



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB
CAMPUS VIII – PROFA. MARIA JOSÉ DA PENHA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - CEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FAGNA FERNANDES SILVA

**O MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO TOPODATA: ANÁLISE COMPARATIVA
COM O ASTER, AW3D30 E ALOS PALSAR**

ARARUNA – PB
2022

FAGNA FERNANDES SILVA

**O MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO TOPODATA: ANÁLISE COMPARATIVA
COM O ASTER, AW3D30 E ALOS PALSAR**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Geomática.

Orientadora: Profa. Esp. Karina dos Santos Fernandes de Souza

ARARUNA – PB
2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586m Silva, Fagna Fernandes.
O Modelo Digital De Elevação Topodata: Análise e Comparativa Com o Aster, Aw3d0 e Alos Palsar [manuscrito] / Fagna Fernandes Silva. - 2022.
35 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2022.

"Orientação : Profa. Esp. Karina dos Santos Fernandes de Souza , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Georreferenciamento. 2. Resolução Espacial. 3. Qgis. I.
Título

21. ed. CDD 526

FAGNA FERNANDES SILVA

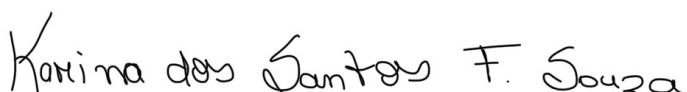
**O MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO TOPODATA: ANÁLISE COMPARATIVA
COM O ASTER, AW3D30 E ALOS PALSAR**


Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.


Área de Concentração: Geomática.

Aprovada em: 13 / 06 / 2022 .

BANCA EXAMINADORA


Profa. Esp. Karina dos Santos Fernandes de Souza (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Esp. Anderson Matheus de Sousa Lima
Universidade Federal do Pernambuco (UFPE)


Profa. Dra. Yáscara Maia Araújo de Brito
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

DEDICATÓRIA

*Dedico a minha pequena Maria Alice,
É nela que procuro a força de continuar.*

AGRADECIMENTOS

Um pouco clichê, mas primeiramente agradeço a Deus, mesmo no meio das turbulências nunca me desamparou, que em meio a tantas coisas, fatos, ficamos muito incrédulo. Eu agradeço tudo que Deus tem feito por mim e ao mesmo tempo peço desculpas por me sentir só, mesmo sabendo e demonstrando que nunca me desamparasse.

Agradeço aqueles que sempre acreditaram em mim, e os que duvidaram também. E esses que duvidaram, vocês me colocaram de looping de capacidade e que hoje vivo tratando. Mas vocês são somente a ponta dos icebergs da minha história. Mas como diz o ditado, não a males que não vem para o bem. Então sejamos gratos (risos).

Deixo aqui também registrado os meus agradecimentos os três amiguinhos que tem me ajudado bastante, trouxeram a paz que precisava (risos).

Agradeço a minha psicóloga. Então, obrigada Cinthya por ser um apoio, você quebrou as regras que existiam somente na minha mente, que no qual, uma ou duas sessões já teria falado tudo e não teria mais nada para falar, e com isso já vai se estendendo por meses e hoje não me vejo sem terapia. Meta da vida, trabalhar para pagar minhas sessões. Quero um plano vitalício, tá?

Agradeço ao Professor e diretor do Campus, Dr. João Hugo Baracuy, por todo apoio e aprendizado, que no qual, não tenho palavras para descrever o meu eterno agradecimento, foi o melhor professor que já tive e carrego esse sentimento de admiração como profissional e pessoa.

Ao Professor e coordenador, Dr. Daniel Baracuy, meus agradecimentos, pessoa essa que sempre se dispôs a ajudar e que exerce com maestria seu papel frente à coordenação.

À Karina, minha orientadora, meu muitíssimo obrigada, não consigo descrever de outra maneira, apenas agradecer.

Não podendo esquecer, isso é imprescindível. Agradeço a minha pequena Maria Alice, e é nela que busco o sentimento mais puro e verdadeiro dentro de mim.

A “o povo de casa” por ser o sinônimo de uma coisa boa para vocês, se é que posso chamar “orgulho”. As coisas mais simples têm muito significado para mim.

Aos meus caros colegas de perrengues “os chegados”. Sofremos, mas criamos vínculos que se não é para vida toda, mas fazem parte da minha história e não quero apagar. Em especial, a Celi.

Ao meu amigo Ailton, pelas conversas mais aleatórias, que transita de conversas cultas e importantes, para algo besta e bem aleatório sem filtros ou pudor qualquer (risos).

Meus agradecimentos a Rosi, pessoa sensacional, que independente de tempo o elo permanece o mesmo, nossas conversas, nossas risadas e que tenhamos muitos cafés por aí (risos).

Ao Eng. Joaldo por todo aprendizado compartilhado, experiencia essa que foi de grande valia para o meu profissional.

A minha equipe de trabalho, time MRV, entre eles, Keyth, Everson e Cleidson, vocês me motivam como profissional. Em especial a Daliana, por ter enxergado potencial em mim, e a Luiz, meu líder, que acreditou no meu potencial e sempre me motivou, e é um espelho como profissional.

