

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FLORESTAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

JEFFERSON JOSÉ AZEVEDO FABRÍCIO

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS SRTM NA OBTENÇÃO DE DADOS
ALTIMÉTRICOS PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO SABUGI –
RN**

**RECIFE-PE
2024**

JEFFERSON JOSÉ AZEVEDO FABRÍCIO

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS SRTM NA OBTENÇÃO DE DADOS
ALTIMÉTRICOS PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO SABUGI –
RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Profa. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte

**RECIFE-PE
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

J45uu Fabrício, Jefferson
 UTILIZAÇÃO DE IMAGENS SRTM NA OBTENÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS PARA O MUNICÍPIO DE
 SÃO JOÃO DO SABUGI – RN / Jefferson Fabrício. - 2024.
 48 f. : il.

 Orientadora: Profa. Dra. Simone Mirtes Araujo Duarte.
 Inclui referências e anexo(s).

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Recife, 2024.

 1. Modelos Digitais de Elevação (MDE). 2. Morfometria. 3. Geotecnologias. 4. SIG. 5. ALOS PALSAR. I. Duarte,
 Profa. Dra. Simone Mirtes Araujo, orient. II. Título

CDD

JEFFERSON JOSÉ AZEVEDO FABRÍCIO

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS SRTM NA OBTENÇÃO DE DADOS
ALTIMÉTRICOS PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO SABUGI –
RN**

Aprovado em 13 de agosto de 2024

BANCA EXAMINADORA

Professora Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte
Orientadora

Professor Dr. Marcelo Nogueira
Membro da Banca / UFRPE

Professor Dr. Richeliel Albert Rodrigues Silva
Membro da Banca / UFRPE

**RECIFE-PE
2024**

Agradecimentos

Esse trabalho é o fechamento de um ciclo, foram tempos de aprendizados e batalhas vencidas, sou grato a Deus por ter me guiado em todas as dificuldades e por ter vencido todas as batalhas.

Agradeço:

A Deus, por ser meu guia, protetor, que me dá sabedoria, e me abençoa com toda a sorte de benção;

A meu pai, Flavio Cristiano Bezerra Fabrício, que sempre deseja o melhor para o meu futuro e sempre investiu em mim;

A minha mãe, Janine Maria de Lima Azevedo, que me ensinou a ser quem eu sou, e me instruiu sempre dando o melhor de si;

A minha madrastra, Audiane Diniz de Andrade, que sempre deseja o melhor para mim e me ajuda nas dificuldades.

Aos meus irmãos, Darwin, Tamataré, Nayara, Nathalia, Maria Eduarda e Maria Luiza, que sempre vão me apoiar e estar ao meu lado.

A toda minha família, que sempre me apoiou e torcem por mim em toda a minha caminhada;

Aos meus pastores, José Tércio Galindo e Elinete Maria de Melo Galindo, que sempre estiveram ao meu lado;

A minha igreja, Igreja Evangélica Viver em Cristo, que sempre me ajudaram nos momentos difíceis;

A meus amigos e colegas da Engenharia Florestal, que me ajudaram a vencer as dificuldades;

A minha orientadora Dr. Simone Mirtes Araújo Duarte, que mesmo nas minhas procrastinações, sempre esteve disponível;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao departamento de Ciências Florestais, pelo ensino e condições de trabalho;

Aos professores, que estão sempre dispostos a ensinar ao longo desses anos;

MUITO OBRIGADO!!!

A todos que me ajudaram a concluir essa etapa da minha vida.

“E, tudo quanto fizerdes, fazei-o de todo o coração,
como ao Senhor e não aos homens.”

Bíblia Almeida Revista e Corrigida, Colossenses 3:23

Resumo

A análise das características morfométricas tais como área, perímetro, declividade, altitude, densidade de drenagem, entre outras, são fundamentais no desenvolvimento de estudos ambientais. As características físicas e bióticas de um determinado local exercem importante papel na tomada de decisão. Neste sentido o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas juntamente com as geotecnologias para caracterização morfométrica têm sido objeto de estudo em várias partes do mundo, e promovem resultados relevantes. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo de realizar a caracterização morfométrica do município de São João do Sabugi – RN, utilizando, para tanto, dados do Satélite ALOS PALSAR, integrados e processados em ambiente SIG. Os dados espaciais obtidos foram submetidos a técnicas de pré-processamento, tais como reprojeção do seu sistema de referência de coordenadas para UTM (fuso 24s) e do seu sistema geodésico para SIRGAS 2000, bem como exclusão de seus pixels espúrios. Esses procedimentos possibilitaram a obtenção de parâmetros morfométricos precisos. Pelos resultados foi constatado que a caracterização morfométrica, por meio do processamento de dados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), oferece vantagens significativas em relação ao custo-benefício. A metodologia aplicada demonstrou ser adequada e de fácil utilização. A declividade do município predomina entre ondulado e forte ondulado. A concepção dos resultados alcançados nesse estudo permite o entendimento do comportamento morfométrico do município de São João do Sabugi – RN de maneira consistente, podendo ser utilizados para um planejamento ambiental adequado.

Palavras-chave: Modelos Digitais de Elevação (MDE); Morfometria; Geotecnologias; SIG; ALOS PALSAR.

Abstract

The analysis of morphometric characteristics such as area, perimeter, slope, altitude, drainage density, among others, are fundamental in the development of environmental studies. The physical and biotic characteristics of a given location play an important role in decision-making. In this sense, the development and improvement of techniques together with geotechnologies for morphometric characterization have been the subject of study in several parts of the world, and promote relevant results. In view of the above, the present study aimed to perform the morphometric characterization of the municipality of São João do Sabugi - RN, using data from the ALOS PALSAR Satellite, integrated and processed in a GIS environment. The spatial data obtained were subjected to pre-processing techniques, such as reprojection of its coordinate reference system to UTM (24s time zone) and of its geodetic system to SIRGAS 2000, as well as exclusion of its spurious pixels. These procedures allowed the obtaining of accurate morphometric parameters. The results showed that morphometric characterization, through the processing of Digital Elevation Model (DEM) data in a Geographic Information System (GIS) environment, offers significant advantages in terms of cost-benefit. The methodology applied proved to be adequate and easy to use. The slope of the municipality is predominantly undulating to strongly undulating. The conception of the results achieved in this study allows a consistent understanding of the morphometric behavior of the municipality of São João do Sabugi - RN, which can be used for adequate environmental planning.

Keywords: Digital Elevation Models (DEM); Morphometry; Geotechnologies; GIS; ALOS PALSAR.

Lista de figuras

FIGURA 1 - Mapa de Localização do Município de São João do Sabugi – RN.....	20
FIGURA 2 - Principais etapas realizadas para caracterização morfométrica a partir de dados SRTM	21
FIGURA 3 - Correção de erros do tipo “sink” por meio da execução da função “fill sinks”	22
FIGURA 4 - Codificação da direção de maior declividade de um pixel em relação a vizinhança.....	22
FIGURA 5 - Mapa de Caminhamento do município de São João do Sabugi - RN.....	26
FIGURA 6 - Vista panorâmica do município de São João do Sabugi – RN.....	27
FIGURA 7 - Fotografia do uso e ocupação do município de São João do Sabugi - RN.....	28
FIGURA 8 - Vegetação do município de São João do Sabugi – RN.....	29
FIGURA 9 - Fotografia de altitude do município de São João do Sabugi - RN.....	29
FIGURA 10 - Fotografia rede de drenagem do município de São João do Sabugi - RN.....	30
FIGURA 11 - Sangrador.....	31
FIGURA 12 - Fotografia de catavento d’água.....	32
FIGURA 13 - Fotografia de reservatório d’água.....	32
FIGURA 14 - Fotografia em cima da barragem do Rio Sabugi com visão ao açude.....	32
FIGURA 15 - Fotografia em cima da barragem do Rio Sabugi com visão ao Rio Sabugi.....	33
FIGURA 16 - Mapa do MDE obtido do tratamento de dados SRTM.....	34
FIGURA 17 - Mapa de direção de fluxo.....	35
FIGURA 18 - Mapa de fluxo acumulado.....	36
FIGURA 19 - Transecto AA’ do município de São João do Sabugi - RN.....	38
FIGURA 20 - Transecto BB’ do município de São João do Sabugi – RN.....	39
FIGURA 21 - Mapa de relevo do município de São João do Sabugi - RN.....	40
FIGURA 22 - Rede de drenagem do município de São João do Sabugi - RN.....	42
FIGURA 23 - Mapa de declividade do município de São João do Sabugi – RN.....	43
FIGURA 24 - Mapa de hipsométrico. do município de São João do Sabugi – RN.....	44

Lista de tabelas

TABELA 1 - Valores de referência para classificação dos parâmetros morfométricos	24
TABELA 2 - Características morfométricas do município de São João do Sabugi - RN.....	37
TABELA 3 - Classes de declividade do município de São João do Sabugi - RN.....	41

Lista de abreviaturas e siglas

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JAROS	Japan Resources Observation System Organization
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PE	Pernambuco
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
SRMT	Shuttle Radar Topography Mission
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. Introdução	12
2. Objetivos	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivo Específicos	14
3. Revisão Bibliográfica	15
3.1 Caatinga.....	15
3.2 Importância do uso e ocupação da terra	16
3.3 Geotecnologia	16
3.4 Estudos com satélites.....	17
4. Materiais e Métodos	20
4.1 Área de estudo	20
4.2 Obtenção e processamento de imagens.....	21
4.2.1 Preenchimento de depressões (“fill sinks”)	21
4.2.2 Direção de fluxo.....	22
4.2.3 Fluxo acumulado	22
4.3 Morfometria do município.....	23
4.5 Trabalho de Campo	24
5. Resultados e Discussão	26
5.1 Trabalho de Campo	26
5.2 Caracterização Morfométrica	34
5.2.1 Preenchimento de depressões (“fill sinks”)	34
5.2.2 Direção de fluxo.....	35
5.2.3 Fluxo acumulado	36
5.2.4 Caracterização Morfométrica.....	37
6. Conclusão	45
7. Referências.....	46

1. Introdução

No desenvolvimento de estudos ambientais é fundamental, a análise das características morfométricas tais como área, perímetro, declividade, altitude, densidade de drenagem, entre outras, são fundamentais no desenvolvimento de estudos ambientais. As características físicas e bióticas de um determinado local exercem importante papel na tomada de decisão (DE OLIVEIRA, 2010). As geotecnologias somam nessa temática ambiental, estas são ferramentas poderosas de monitoramento, análise e visualização de dados geográficos e espaciais, que fornecem informações valiosas para uma ampla gama de aplicações (EMBRAPA, 2024).

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas para caracterização morfométrica têm sido objeto de estudo em várias partes do mundo. Tais técnicas são implementadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), promovendo resultados relevantes (ALVES, 2010).

Dessa forma, os satélites são uma das principais fontes de dados em geotecnologias para aplicações ambientais e florestais, e apresentam variedades de sensores, assim aumentando o leque de possibilidades de pesquisas diversas (HENTZ, 2018). As imagens de satélite SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) são utilizadas para gerar o Modelo Digital do Terreno (MDE). A elaboração desses modelos é de extrema importância no conhecimento do relevo global e no direcionamento de estudos com abordagem topográfica.

Diante do exposto, o presente trabalho adquiriu dados SRTM a partir do Advanced Land Observing Satellite (ALOS PALSAR) de forma gratuita do município de São João do Sabugi, no estado do Rio Grande do Norte. O município apresenta particularidades que o tornam um objeto de estudo relevante, especialmente devido aos desafios ambientais enfrentados na região, como a escassez hídrica e a erosão. E destacando também o Açude Sabugi que tem importância não apenas para o município de São João do Sabugi - RN, mas para outras localidades do sertão seridoense (MARIZ, 2021).

O sertão nordestino, onde está inserido São João do Sabugi - RN, é caracterizado por um clima semiárido, com precipitações irregulares e longos períodos de seca. As secas nos sertões seridoenses são marcadas por uma circularidade, na qual as secas, assim como as chuvas, vão e voltam (MARIZ, 2021).

