. Mossoró: **Livraria da Física**, 2021. 247 p. Disponível em: <http://terraurbanizada.com/produtos/livros/livro-qgis/aulas/>. Acesso em: 8 out. 2022.

FERREIRA, Gilberlan de Freitas. **Emprego de simulação no controle de qualidade em cartografia aplicado a modelos digitais de superfícies oriundos de sensores orbitais segundo PEC-PCD**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

FERREIRA, Mafalda Abrantes Araújo. **Modelação Hidrológica para Previsão de Fenómenos de Cheia na Bacia do Rio Douro**. 2022.

FURLAN, Lucas Moreira; DE MEDEIROS BRITO, Monique Araújo. **Sensoriamento remoto, geofísica e educação popular: integração de tecnologias duras e leves na produção de conhecimento geológico com relevância científica e social**. 2023.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GRANEMANN, Emerson. Setor de Drones Apresentada Novos Números Para o Brasil.

GRASS GIS. 2024. Disponível em: <https://grass.osgeo.org/>. Acesso em: 28 mar. 2024.

Gravelius, H., 1914. **Flusskunde**. Berlin: Goschen'sche Verlagshandlung

GUTH, Peter L. et al. Digital elevation models: terminology and definitions. **Remote Sensing**, v. 13, n. 18, p. 3581, 2021.

HAWKER, Laurence et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 2, p. 024016, 2022. MUNDOGE, 22 fev. 2019. Disponível em: <https://droneshowla.com/artigo-setor-de-drones-apresenta-novos-numeros-para-o-brasil/>. Acesso em: 20/03/2024.

LONDRES, Victor R. *et al.* **Uso da extensão Arc Hydro e MDE Copernicus de 30 m para delinear a drenagem e delimitar microbacias tributárias do Rio Ipanema, AL/PE**. 2023.

MELO, Jonas Herisson Santos de *et al.* **Estudo da evolução das cabeceiras de drenagem como subsídio para o entendimento da morfodinâmica de divisor de drenagem das bacias hidrográficas dos rios Moxotó e Capiá–AL/PE**. 2022.

MELTON, Mark A. **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology**. New York: Department of Geology, Columbia University, 1957.

MENDES, Alesi Teixeira; SANTOS, Gesmar Rosa dos. **Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar?**. 2022.

MILLER, Charles Leslie. **The theory and application of the digital terrain model**. 1958. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology.

NOBRE, Nathália Coelho et al. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 1, p. 11-34, 2020.

NUNES, Elizon Dias; DE CASTRO, Selma Simões. Análise multiescalar aplicada à avaliação de erosão hídrica linear para área tropical subúmida situada na região Sudoeste do estado de Goiás-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 2023.

PARMA, Laura Martins. **Disponibilidade hídrica e uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Poncianos, Camanducaia–MG.** 2022.

PINTO JUNIOR, James de Angelo *et al.* **Aplicação do drone na engenharia de agrimensura e para o georreferenciamento de imóveis rurais: abordagem histórico legal no Brasil.** 2019.

PIROLI, E. L. Caracterização de bacias hidrográficas. In: **Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas [online].** São Paulo: Editora UNESP, 2022, pp. 63-69. ISBN: 978-65-5714-298-1. <https://doi.org/10.7476/9786557142981.0005>.

Profissional Aerial Photographers Association - PAPA. **History of Aerial Photography.** Outubro, 2015. Disponível em: <https://papa.clubexpress.com/content.aspx?page_id=22&club_id=808138&module_id=158950>. Acesso em: 22 de março de 2024.

RAIOL, Lucas Lima et al. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Caripi, Zona Costeira Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2354-2370, 2022

RIBEIRO, Fernanda Leite et al. Caracterização morfométrica da microbactéria Água do Paredão Jataizinho, PR. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, 2015.

RIBEIRO, Hugo José; FERREIRA, Nilson Clementino. Análise comparativa de redes hidrológicas geradas a partir de superfícies hidrologicamente consistentes. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, p. 784-805, 2014.

ROCHA, José Sales Mariano da. **Manual de projetos ambientais.** 1997.

ROCHA, Michele Barbosa da. **Desenvolvimento e sustentabilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru/RN: uma contribuição ao planejamento ambiental a partir do uso da terra e da água.** 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RODRIGUES, Adriana de Carvalho Figueiredo et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Terra Nova-PE. **Revista Semiárido De Visu**, v. 8, n. 1, p. 2-14, 2020.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do departamento de geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSA, Roberto; BRITO, Jorge Luis Silva. Introdução ao geoprocessamento. **UFU: Apostila. Uberlândia**, 2013.

SANTANA, Derli Prudente. **Manejo integrado de Bacias Hidrográficas.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003.

SANTOS, Gabriel da Paz. Drenagem Urbana da Cidade de Posto da Mata. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.** Ano 2, Vol. 13. pp 181-200 Janeiro de 2017.