Finalizando, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente cruzaram o meu caminho, ambos foram importantes em cada fase dessa minha trajetória. As amizades perdidas, as amizades fortalecidas. Tudo isso foi capaz de me fortalecer para procurar sempre o melhor e enfatizar que a pessoa mais importante para mim, era eu.

Então, meu muito obrigada!

RESUMO

A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) tem sido crucial para o desenvolvimento de estudos técnicos e científicos nas áreas ambientais, de recursos hídricos e planejamento urbano. Neste sentido, este trabalho busca analisar o MDE TOPODATA, a partir de comparações com os MDEs disponíveis gratuitamente (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - ASTER*, *ALOS Global Digital Surface Model - AW3D30* e *ALOS Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar - PALSAR*), utilizando uma ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica). O processo metodológico teve início com a caracterização da área de estudo, o município e açude Sumé, em seguida, foi realizado o procedimento de aquisição das cenas dos MDEs, nas respectivas plataformas que os dispõem, sendo elas o INPE, *EARTH DATA SEARCH*, JAXA e ASF. Em seguida, os MDES foram importados no *software* QGIS (*Geographic Information System*) para análise quantitativa, a partir da subtração de imagens para o comparativo altimétrico entre os MDEs, e qualitativa, com o MDE ALOS PALSAR. Assim, foi possível observar que as diferenças altitudinais entre os MDEs TOPODATA X ASTERJ, e TOPODATA X AW3D30. Dessa forma, verificou-se que as maiores diferenças altitudinais foram obtidas entre os MDEs TOPODATA e MDE ASTER, que apresentou distribuição espacial heterogênea em toda área de estudo. Já as diferenças entre os MDEs TOPODATA e AW3D30 foram, relativamente, homogêneas na sua distribuição espacial, realçando as localidades com cotas altimétricas maiores. Quanto a análise qualitativa, o MDE ALOS PALSAR melhor representou a variação altimétrica da área do espelho d'água do açude Sumé. Em função dos resultados, foi possível concluir que o MDE TOPODATA possui limitações na identificação de relevo, onde há poucas variações altimétricas, como também, no uso de grandes escalas, sendo a sua utilização mais recomendada para estudos com ênfase regional.

Palavras-chave: Análise Espacial. Georreferenciamento. Resolução Espacial. QGIS

ABSTRACT

The use of Digital Elevation Models (DEMs) has been crucial for the development of technical and scientific studies in the environmental, water resources and urban planning areas. In this sense, this work seeks the TOPODATA MDE, from comparisons with the freely available MDEs (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - ASTER, ALOS Global Digital Surface Model - AW3D30 and ALOS Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar - PALSAR), using a GIS (Geographic Information Tool System). The methodological process began with the characterization of the study area, with the characterization of the Sumé study area, then carried out the procedure for acquiring the MDEs scenes, on the platforms that chose them, namely INPE, EARTH DATA SEARCH, JAXA and ASF. Then, the DEMs were imported into the QGIS software (Geographic Information System) for image analysis, based on the altimetric subtraction between the DEMs, and qualitatively, with the ALOS PALSAR DEM. Thus, it was possible to observe the altitudinal differences between the DEMs TOPODATA X ASTERJ, and TOPODATA x AW3D30. Thus, the spatial data distribution is the biggest difference between the MDE and the MDE A TOP, which presented the entire heterogeneous spatial study area. On the other hand, the differences between the TOPODATA and AW3 DEMs were probably found in their spatial distribution, between the locations with higher altimetric elevations. As for the qualitative analysis, the MDE ALOS PALSAR best represents the altimetric reflection of the Sumé reservoir area. In its function of prominent studies of results, what is possible, is not possible, with the function of outstanding studies MDE TOPO, where there are also variations in the function of great relevance of results, being its use more recommended for emphasis with regional emphasis.