Os resultados obtidos nesse estudo incluem a obtenção de informações detalhadas sobre a morfometria do município, o que contribui para a gestão sustentável dos recursos hídricos, planejamento ambiental e desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação dos impactos

ambientais. Além disso, a pesquisa preenche lacunas de conhecimento sobre o município de São João do Sabugi - RN, fornecendo uma base científica sólida para futuras investigações e políticas públicas na região.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfométrica do município de São João do Sabugi - RN, utilizando, para tanto, dados do Satélite ALOS PALSAR, integrados e processados em ambiente SIG.

2.2 Objetivo Específicos

- Levantar das caracterizações do uso e ocupação da superfície do município;
- Calcular por meio dos dados ALOS PALSAR, diferentes características morfométricas do município;
- Confeccionar mapas de relevo, declividade, hipsométrico e rede de drenagem

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Caatinga

Na língua Tupi, o termo “Caatinga” significa “mata clara”. A Caatinga é dominada por tipos de vegetação com características xerófitas, com estratos compostos por gramíneas, arbustos e árvores de baixo ou médio porte, caducifólias, com grande quantidade de plantas espinhosas, alternadas com outras espécies como as cactáceas e as bromeliáceas. Possui um ecossistema formado por pequenas árvores e arbustos espinhosos esparsos que perdem as folhas durante o período de seca (KLIMA NATUALI, 2022).

As principais características do bioma Caatinga são, solo raso e pedregoso, vegetação com árvores baixas, troncos tortuosos e que apresentam espinhos e folhas que caem no período da seca, com exceção de algumas espécies (IBF, 2020). A Caatinga está localizada entre os paralelos de 2° 54' S a 17° 21' S, sendo predominantemente na Região Nordeste do país, cobrindo cerca de 54,53% dos 1.548.672 km² da área da região (SILVA, 2011). Cerca de 11% do território nacional é ocupado pelo bioma Caatinga. Apresenta um clima semiárido, com grande variedade de paisagens e espécies que só ocorrem nesse bioma (IBGE, 2021).

Com relação às espécies da fauna, sobre as quais se conhece o estado de conservação, de um total de 1.182 espécies que foram avaliadas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (2018), 125 espécies, ou 10,57% do total, encontram-se em alguma categoria de ameaça de extinção (sob categorias Extintas na Natureza (EW), Criticamente em Perigo (CR), Em Perigo (EN) e Vulnerável (VU)) (GOV.BR, 2022).

O sertão nordestino é uma das regiões semiáridas mais povoadas do mundo. Nos últimos 15 anos, 40 mil km² de Caatinga se transformaram em deserto devido a interferência do homem sobre o meio ambiente da região (KLIMA NATUALI, 2022). Esse bioma encontra-se bastante alterado pela substituição de espécies nativas por prática agrícola, pecuária extensiva e extração de lenha para fins energéticos. A remoção parcial ou total da vegetação em áreas da caatinga resulta na diminuição da cobertura dos solos do semiárido, fatores que levam ao aumento na degradação do bioma. A lenha da caatinga tem sido utilizada como umas das principais fontes de energia na região, seja para o consumo doméstico, seja para uso em indústrias, principalmente as de panificação, olarias e calcinação de gipsita no polo gesseiro da região do Araripe (Sampaio, 2005). Ocasionalmente pela desordem na exploração da Caatinga, os recursos desse biona têm se tornado escassos, tendo assim várias áreas suprimidas. Esse avanço do desmatamento chega a 46% da área do bioma (MMA, 2020).

3.2 Importância do uso e ocupação da terra

O presente tema é abrangente e de natureza complexa. Ao longo do tempo o homem ocupou e modificou o espaço natural de forma a atender suas necessidades. Nesse contexto é possível apontar alguns riscos e consequências notórias do mau uso da terra. Esse mau uso ao longo dos anos traz problemas ambientais como erosão, degradação ambiental, desertificação, desaparecimento de espécies, comprometendo todo o equilíbrio de uma região (SILVA, 2011)

Devido ao acelerado processo de mudança das últimas décadas a modificação nos padrões de uso e ocupação da terra tem despertado interesse, dentro e fora do meio científico, essas mudanças causam preocupações desde o nível local até o global. Conseqüentemente, os debates sobre esses assuntos começam a ocorrer com uma maior frequência. O uso e ocupação das terras, em suas diferentes formas, geram impactos ao ambiente, podendo ter baixa, média ou alta intensidade (RODRIGUES, 2010)

No Bioma Caatinga é importante diferenciar estiagem, seca e desertificação. No Semiárido brasileiro, o período de estiagem é sazonal, ou seja, todo ano a vegetação perde as folhas e assume o visual esbranquiçado que é para evitar a perda de água. E após o término do período de estiagem a vegetação adquire sua coloração verde novamente. A seca é quando o período chuvoso fica aquém do normal, o que pode se repetir por anos. O processo de desertificação é resultado da degradação do solo, ou seja, da perda nutrientes que parte do manejo inadequado do solo, sobretudo o desmatamento. Mas a contaminação do solo por agrotóxicos também deve ser considerada. A desertificação é um dos principais problemas do Semiárido brasileiro, são pelo menos 200 mil quilômetros totalmente degradados (ECO, 2020).

Ambientes degradados podem acarretar processos erosivos, aumento de impermeabilidade do solo, contaminação de cursos d'água, extinção de espécies locais, redução da biodiversidade. Esses problemas de degradação pelo mau uso e ocupação do solo pelo homem podem ser minimizados por estudos que gerem subsídios para elaboração de planos ordenados para equilibrar a relação entre homem e natureza (SILVA, 2011).

3.3 Geotecnologia

A geotecnologia é um campo de estudo dedicado a oferecer soluções por meio da análise da localização geográfica de objetos e eventos. Essas soluções são aplicáveis tanto no cotidiano quanto em setores produtivos e políticas públicas. Para alcançar seus objetivos, a geotecnologia emprega uma variedade de técnicas e metodologias que utilizam dados georreferenciados,

caracterizados por pares de coordenadas, como latitude e longitude, associados a um sistema de referência, como um sistema geodésico (Embrapa, 2024).

Segundo a Embrapa (2024) para coletar esses dados, a geotecnologia se vale de diversos equipamentos, como receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), sensores embarcados em satélites, aeronaves não tripuladas (VANT), entre outros. Além disso, faz uso de uma infraestrutura tecnológica robusta em informática para processamento de dados, incluindo hardware, software, aplicativos, algoritmos e linguagens de programação específicas. Esses recursos combinados possibilitam a análise e interpretação dos dados geográficos, resultando em soluções práticas e eficazes para uma variedade de contextos e aplicações.

A geotecnologia é uma poderosa ferramenta de monitoramento, análise e visualização de dados geográficos e espaciais, fornecendo insights valiosos para uma ampla gama de aplicações e disciplinas. Entre os principais componentes da geotecnologia estão o Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Fotogrametria, Cartografia Digital, GNSS e Geoposicionamento, entre outros.

3.4 Estudos com satélites

Os satélites são uma das principais fontes de dados de geotecnologias para aplicações ambientais e florestais, e apresentam variedades de sensores, assim aumentando o leque de possibilidades de pesquisas diversas (HENTZ, 2018).

Imagens de satélite possuem quatro resoluções indispensáveis para a caracterização de sua qualidade: resolução espectral, espacial, radiométrica e temporal. A resolução espacial indica o tamanho da menor separação angular ou linear que um sensor pode identificar, sendo medida geralmente em metros, quilômetros ou graus. A resolução espectral indica o número e o tamanho de intervalos de comprimentos de ondas (bandas) do espectro eletromagnético no qual o instrumento é sensível. A resolução temporal refere-se à frequência (geralmente em dias ou horas) em que um determinado sensor pode capturar imagens consecutivas de um determinado alvo. Por fim, a resolução radiométrica é definida como a sensibilidade do sensor a diferenças na magnitude do sinal que é medido, ou seja, ela define o número de níveis em que o sinal pode ser discriminado (SHIMABUKURO, 2009).

Segundo Carneiro (2015), uma limitação para o uso de imagens de alguns satélites seria a cobertura de nuvens que pode dificultar o estudo da vegetação, visto que apresentam um satélite de sensor óptico, como exemplo o Landsat. Isso nos leva a utilização de satélites com sensores radar. Esses satélites trabalham com a transmissão e recepção de micro-ondas, o que

é uma vantagem para esse estudo pois as micro-ondas são capazes de atravessar nuvens e chuvas. Os dados de radar também contêm informações relacionadas as propriedades físicas da vegetação, principalmente sobre sua estrutura e conteúdo hídrico.

Dentre os satélites de radar é importante destacar dois, o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) lançado em 2000 e o satélite Alos lançado em 2006. A missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), realizada em 2000 a bordo da nave Endeavour, incorpora a técnica interferométricas de SAR (InSAR) e dispõe publicamente seus dados em escala global por intermédio do United States Geological Survey (USGS). Assim, diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o objetivo de analisar, comparar e atualizar informações da superfície terrestre por meio de dados do SRTM (Alves, 2015). O SRTM consegue gerar o Modelo Digital do Terreno (MDE), a elaboração desses modelos foi de extrema importância no conhecimento do relevo global e direcionamento de estudos com abordagem topográfica. Isto apesar da natureza deste produto ser sensível principalmente ao dossel da vegetação no terreno (ALVES, 2015).

O satélite Advanced Land Observing Satellite (ALOS-1) foi lançado com o sensor Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR). A plataforma foi lançada em 24 de janeiro de 2006 por meio da Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) e Japan Resources Observation System Organization (JAROS). O objetivo da missão foi atender uma consistência espacial e temporal de imageamento sobre escalas continentais em melhores resoluções (ALVES, 2015).

O SRTM os MDEs gerados com a banda C foram distribuídos, inicialmente, na resolução espacial de 3 arcos segundo, ou seja, 14 com aproximadamente 90 m. Porém, mais recentemente, também foram disponibilizados com cobertura global, os MDEs na banda C, de 1 arco de segundo ou 30 m de resolução espacial. Já o Alos possui resolução espacial varia entre 10 e 100 m.

Segundo Alvez (2010), o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas de caracterização morfométrica têm sido objeto de estudo em várias partes do mundo. Tais técnicas são implementadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), promovendo resultados relevantes.

Juntamente com o SIG, as imagens de satélites são ferramentas que auxiliam na obtenção de informações. Com essas imagens é possível obter dados precisos sobre a topografia do terreno, identificar a rede de drenagem, analisar declividade e erosão, estimar volume de

água, e assim fazer todo um planejamento adequado para o uso da terra em determinada localidade.