SCHNORR, Giorge Gabriel; SCCOTI, Anderson Augusto Volpato; PETSCH, Carina. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Vacacaí: centro do rio grande do sul: Morphometric Description of the Vacacaí River Basin: Center of Rio Grande do Sul. **Revista Geonorte**, v. 12, n. 39, p. 44-63, 2021.

SCHORN, Filipe Amândio; VIEIRA, Rafaela. Análises sobre a ocupação do solo em áreas urbanas de preservação permanentes e suscetíveis à inundação: estudo de caso no Vale do Itajaí, SC. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, p. e20220110, 2023.

SCHUMM, Stanley A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological society of America bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SILVA, Antonio Marciano. Princípios básicos de hidrologia. **Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras-MG**, 1995.

SILVA, C A.; MARQUES, C.; MAGALHÃES-JR, A. Caracterização morfométrica da bacia do rio Maquiné–borda leste do quadrilátero ferrífero/MG. **Revista geonorte**, v. 5, n. 20, p. 217-221, 2014.

SILVA, Robert Martins da. **Proposta de metodologia para definição de um modelo digital de elevação para monitoramento de áreas de inundação**. 2017.

SILVA, Wemerson Flávio da. **Evolução morfoestrutural e morfotectônica da bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém a partir da reorganização fluvial: os índices morfométricos como mecanismo de análise**. 2022.

SIMÕES, Margareth Gonçalves. **Modeladores digitais de terreno em sistemas de informação geográfica**. UFRJ, 1993.

SOUZA, E. G. F. et al. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1530-1540, 2021.

STRAHLER, Arthur N. Análise hipsométrica (área-altitude) da topografia erosiva. **Boletim da Sociedade Geológica da América**, v. 11, pág. 1117-1142, 1952.

TEODORO, Valter Luiz Iost et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

THÜRLEMANN, Felix. Olhar como os pássaros. Sobre a estrutura de enunciação de um tipo de mapa cartográfico. **Galáxia. Revista do Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Semiótica**. ISSN 1982-2553, n. 22, 2011.

TUCCI, Carlos EM; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão da drenagem urbana**. 2012.

TUCCI, Carlos EM. Hidrologia: ciência e aplicação. ; 2. reimpr. **Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH**, 2001.

VALE, Jones Remo Barbosa; BORDALO, Carlos Alexandre Leão. Caracterização morfométrica e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Apeú, Amazônia Oriental. **Formação (Online)**, v. 27, n. 51, 2020.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZANETTI, Sidney Sara et al. AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA ANÁLISE ESPACIAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: Avaliação Modelo Digital de Terreno. **Cadernos de Geociências**, v. 15, 2022.

ANEXO I - CÓDIGO DE AMOSTRA

```

var fabdem = ee.ImageCollection("projects/sat-io/open-datasets/FABDEM"),
    countries = ee.FeatureCollection("FAO/GAUL/2015/level0"),
    imageVisParam = {"opacity":1,"bands":["b1"],"max":1550.551025390625,"gamma":1},
    geometry =
    /* color: #98ff00 */
    /* displayProperties: [
        {
            "type": "rectangle"
        }
    ] */
    ee.Geometry.Polygon(
        [[[-46.110284265802356, -23.071890035886575],
            [-46.110284265802356, -23.38864002817647],
            [-45.621392664239856, -23.38864002817647],
            [-45.621392664239856, -23.071890035886575]]], null, false);
print('FABDEM Collection size :',fabdem.size())

//Explanation on setting default Projection here ⓘ / 1494038930643042309
var elev = fabdem.mosaic().setDefaultProjection('EPSG:3857',null,30)

//you can also use this incase you don't want to specify CRS
//var elev = fabdem.mosaic().setDefaultProjection(glo30.first().projection())

// Add the elevation to the map. Play with the visualization tools
// to get a better visualization.
Map.addLayer(elev, {}, 'elev', false);

// Use the terrain algorithms to compute a hillshade with 8-bit values.
var shade = ee.Terrain.hillshade(elev);
Map.addLayer(shade, {}, 'hillshade', false);

// Create an "ocean" variable to be used for cartographic purposes
var ocean = elev.lte(0);
Map.addLayer(ocean.mask(ocean), {palette:'000022'}, 'ocean', false);

// Create a custom elevation palette from hex strings.
var elevationPalette = ['006600', '002200', 'fff700', 'ab7634', 'c4d0ff', 'ffffff'];
// Use these visualization parameters, customized by location.
var visParams = {min: 1, max: 3000, palette: elevationPalette};

// Create a mosaic of the ocean and the elevation data
var visualized = ee.ImageCollection([
    // Mask the elevation to get only land
    elev.mask(ocean.not()).visualize(visParams),
    // Use the ocean mask directly to display ocean.

```

```
ocean.mask(ocean).visualize({palette:'000022'})
]).mosaic();

// Note that the visualization image doesn't require visualization parameters.
Map.addLayer(visualized.clip(countries), {}, 'elev palette');

// Export the image, specifying scale and region.
// alterar apenas o description
Export.image.toDrive({
  image: elev,
  description: 'fabdem_sao_jose_campos',
  scale: 30,
  region: geometry
});
```