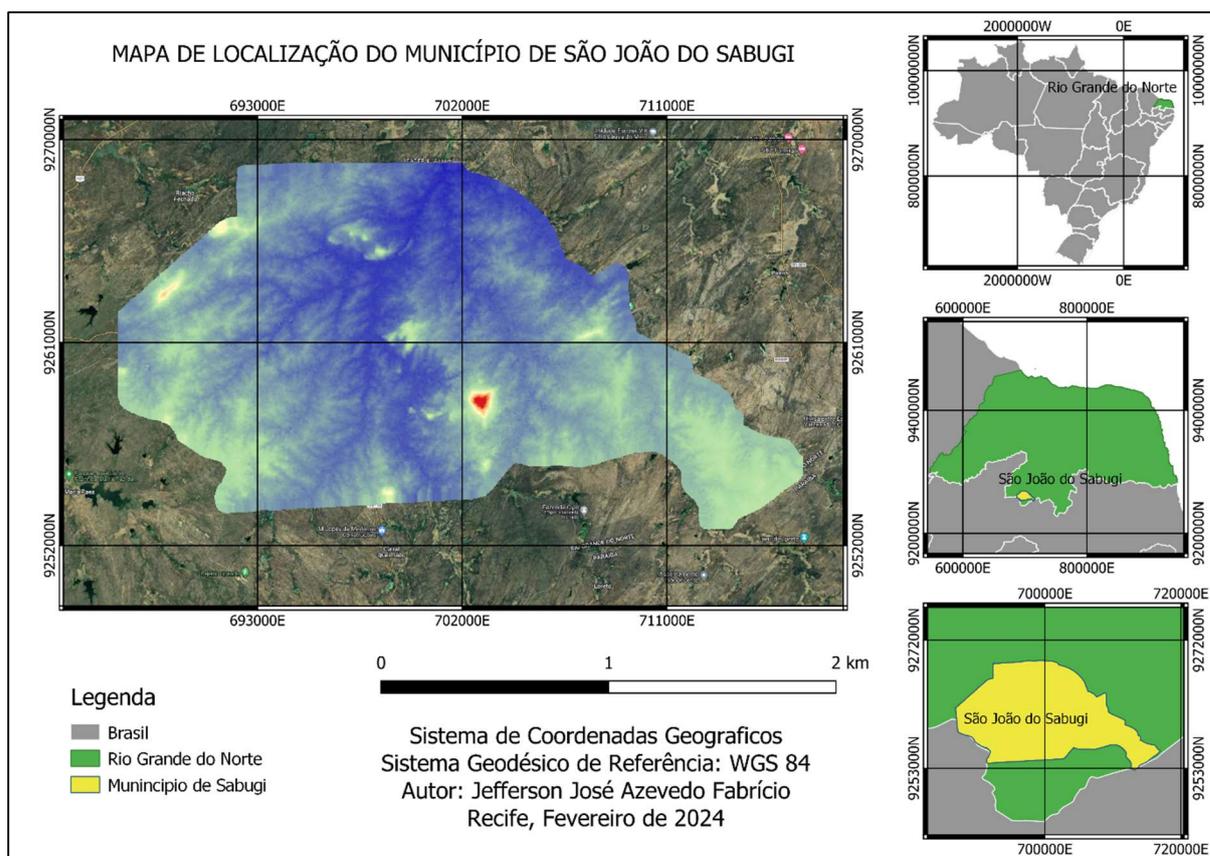
Essa implementação de estudos com imagens de satélites e SIG tem tido um impacto significativo para pesquisas em diversas áreas, permitindo que pesquisadores e estudantes compreenderem e estudar melhor diversos aspectos do ambiente.

4. Materiais e Métodos

4.1 Área de estudo

O município de São João do Sabugi, localizado no estado do Rio Grande do Norte, Brasil (Figura 1), insere-se na mesorregião da Borborema e no bioma Caatinga (PROBIO, 2004). Situa-se na área de abrangência do semiárido, apresenta um clima quente e seco, com um total anual de precipitação de cerca de 600 mm (AESAs – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) e temperaturas que oscilam de 21°C a 36°C (MACHADO, 2011).

Figura 1 – Mapa de Localização do Município de São João do Sabugi - RN.



Fonte: O autor, 2024

Em termos de uso e cobertura do solo, apresenta predomínio de agropecuária, savana estépica arborizada e savana estépica parque (PROBIO, 2004), caracterizadas por uma cobertura arbórea composta por árvores de pequeno porte espinhoso e várias cactáceas, cobrindo um estrato gramíneo.

4.2 Obtenção e processamento de imagens

Obteve-se os dados a partir do Advanced Land Observing Satellite (ALOS PALSAR) junto ao EarthData da NASA de forma gratuita, com resolução espacial de 12,5 metros, produto ALPSRP275397060 (EARTHDATA, 2024).

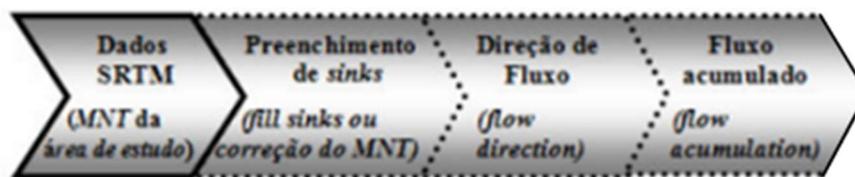
Os dados do Açude Sabugi foram obtidos a partir do Catálogo de Metadados da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) de forma gratuita. (ANA, 2024)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido foi processado no software livre QGIS (versão 3.16.14), juntamente com as extensões (“plugins”) disponíveis no endereço eletrônico da Geographic Resources Analysis Support System (GRASS 7), o qual teve seus respectivos sistemas de coordenadas e geodésico reprojatados para UTM (fuso 24S) e SIRGAS 2000.

A Figura 2 fornece uma descrição aprofundada dos métodos utilizados na geração do mapa de drenagem e de lineamentos morfoestruturais.

A metodologia utilizada nesse processo subdividiu-se em quatro etapas, sendo: preenchimento de depressões (“fill sinks”), direção de fluxo (“flow direction”) e fluxo acumulado (“flow accumulation”). (Alves, 2015) (Figura 2)

Figura 2 – Principais etapas realizadas para caracterização morfométrica a partir de dados SRTM.

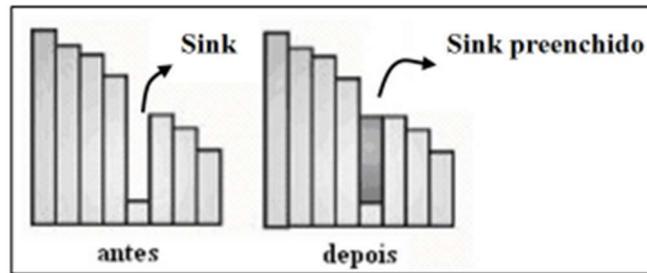


Fonte: Alvez, 2015

4.2.1 Preenchimento de depressões (“fill sinks”)

A existência de depressões e áreas planas nos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) possibilita a geração de mapas de direção de fluxo com inconsistência. Para que isso não ocorra, os dados devem passar por um processo de preenchimento de sinks. O arquivo resultante deste processo deve ser salvo para gerar o mapa de direção de fluxo a partir dele. Um sink é uma área rodeada por elevações com valores de cotas superiores, que pode ser associada a uma depressão. Essas depressões são consideradas empecilhos ao escoamento durante a aplicação de modelos hidrológicos, sedimento lógicos e de poluentes de origem difusa.

Figura 3 – Correção de erros do tipo “sink” por meio da execução da função “fill sinks”.



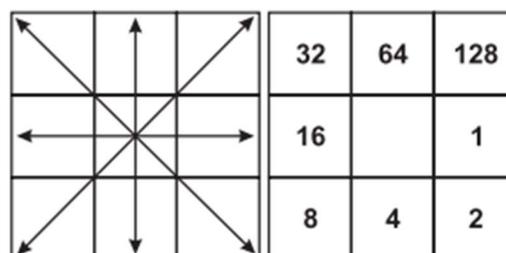
Fonte: Alvez, 2015

Conforme a Figura 3, as correções no MDE são feitas por meio da função “fill sinks”, que considera as altitudes dos “pixels” vizinhos para preencher os “sinks”, promovendo, assim, a geração do mapa de MDE com consistência melhor.

4.2.2 Direção de fluxo

Inicialmente foram eliminados os *pixels* sem valores de elevação, originando um novo MDE. A partir de então foi possível gerar os mapas com as informações de direções de fluxo e de declividade. A direção de fluxo define as direções para onde a água escoará, ou seja, quando há um evento de chuva, a água que cai em cada pixel irá escoar para uma determinada direção, que será a direção da linha de maior declividade do terreno. A direção de fluxo determina a direção de maior declividade de um pixel em relação aos seus 8 pixels vizinhos (Figura 4). A distância entre dois pixels é medida a partir do centro de cada célula. Após a utilização da função *flow direction* um arquivo foi gerado, definindo um valor de direção que indica o pixel vizinho de maior declividade.

Figura 4 – Codificação da direção de maior declividade de um pixel em relação a vizinhança.



Fonte: De Oliveira, 2014

4.2.3 Fluxo acumulado

O arquivo de direção de fluxo é o arquivo de entrada para se gerar o arquivo de fluxo acumulado, o qual representa a rede de drenagem. O fluxo acumulado representa a rede

hidrográfica, sendo possível montar nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada “pixel”. Desse modo, cada “pixel” recebe um valor correspondente ao número de “pixels” que contribuem para que a água chegue até ele. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (DE OLIVEIRA, 2004).

4.3 Morfometria do município

De posse dos resultados obtidos por meio dos dados ALOS PALSAR, diferentes características morfométricas do município em estudo foram calculadas, tais como: *área; perímetro; declividade; altitude; densidade de drenagem, entre outras:*

Área (A): Corresponde a superfície total do município e representa o elemento básico para obtenção de outras características morfométricas. A área, em km², do município estudado foi determinada de maneira automática, pela criação, a partir da tabela de atributos da camada, de uma coluna, em que foi utilizada a função ‘\$area’ da “calculadora de campo”.

Perímetro do Município (P): É o comprimento do divisor topográfico, que, geralmente, é dado em km. Do mesmo modo que a área, o perímetro do município em estudo foi obtido de forma automática, por meio da função ‘\$perimeter’ da “calculadora de campo”.

Declividade: Consiste na variação de altitude entre dois pontos do terreno e a distância horizontal que os separa. A declividade foi determinada de maneira automática, por meio da função “declive”, nativo do software QGIS no painel “Raster” na opção “Análise”.

Comprimento do canal principal (L): É o comprimento entre a nascente e o exutório do rio principal. Para o município, objeto do estudo, o comprimento do rio principal foi obtido, em km, de forma automática através da função \$length da “calculadora de campo”.

Comprimento total da rede hidrográfica (Lt): É o somatório de todos os cursos d’água dentro do município. Determinado de forma automática, em km, pelas respectivas funções: \$length e sum, encontradas na “calculadora de campo”.

Número de segmentos de rio (Nt): É o número de canais de drenagem presentes no município.

Densidade de drenagem (Dd): Parâmetro que correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área do município. Foi obtida conforme a Equação 1 e dada em km/km².

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad \text{Equação 1}$$

Densidade Hidrográfica (Dh): Relação entre o número de segmentos de canais de drenagem e a área do município (Equação 2).

$$Dh = \frac{Nt}{A} \quad \text{Equação 2}$$

Tempo de Concentração (Tc): É o tempo, geralmente obtido em horas, que a água leva do ponto mais distante até o exultório do município, o qual pode ser determinado pela Equação 3.

$$Tc = 85,2 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,358} \quad \text{Equação 3}$$

Altitudes máxima (Hmáx) e mínima (Hmín): Cotas altimétricas, respectivamente, de maior e menor valor de elevação. Dada em metros e oriundas do MDE da região.

Amplitude altimétrica (ΔH): Diferença entre as altitudes máxima e mínima do município (Equação 4).

$$\Delta H = Hmáx - Hmín \quad \text{Equação 4}$$

Índice de rugosidade (Ir): Relação entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem, determinada pelo modelo apresentado na Equação 5.

$$Ir = \Delta H \times Dd \quad \text{Equação 5}$$

Por fim, a partir da aplicação dos modelos matemáticos, foi possível realizar uma classificação dos parâmetros morfométricos determinados, segundo relação descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de referência para classificação dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro	Intervalo	Und	Descrição
Densidade de Drenagem (Dd)	< 0,50	Km/ Km ²	Município com drenagem pobre.
	0,50 -1,50		Município com drenagem regular.
	1,51 -2,50		Município com drenagem boa.
	2,51 -3,50		Município com drenagem muito boa.
	> 3,50		Município excepcionalmente bem drenado.
Índice de Rugosidade (Ir)	< 150,00	-	Fraca.
	150,00 -550,00		Média.
	551,00 -950,00		Forte.
	> 950,00		Muito Forte.

Fonte: PESSOA NETO, 2023

4.5 Trabalho de Campo

Além dos dados extraídos dos produtos de geotecnologias, também foram utilizadas as informações obtidas por meio de registros feitos em trabalhos de campo realizados no período de 28 a 29 de fevereiro de 2024. Esses dados obtidos em campo incluíram observações e

registros fotográficos das feições do relevo visando validar interpretações das estruturas sugeridas nos produtos de sensoriamento remoto.

Para os registros fotográficos em campo, foi utilizado um Iphone 14 Pro Max juntamente com o aplicativo GPS Câmera 55. Foto Geo., um aplicativo pago que obtém fotografias com coordenadas GPS. A seleção das coordenadas GPS foi cuidadosamente realizada visando garantir acesso viável a locais relevantes e, ao mesmo tempo, otimizar a proximidade geográfica com o Açude Sabugi.

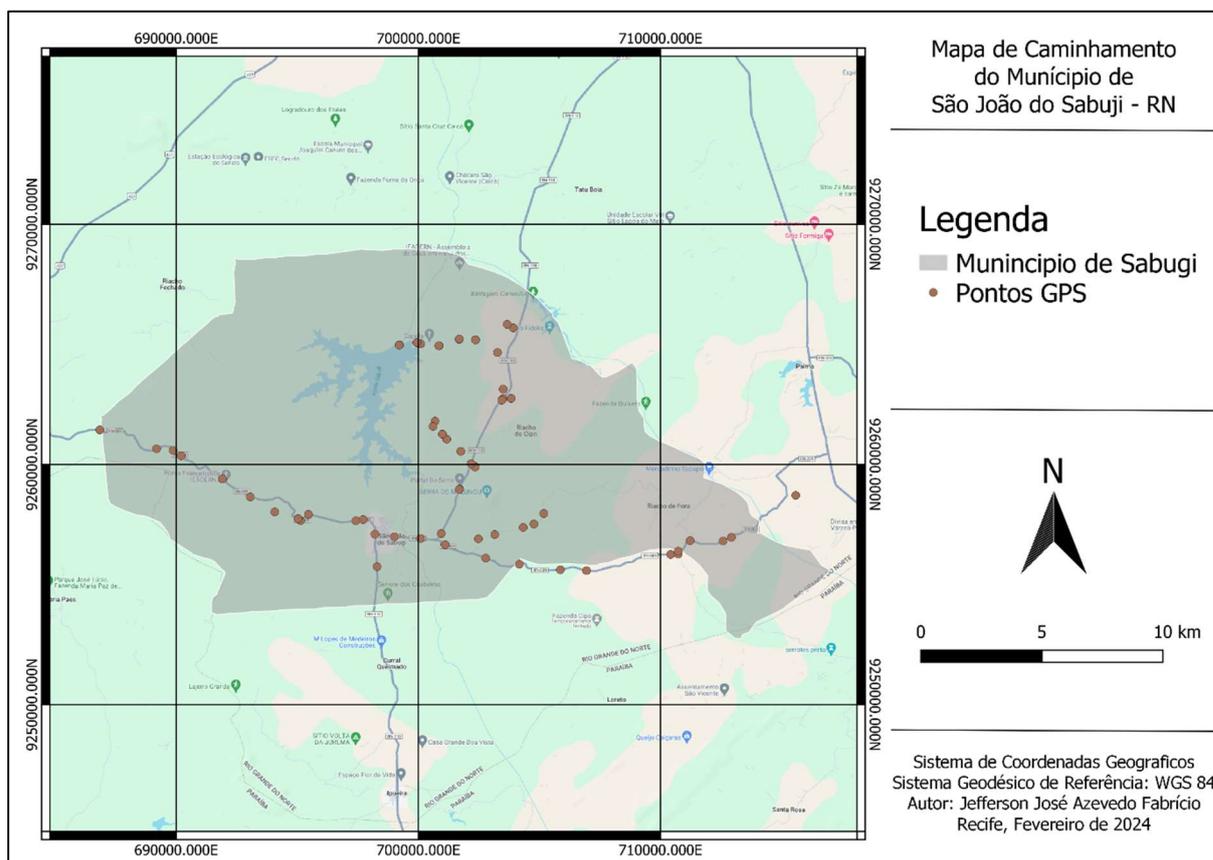
5. Resultados e Discussão

5.1 Trabalho de Campo

Durante a fase de trabalho de campo, foram adotadas diversas abordagens para a coleta de dados, visando a obtenção de informações abrangentes e representativas da área de estudo. A coleta de dados incluiu

a utilização de receptores GPS. Para registrar as coordenadas geográficas de pontos estratégicos dentro do município, proporcionando uma base espacial precisa. Essas coordenadas possibilitaram antes de tudo o mapa de caminhamento da área de estudo (Figura 5), estabelecendo uma base de dados confiáveis para os demais levantamentos do trabalho aprimorando assim as análises.

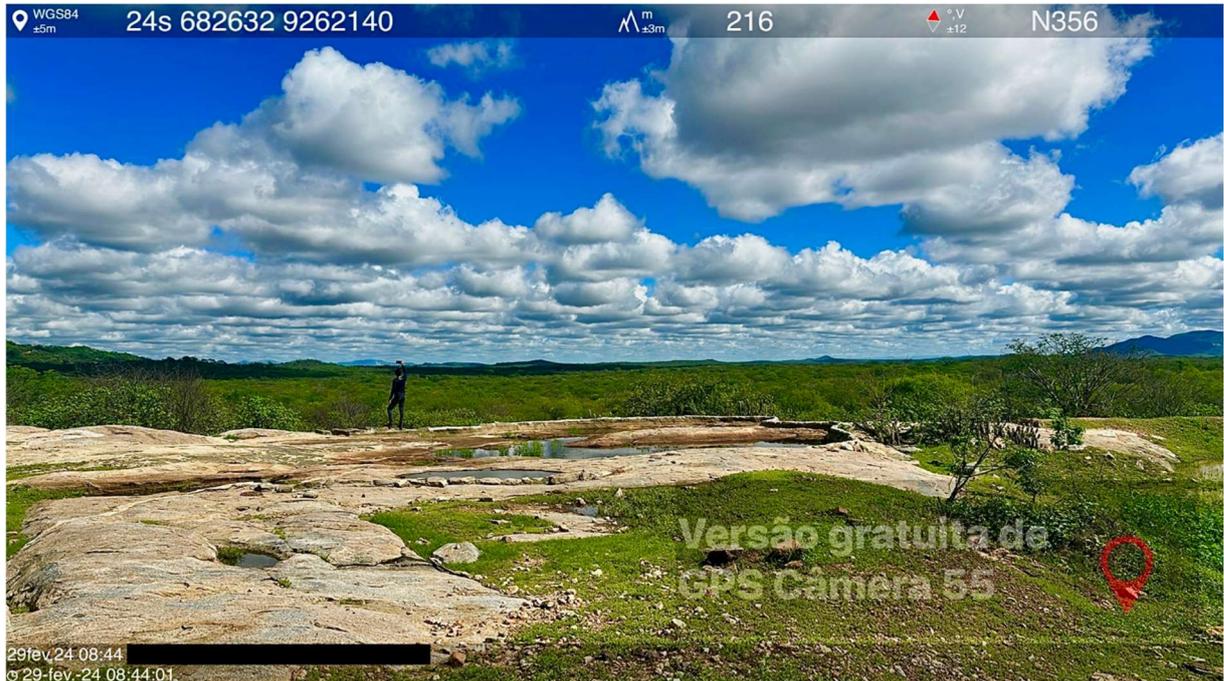
Figura 5 – Mapa de caminhamento do município de São João do Sabugi - RN.



Fonte: O autor, 2024

Fotografias e registros visuais foram capturados para documentar o terreno e o relevo da área de estudo. Essas imagens fornecem insights detalhados (Figura 6) sobre as características morfológicas do município.

Figura 6 – Vista panorâmica do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

Nas Figura 7 A, B e C observa-se o uso e ocupação do solo no município. A identificação e classificação de diferentes tipos de cobertura vegetal e uso da terra como, sistema de cultivos, áreas cercadas com moradias, plantio de Palmas (*Opuntia ficus indica*) para alimentação de gado.

Figura 7 – Fotografia do Uso e Ocupação do município de São João do Sabugi – RN.

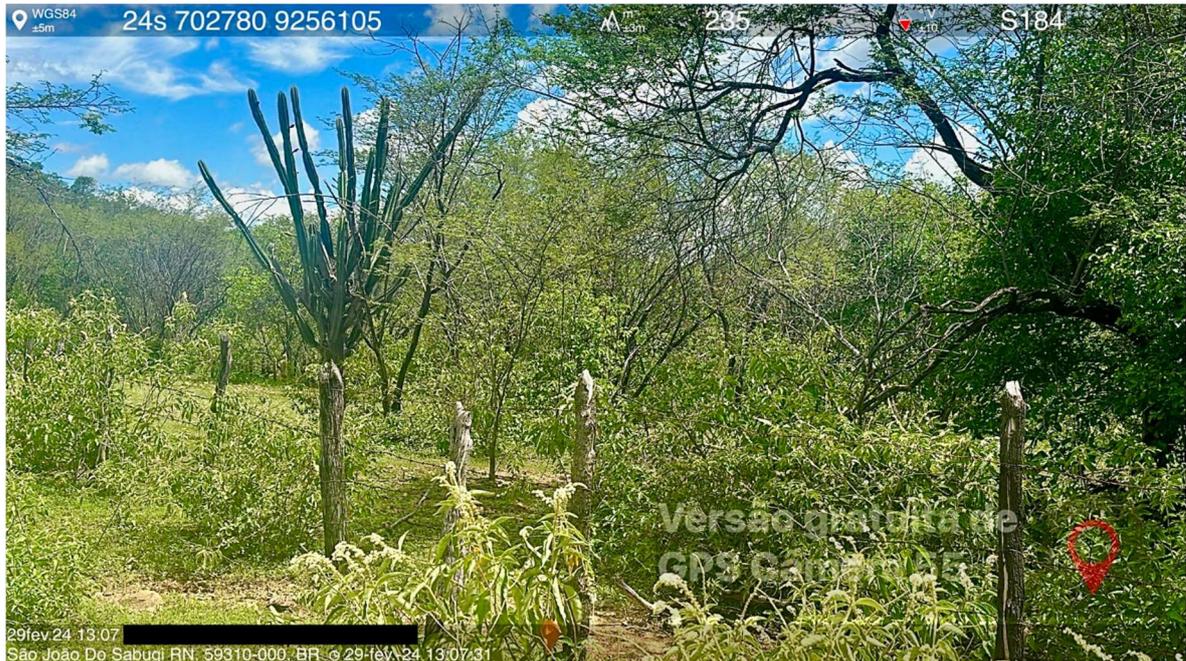


A) Sistema de cultivos B) Áreas cercadas com moradias. C) Plantio de Palmas (*Opuntia ficus indica*). Fonte: O autor, 2024.

A não utilização de medida conservacionista é uma prática muito comum na região, demonstrando a falta de orientação e conscientização dos agricultores quanto ao uso e conservação das terras. A carência de conhecimentos apropriados, aliada ao uso inadequado dos fatores produtivos e ao desconhecimento do funcionamento integrado do meio ambiente, tem sido um dos agravantes da degradação e da perda do potencial produtivo das terras (DUARTE, 2008).

Identificou-se que as vegetações predominantes no município de São João do Sabugi - RN são vegetações herbáceas, arbustivas (Figura 8). Essas classes de vegetação predominam em áreas onde as características do relevo que não apresentando altas declividades. Essa característica favorece também a ocupação humana. Além disso, foi encontrada vegetação arbórea no município.

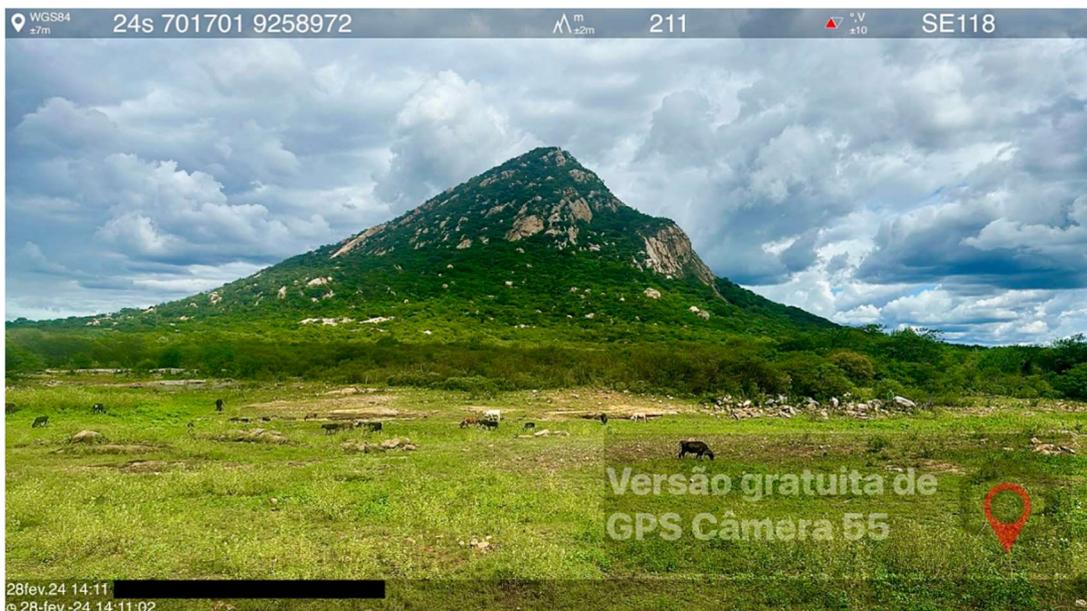
Figura 8 – Vegetação do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

Em campo, foram registradas as altitudes em diferentes pontos da área de estudo. Esses dados altimétricos são essenciais para a modelagem do relevo. A altitude variou de 158 a 544 metros (Figura 16). Na Figura 9 observa-se uma formação rochosa de maior altitude encontrada no município de São João do Sabugi - RN, totalizando seus 544 metros.

Figura 9 – Fotografia de altitude do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

Durante a pesquisa de campo, foi possível observar a rede de drenagem do município. Em um momento inesperado, uma forte chuva proporcionou uma oportunidade para observar mais de perto a rede de drenagem em ação (Figuras 10 A e B). A Figura 10C expressa o momento após a chuva cessar onde a água está sendo escoada pela rede de drenagem, mostrando a eficiência desta.

Figura 10 – Fotografia Rede de Drenagem do município de São João do Sabugi – RN.



A) Formação de nuvens densas B) Momento da precipitação. C) Escoamento da água pela rede de drenagem. Fonte: O autor, 2024.

Observou-se também construções de sangradores (Figuras 11 A e B). O sangrador de um município refere-se ao local onde a água excede a capacidade de retenção da local e começa a escoar para fora dele. A identificação da localização e do padrão de um sangrador do município é fundamental para entender seu comportamento hidrológico, prever inundações, planejar o uso da terra e gerenciar os recursos hídricos de forma sustentável.

Figura 11 – Sangrador.



A) Sangrador I B) Sangrador II. Fonte: O autor, 2024.

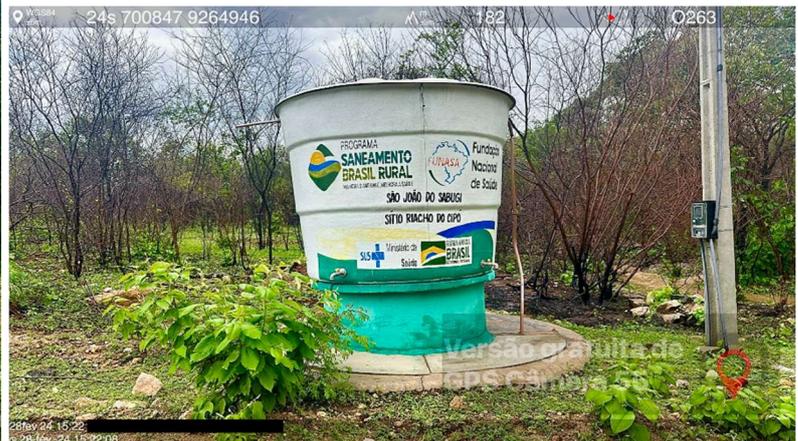
No percurso, foi encontrada uma caixa d'água do Programa de Saneamento Brasil Rural, em parceria com a FUNASA (Figura 13). Esse reservatório serve para armazenar água tratada ou coletada de fontes locais, garantindo um suprimento contínuo e acessível de água para consumo humano e outras necessidades domésticas, serve como um importante meio para garantir o acesso à água potável em comunidades rurais, promovendo a saúde, o bem-estar e o desenvolvimento sustentável nessas áreas.

Foram observados alguns Cata-ventos d'Água (Figura 12), utilizado no bombeamento de água, esse tipo de equipamento é comumente utilizado em áreas rurais ou em locais onde o acesso à eletricidade é limitado. O equipamento é um dispositivo mecânico movido pela força do vento que é usado para bombear água de um poço ou reservatório para superfície.

Figura 12 – Fotografia de Catavento d’água. **Figura 13** – Fotografia de Reservatório d’água.



Fonte: O autor, 2024



Fonte: O autor, 2024

O Açude Sabugi (Figura 14 e 15) é alimentado pelo Rio Sabugi. O Açude do Rio Sabugi ocupa uma área de 1.260 hectares, com capacidade para 65.335.000 litros (DNOCS, 2024). É fundamental para a disponibilidade hídrica do local.

Figura 14 – Fotografia em cima da Barragem do Rio Sabugi com visão ao Açude.



Fonte: O autor, 2024

Figura 15 – Fotografia em cima da Barragem do Rio Sabugi com visão ao Rio Sabugi.



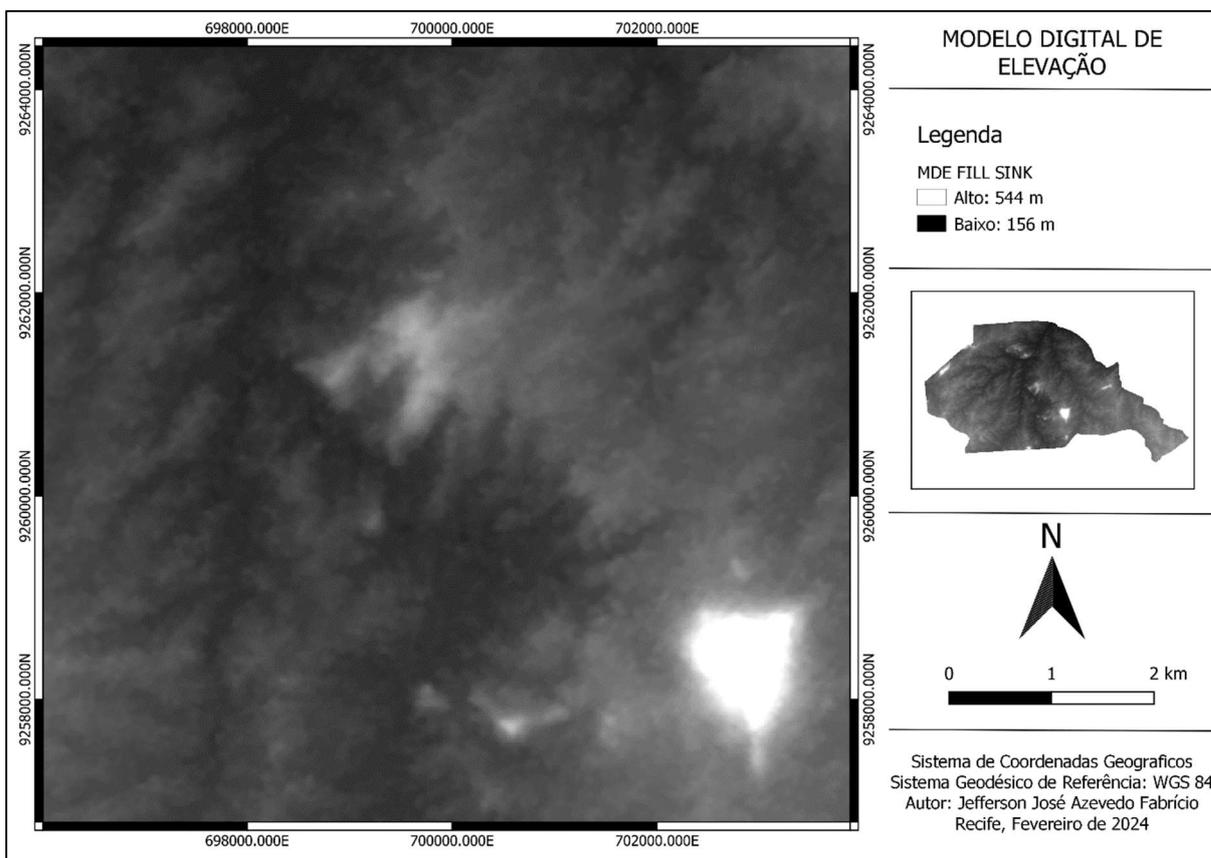
Fonte: O autor, 2024

5.2 Caracterização Morfométrica

5.2.1 Preenchimento de depressões (“fill sinks”)

"Fill Sinks" aplicado em um Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma fundamental em muitas análises espaciais e morfométricas, pois garante a precisão dos resultados e a criar uma representação mais precisa e útil do terreno. Embora a mudança não seja visualmente perceptível no mapa (Figura 16), mas no processamento de dados pode fazer muita diferença.

Figura 16 – Mapa do MDE obtido do tratamento de dados SRTM.

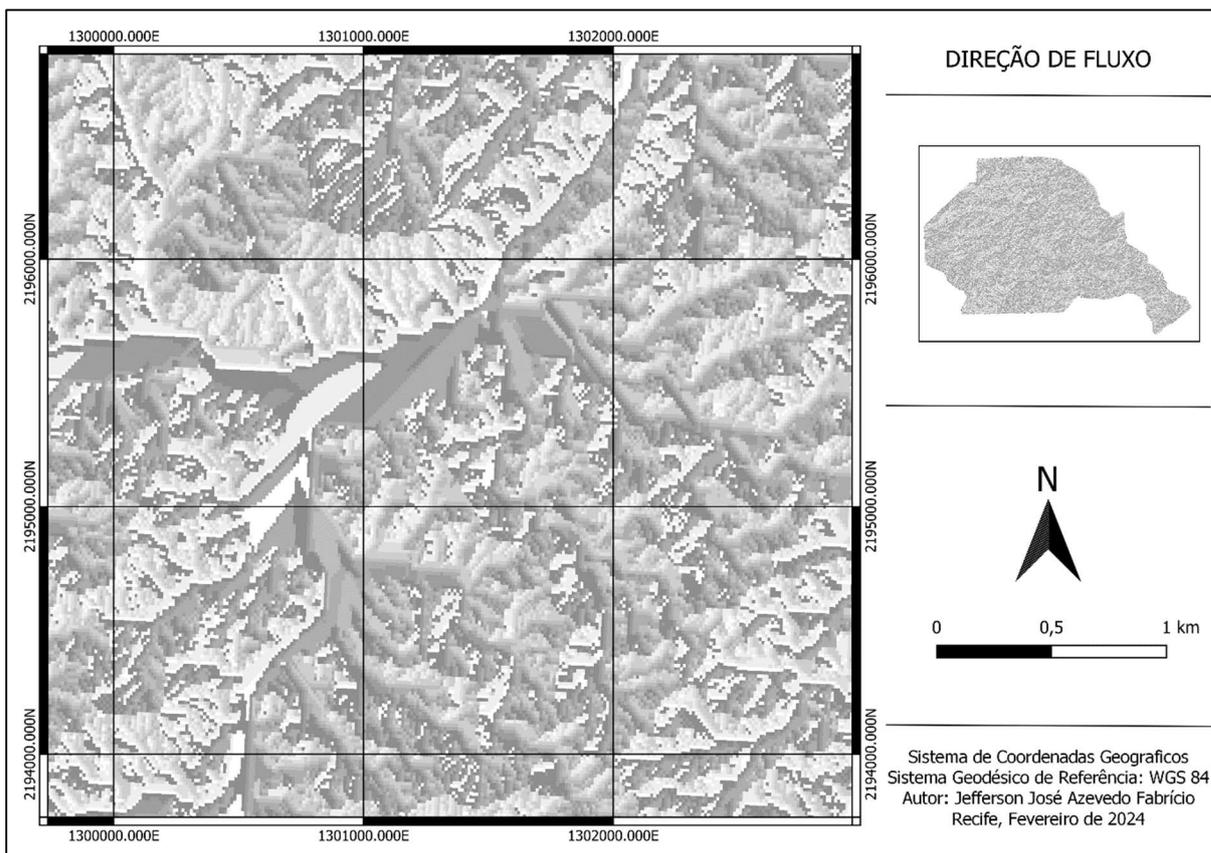


Fonte: O autor, 2024

5.2.2 Direção de fluxo

A execução da função “Flow Direction” com o MDE já corrigido na etapa anterior fornece o mapa de direção de fluxo apresentado na Figura 17, que possibilita a observação da direção do escoamento de água nas vertentes, além da visualização do relevo.

Figura 17 – Mapa de Direção de Fluxo.

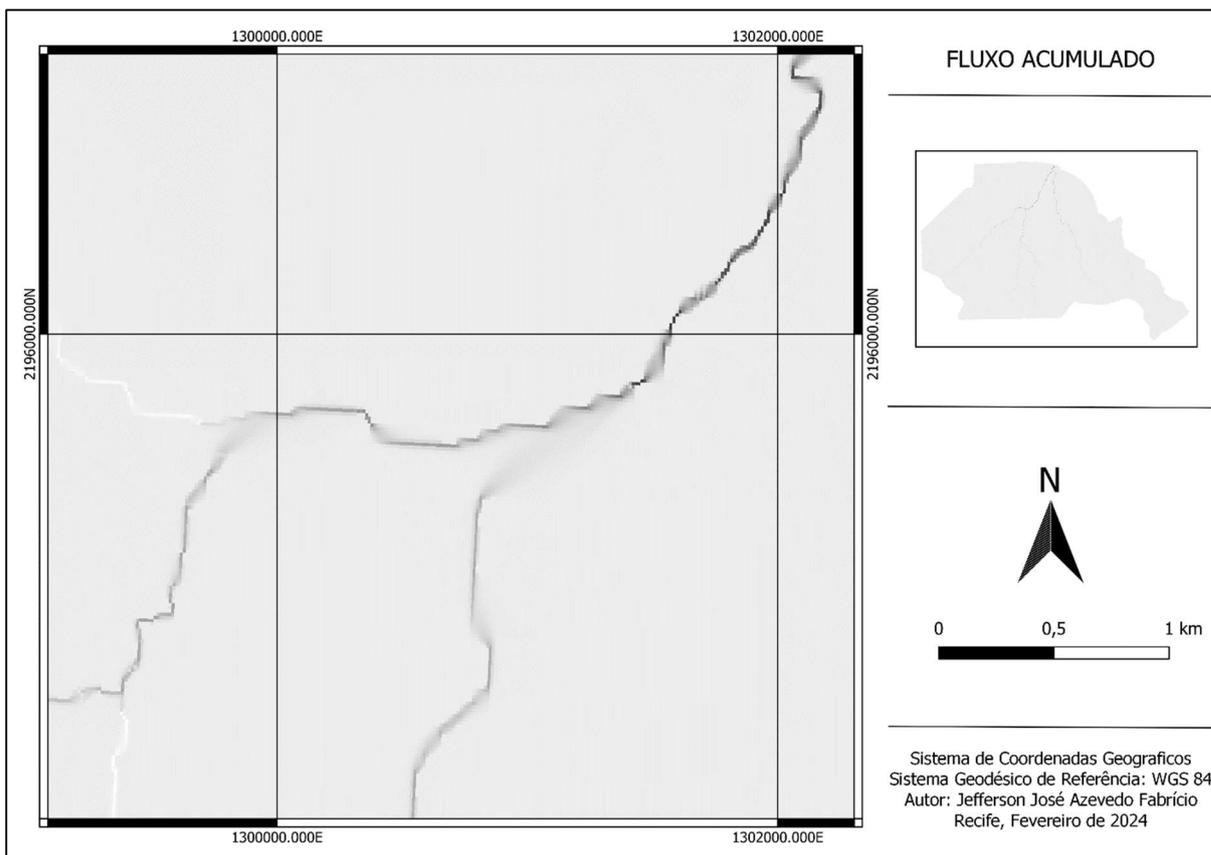


Fonte: O autor, 2024

5.2.3 Fluxo acumulado

O Fluxo Acumulado (Figura 18) é uma medida importante para entender a distribuição e o comportamento do escoamento superficial dentro do município, podendo ser usado para identificar áreas de concentração de escoamento e determinar locais sujeitos a inundações.

Figura 18 – Mapa de Fluxo Acumulado.



Fonte: O autor, 2024

5.2.4 Caracterização Morfométrica

O valor da área do município foi gerado corresponde à quantidade de células que são processadas. Como cada célula do MDE obtido do Alos possui “pixels” de 12,5 m, a área de cada “pixel” é equivalente a 156,25 m². O município contém 285,98840 Km².

Os valores dos parâmetros relativos à caracterização morfométrica do município de São João do Sabugi - RN estão apresentados na Tabela 2. Todos os dados foram calculados pelo software QGIS (versão 3.16.14).

Tabela 2 – Características morfométricas do município de São João do Sabugi – RN.

Características	Valor
Área do Município (A)	285,98840 Km ²
Perímetro do Município (P)	83,2428 Km
Altitude Min (Hmín)	156,00 m
Altitude Max (Hmáx)	544,00 m
Amplitude Altimetria (ΔH)	388,00 m
Comprimento Canal Principal (L)	20,786 Km
Comprimento Total da Rede Hidrográfica (Lt)	742,29 Km
Quantidade de Canais (Nt)	8531
Densidade de Drenagem (Dd)	2,595
Índice de Rugosidade (Ir)	168,67
Densidade Hidrográfica (Dh)	29,83
Tempo de Concentração (Tc)	403,171 minutos

A densidade hidrográfica (Dh) é superior à normalidade dando uma média de 29 canais por km². A densidade hidrográfica (Dh) acima de 15 canais por km² é considerada uma densidade muito alta, ou seja, o município tem grande capacidade de gerar novos cursos d'água.

A densidade de drenagem (Dd) do município corresponde a 2,595, de acordo com a Tabela 1 a densidade de drenagem (Dd) no intervalo de 2,51 a 3,50 o município São João de Sabugi - RN é categorizado como um município com drenagem muito boa.

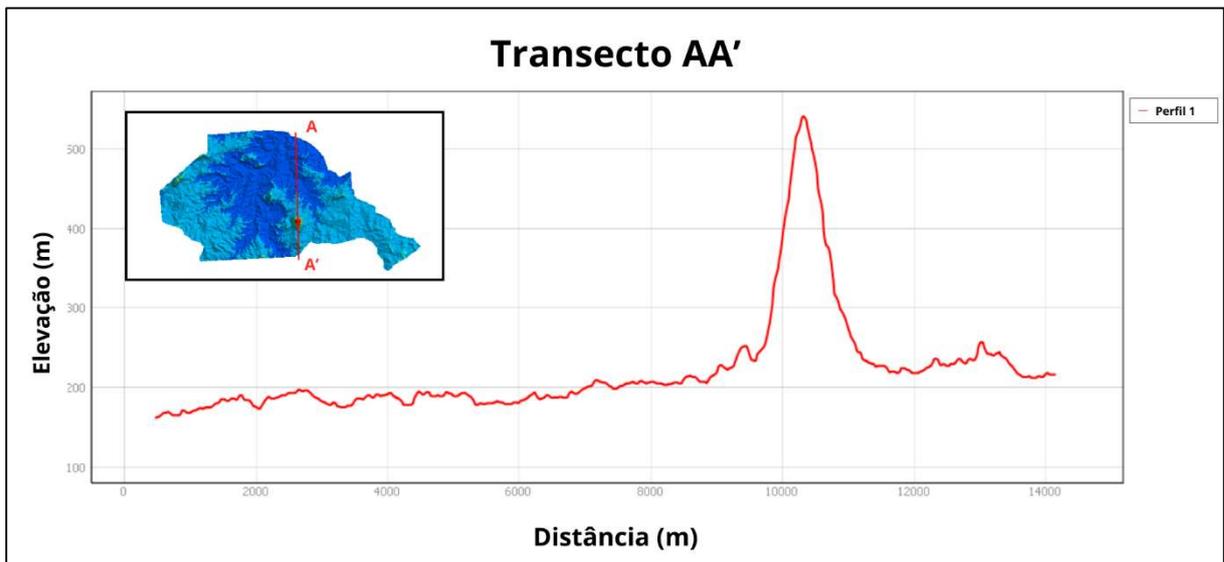
O índice de rugosidade (Ir) aponta a relação entre a declividade e o comprimento dos canais. Assim, quanto maior o Ir mais declivoso e dissecado é o relevo, ou seja, mais entalhado é o formato dos canais de escoamento. O índice de rugosidade (Ir) do município deu o valor de 168,67. De acordo com a Tabela 1, valores entre 150,00 e 550,00 o índice de rugosidade é

considerado médio. O índice de rugosidade (I_r) revela que tanto a densidade de drenagem quanto a amplitude altimétrica do município são baixas, o que significa que as vertentes, possuem uma declividade baixa e uma rede de drenagem mais densa;

Em um corte transecto no município, a seção do corte AA' representa a variação de elevação na direção de norte a sul, onde pode-se observar a amplitude altimétrica em seu relevo que varia de 170 até 544 metros, sendo face sul da região a de maior altitude (Figura 19). A seção BB' representa a variação de elevação no sentido oeste para leste, onde pode-se observar que a amplitude varia de 180 a 544 metros (Figura 20).

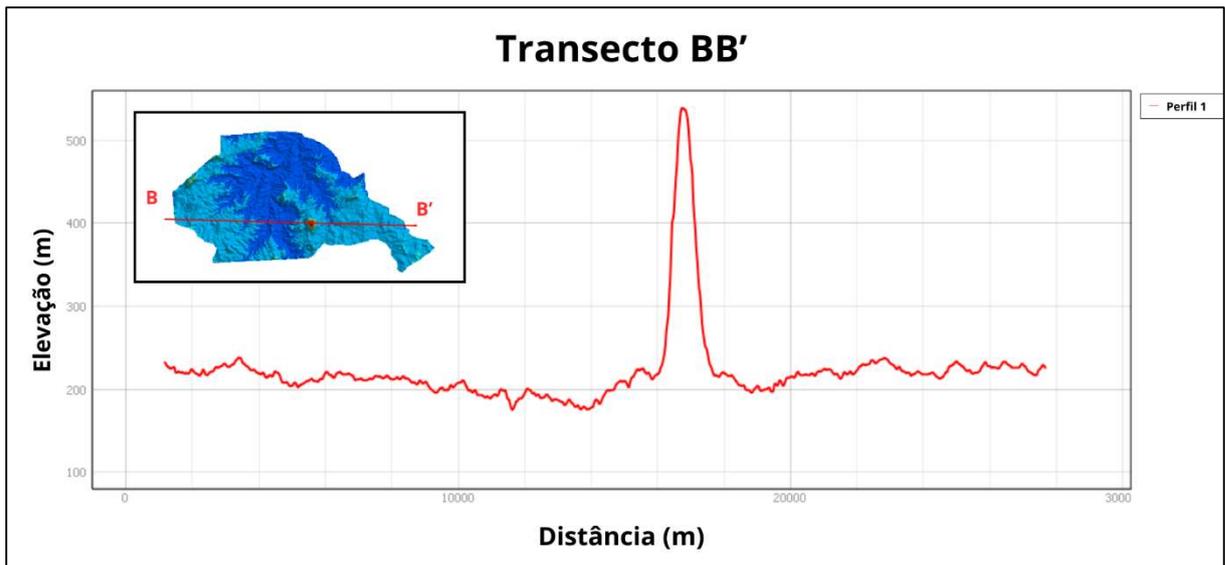
Observa-se que de modo geral, que o relevo do município é plano (Figura 21), só ocorrendo grandes variações altimétricas por conta do pico encontrado ao centro do município.

Figura 19 – Transecto AA' do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

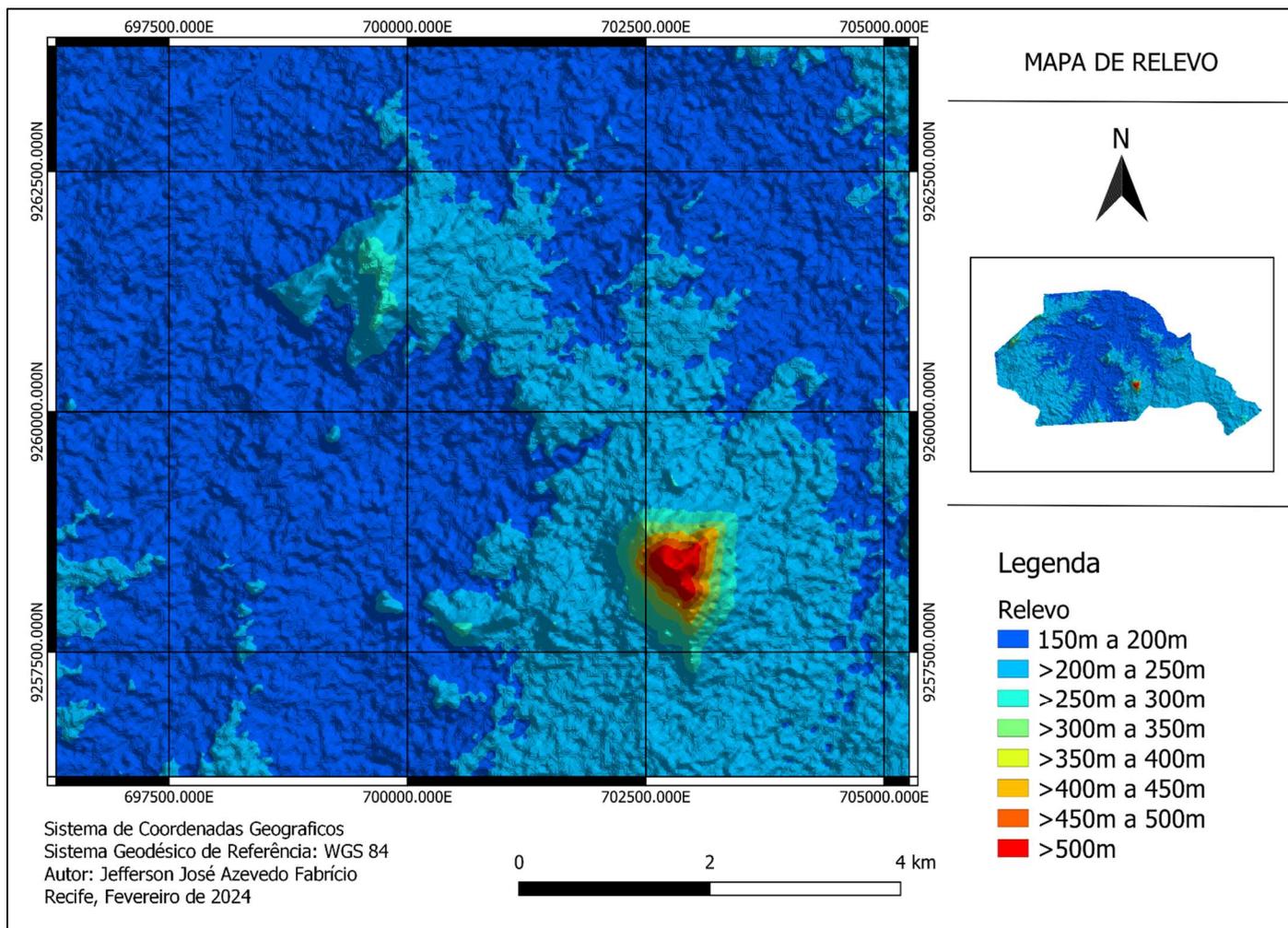
Figura 20 – Transecto BB' do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

Em um corte transecto no município, a seção do corte BB' representa a variação de elevação na direção de oeste a leste, onde observa-se que a superfície do município é predominantemente suave ondulado, em campo o maior pico altimétrico capturado por coordenadas GPS foi de 253 metros localizados ao sudeste do município. As demais capturas altimétricas não houve altas variações. Vale salientar que o pico de altitude de 544 metros expresso no mapa de relevo (Figura 21) corrobora com o registro fotográfico em campo (Figura 11), validando assim o trabalho de campo.

Figura 21 – Mapa de Relevo do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

A declividade do município de São João do Sabugi - RN (Figura 23) predomina entre ondulado e forte ondulado, com base na classificação de relevo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006) onde o município tem a maior porção da sua área classificada (Tabela 3). A máxima declividade encontrada foi superior a 75% que corresponde a um terreno escarpado que é representado pelo pico altimétrico e por outros poucos lugares.

Tabela 3 – Classes de Declividade do Município de São João do Sabugi - RN.

Área (km ²)	Área (%)	Classificação Embrapa (2006)
33,74	11,86	Plano 0 a 3%
21,41	7,73	Suave ondulado 3 a 8%
144,18	50,50	Ondulado 8 a 20%
77,45	27,23	Forte ondulado 20 a 45%
6,45	2,27	Montanhoso 45 a 75%
0,96	0,41	Escarpado > 75%

Fonte: O autor, 2024

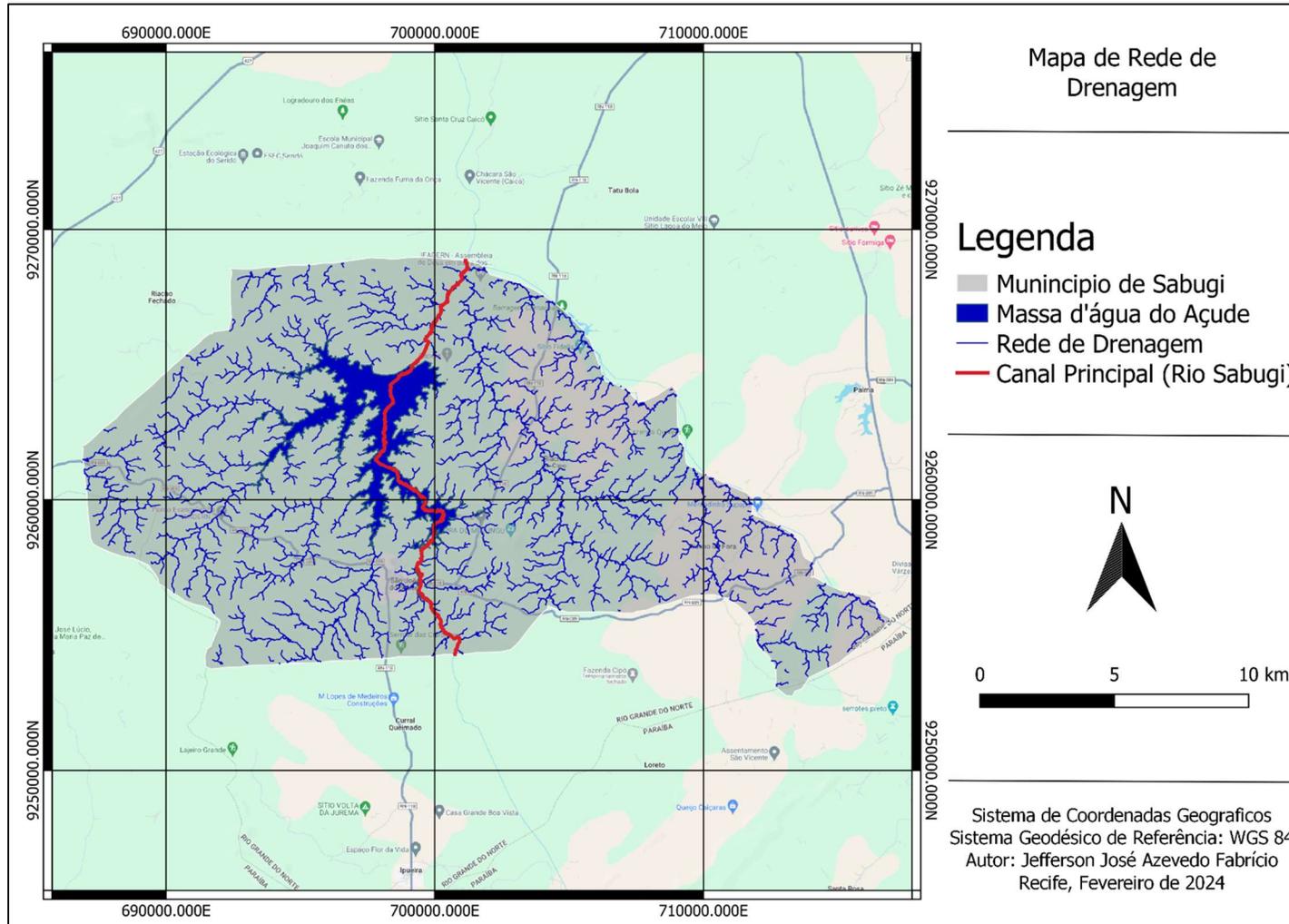
A hipsometria juntamente com a declividade são parâmetros importantíssimos em maior parte da área de estudo, principalmente quando se quer abordar a caracterização geográfica da superfície. O mapa hipsométrico do município contendo curvas de nível de 30 metros, demonstrou uma variação altimétrica de 158 a 544 metros, com aproximadamente 80 % da área variando entre 150 e 250 metros. (Figura 24).

Ao analisar simultaneamente os mapas de hipsometria e declividade (Figura 24 e 23 respectivamente), pode-se perceber que o relevo do município corrobora com uma superfície predominantemente variando de plano a forte onduladas (Figura 21).

A rede de drenagem (Figura 22) mostra de forma visual como se comporta o fluxo de escoamento da água, a massa de água do Açude Sabugi e o canal principal (Rio Sabugi) encontrados no município.

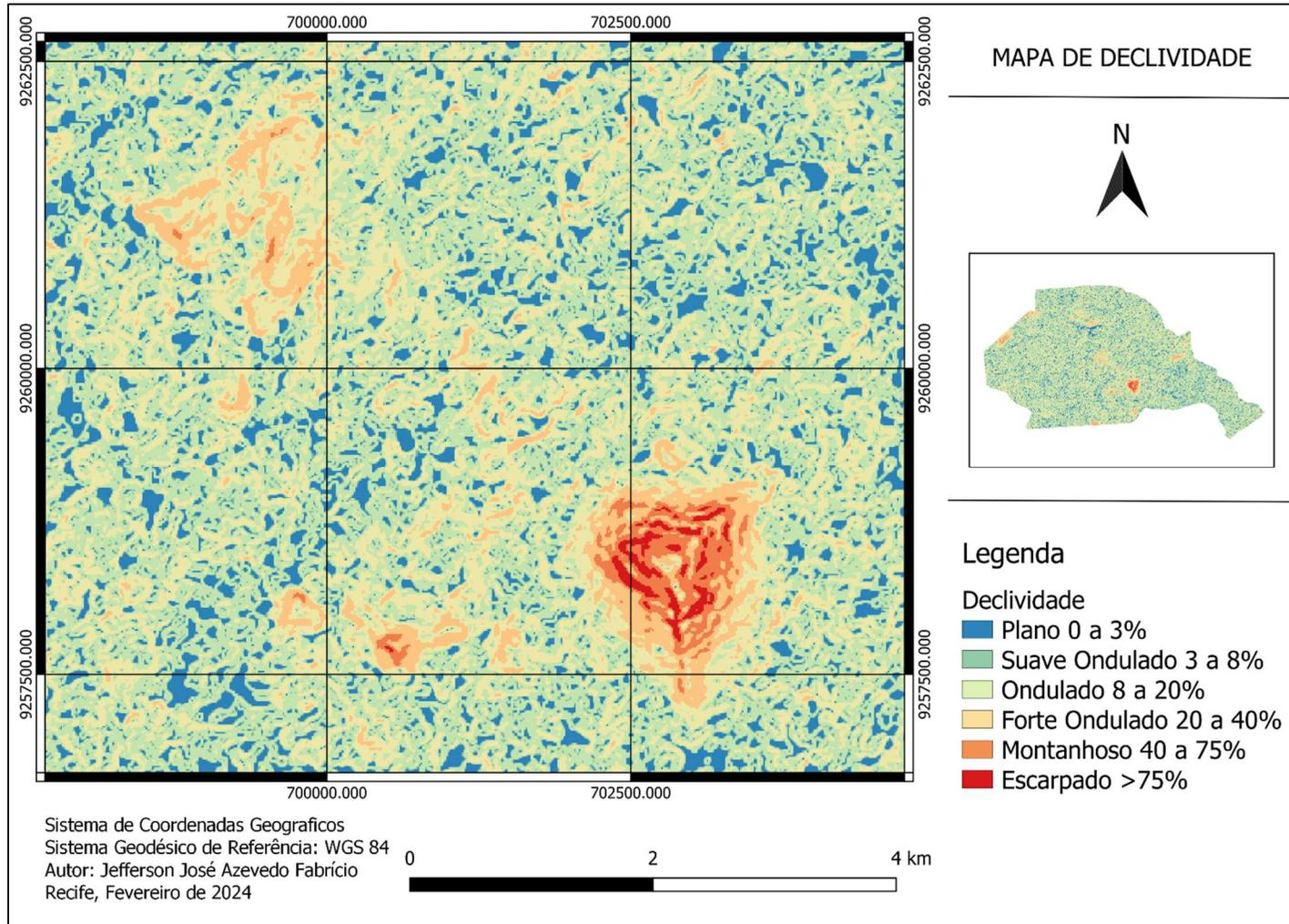
O mapa hipsométrico (Figura 24) do município de São João do Sabugi - RN contém cotas altimétricas e curvas de nível de 30 metros.

Figura 22 – Rede de Drenagem do município de São João do Sabugi – RN.



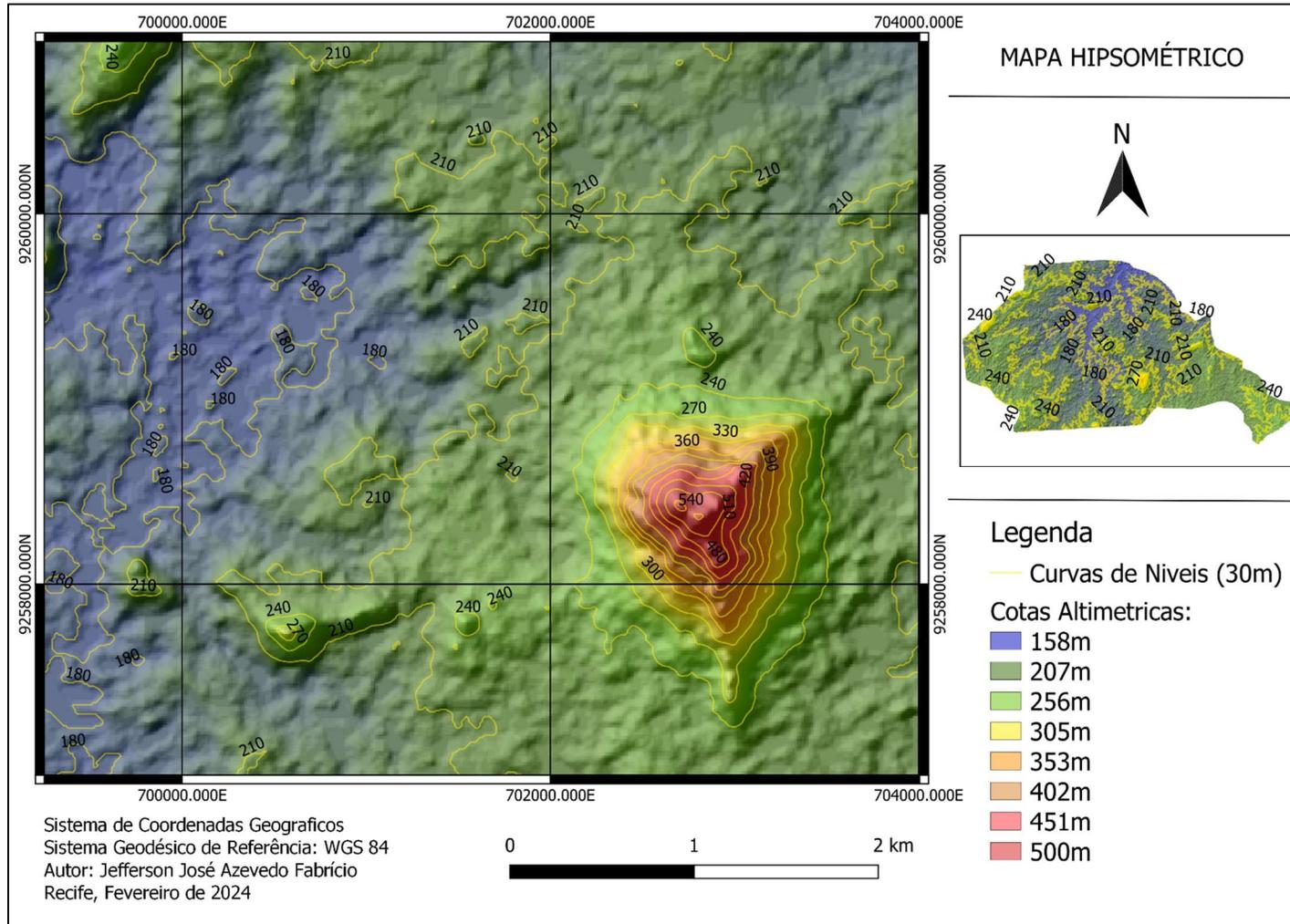
Fonte: O autor, 2024

Figura 23 – Mapa de Declividade do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

Figura 24 – Mapa de Hipsométrico do município de São João do Sabugi – RN.



Fonte: O autor, 2024

6. Conclusão

- ✓ A metodologia aplicada no município de São João do Sabugi – RN demonstrou ser adequada e de fácil utilização, podendo ser empregada em estudos em outras localidades;
- ✓ A caracterização morfométrica, por meio do processamento de dados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), oferece vantagens significativas em relação ao custo-benefício;
- ✓ A densidade hidrográfica (Dh) é muito superior à normalidade dando uma média de 29 canais por km²;
- ✓ O índice de rugosidade (Ir) revela que tanto a densidade de drenagem quanto a amplitude altimétrica do município são baixas, o que significa que as vertentes, possuem uma declividade baixa e uma rede de drenagem mais densa;
- ✓ O mapa hipsométrico do município contendo cotas altimétricas e curvas de nível de 30 metros, demonstrou uma variação altimétrica de 158 a 500 metros, com aproximadamente 80 % da área variando entre 150 a 250 metros;
- ✓ A declividade do município predomina entre ondulado e forte ondulado. A máxima declividade encontrada foi superior a 75% que corresponde a um terreno escarpado que é representado pelo pico altimétrico e por outros poucos lugares;
- ✓ No entanto, é importante ressaltar que, apesar das vantagens, a caracterização morfométrica por meio de imagens SRTM ainda requer validação e ajustes manuais em algumas situações, especialmente em áreas com características topográficas complexas ou ambientes urbanos densamente construídos;
- ✓ Também é importante atentar a resolução da imagem obtida, pois outros satélites podem ter resolução inferior, assim diminuindo a precisão dos dados.

7. Referências

ALVEZ, F. C. Análise morfoestrutural das bacias dos rios Paraíba e Mamanguape (PB) com base em MDE-SRTM e imagem PALSAR/ALOS-1. 2016. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://sid.inpe.br/mtc-m19/2015/02.26.13.32-TDI>. Acesso em: 21 fev. 2024.

ALVES SOBRINHO, Teodorico et al. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. Engenharia Agrícola, v. 30, p. 46-57, 2010.

ANA. Catálogo de Metadados da ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/531d6615-8f9f-4fea-a7bf-a3871b5d9da7>. Acesso em: 09 ago. 2024.

BARBOSA, Sylvio Elvis da Silva et al. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, p. 64-71, 2005.

CARNEIRO, C. D. Uso do sensoriamento remoto como ferramenta para estimar características dendrométricas de um povoamento de Pinus taeda L. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2015.

DA SILVA, Jonas Fernandes et al. Identificação de má formação em plantios através do processamento de imagens aéreas obtidas por VANT. 2015.

DE OLIVEIRA DIAS, Leonardo Santana et al. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. 2004.

DE OLIVEIRA, Paulo TS et al. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, p. 819-825, 2010.

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Ficha Técnica Açude Sabugi. Disponível em: https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_reservatorio.php?codigo_reservatorio=146&descricao_reservatorio=A%E7ude+Sabugi. Acesso em: 22 jul. 2024.

DUARTE, Simone Mirtes Araújo et al. O desastre da desertificação no município de Taperoá, Estado da Paraíba, Brasil. 2008.

EARTDATA da NASA. Imagem Advanced Land Observing Satellite (ALOS PALSAR) produto ALPSRP275397060. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov>. Acesso em: 08 abr. 2024.

ECO Nordeste. Desertificação avança no Semiárido como resultado da degradação do solo. 2020. Disponível em: <https://agenciaeconordeste.com.br/desertificacao-avanca-no-semiarido-como-resultado-da-degradacao-do-solo>. Acesso em: 13 nov. 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Parque Estação Biológica. Perguntas e Respostas. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-geotecnologias/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 02 abr. 2024.

FRIGERI, João Vitor. Avaliação de metodologia para inventário de uva-do-Japão (*Hovenia dulcis* Thunb.) utilizando imagens de veículos aéreos não tripulados (VANT) na UTFPR-campus Dois Vizinhos. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.

GOV.BR. Caatinga - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/ecossistemas/biomas/caatinga>. Acesso em: 24 ago. 2024.

HENTZ, M. K. Obtenção de informação dendrométrica para inventário florestal automatizado por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT). 2018. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas brasileiros. 2021. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/biomas-brasileiros>. Acesso em: 12 nov. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 14 nov. 2021.

KLIMA NATURALI. Caatinga - Flora e Fauna da Caatinga. 2022. Disponível em: <https://klimanaturali.com.br/caatinga-flora-e-fauna>. Acesso em: 28 fev. 2022.

MACHADO, Célia Cristina Clemente; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano; DE OLIVEIRA, Tiago Henrique. Análise espacial e temporal do IVAS e do albedo da superfície no município de São José do Sabugi-PB. *Geografia*, v. 36, n. 2, p. 359-369, 2011.

MARIZ, Monielle Medeiros. Do sonho à realidade: a construção do Açude Sabugi (1958-1966). 2021. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

OLIVEIRA, G. F. S. Uso de técnicas de sensoriamento remoto para estimar variáveis biofísicas em floresta tropical seca, no município de Floresta – PE. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

PEREIRA, J. A. V.; BRITO, E. F.; SOUZA, Y. G. Análise espaço-temporal do uso da superfície no Parque Nacional da Serra da Capivara/PI a partir do sensoriamento remoto. Espaço Aberto, v. 9, n. 1, p. 129-142, 2019.

PESSOA NETO, Amaury Gouveia; SILVA, Simone Rosa da; BARBOSA, Ioná Maria Beltrão Rameh. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Duas Unas, em Pernambuco. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 16, n. 6, p. 3149-3167, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3149-3167. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/258933>. Acesso em: 23 fev. 2024.

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. Edital PROBIO 02/2004. Levantamento dos remanescentes da cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, abril 2004. 14 p.

RODRIGUES, T. C. S.; VIEGAS, J. C.; FEITOSA, A. C. Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação do solo, na comunidade Negra Jmary dos Pretos, Turiaçu-Maranhão. Anais do I Encontro Ibero-Americano de Geomorfologia e VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2010.

SAMPAIO, Everardo VSB; SILVA, Grécia C. Equações para estimar a biomassa de plantas da caatinga do semiárido brasileiro. Acta Botanica Brasilica, v. 19, p. 935-943, 2005.

SHIMABUKURO, Yosio Edemir; MAEDA, Eduardo Eiji; FORMAGGIO, Antonio Roberto. Sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. Ceres, v. 56, n. 4, p. 502-516, 2015.

SILVA, E. A. Mapeamento do uso e cobertura vegetal do município de Floresta - PE. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia et al. Fotogrametria: aplicações a curta distância. In: FCT. 1999. p. 147-159.