Keywords: Spatial Analysis. Geocooling. Spatinal Resolution. QGIS.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão da área de Estudo.	13
Figura 2 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.	15
Figura 3 - Funcionamento do GPS.	16
Figura 4 - Interface do Software QGIS 3.22 Bialowieza.	17
Figura 5 - Fluxograma da metodologia.	22
Figura 6 - Mapa de localização do município de Sumé – PB.	23
Figura 7 - Imagem obtida da subtração dos MDEs TOPODATA e ASTER.	26
Figura 8 - Imagem obtida da subtração dos MDEs TOPODATA e AW3D30.	27
Figura 9 - Distribuição das diferenças altitudinais entre MDEs	28
Figura 10 - Comparação entre os resultados dos MDEs para o açude Sumé.	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Águas
ALOS	<i>Advance Land Observing Model</i>
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection</i>
AW3D30	<i>Global Digital Surface Model 30 m</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CD	Cartografia Digital
EUA	Estados Unidos da América
GDEM	<i>Global Digital Elevation Model</i>
GNU	Licença Pública Geral
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
METI	Ministério do Comércio Internacional e Indústria do Japão
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NAVSTAR	<i>Navigation System with time and Ranging</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
Osgeo	<i>Open Source Geospatial Foundation</i>
PALSAR	<i>Phased Array type L – band Synthetic Aperture Radar</i>
QGIS	<i>Geographic Information System</i>
REM	Radiação Eletromagnética
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Geotecnologia	13
3.2 Cartografia Digital.....	14
3.3 Sensoriamento Remoto.....	14
3.4 Sistema de Posicionamento Global.....	15
3.5 Sistema de Informação Geográfica	16
3.5.1 Geographic Information System (QGIS)	17
3.6 Modelos Digitais de Elevação	18
3.6.1 Modelo TOPODATA	19
3.6.2 Modelo ASTER.....	20
3.6.3 Modelo ALOS WORLD 3D.....	20
3.6.4 Modelo ALOS PALSAR	20
4 METODOLOGIA	22
4.1 Caracterização da Pesquisa.....	22
4.2 Caracterização da área de estudo	23
4.3 Levantamento de Dados	24
4.3.1 Aquisição dos MDEs.....	24
4.3.2 Modelagem no QGIS	24
4.4 Análise de dados.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
6 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o número de usuários na área das geotecnologias alavancou, entre elas cabe destacar o Sensoriamento Remoto, o Geoprocessamento e os Sistemas de Posicionamento Global (GPS). Geotecnologias essas que contribuíram para o avanço da capacidade de processamento de dados, análise e manipulação de milhares de informações (VIEL; ROSA; MENDES JUNIOR, 2020).

Dentre as mais variadas evoluções na área de Sensoriamento Remoto, destaca-se a criação de Modelos Digitais de Elevação (MDEs). De modo geral, o MDE é um produto cartográfico que contém registros altimétricos estruturados adequadamente, contendo uma imagem, cujo valor de elevação se encontra em cada pixel (VALERIANO, 2008). Para Camargo *et al.* (2009), os MDEs são fontes imprescindíveis, para adquirir conhecimento do relevo da superfície terrestre, como a declividade, exposição solar e delimitação de redes de drenagem.

Os MDEs são obtidos por sensores orbitais, a partir de métodos estereoscopia¹ orbital, por exemplo, o ASTER *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* e ALOS WORLD 3D (*ALOS Global Digital Surface Model*), e também, pelo método de interferometria¹ por radar, SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), cujo produto é o TOPODATA e ALOS PALSAR (*ALOS Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*).

No entanto, por trata-se de uma área de estudo recente e por apresentar um potencial diversos para sua aplicação em Estudo de Barragens e mapeamento de superfície, este trabalho buscou analisar o MDE (modelo digital de elevação) TOPODATA, comparando-o com os MDEs disponíveis gratuitamente (ASTER, AW3D30 e ALOS PALSAR), utilizando uma ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica), e considerando como área de estudo o município de Sumé. A escolha da área justifica-se pelo fato desta apresentar variação considerável de relevo, açude de médio porte e disponibilidade de imagens dos quatro modelos comparados.

¹Estereoscopia orbital baseia-se na comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área e que no qual consiste na extração de informações de suas imagens, adquiridas em ângulos distintos, e a interferometria por radar é técnica de imageamento ativo, em que o radar emite o sinal através de uma antena central e registra as características do retorno desse sinal através de duas antenas situadas a uma distância conhecida (LANDAU; GUIMARÃES, 2011 p. 4003).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o MDE TOPODATA, comparando-o com os MDEs disponíveis gratuitamente a partir de três fontes diferentes, utilizando uma ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica).

2.2 Objetivos específicos

- Modelar os MDEs através do *software* QGIS;
- Comparar quantitativamente o MDE TOPODATA com os MDEs ASTER E ALOS WORLD 3D;
- Comparar qualitativamente o MDE TOPODATA com e o MDE ALOS PALSAR;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta sessão encontra-se referências para embasamento desse estudo, no qual será discutido pontos a respeito do campo de atividade da geomática, abordando a geotecnologia, Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e Sistema de informação geográficas (SIGs).

3.1 Geotecnologia

A geotecnologia é a ciência responsável pelo conjunto de tecnologias aplicadas a geociências, que é o estudo geográfico. De acordo com Rosa (2013), a geotecnologia inclui a coleta, o processamento, análise e disponibilização de informações com referências geográficas, no qual se trata de uma combinação *hardware*, *software* e *peopleware*. Tal ciência é subdivida em cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e sistema de informação geográfica.

Figura 1 - Divisão da área de Estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

3.2 Cartografia Digital

A palavra cartografia tem origem na língua portuguesa, no qual indica a ideia de um traçado de mapas e cartas. Atualmente é entendido como representação geométrica plana, simplificada e convencional. Então, compreende-se cartografia como a representação geométrica de toda a superfície terrestre ou de parte desta, representações essas que é através de mapas, cartas ou plantas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2009).

Para Taylor (1991), o sistema de cartografia digital é o agrupamento de ferramentas, incluindo programas e equipamentos, instruído para armazenar e visualizar dados espaciais, com ênfase em mapas. Logo, a tecnologia associada a CD (Cartografia Digital), segue como um processo de automação de métodos que em outrora, convergia em explorações manuais. Portanto a cartografia digital, compreende-se como parte do SIG.

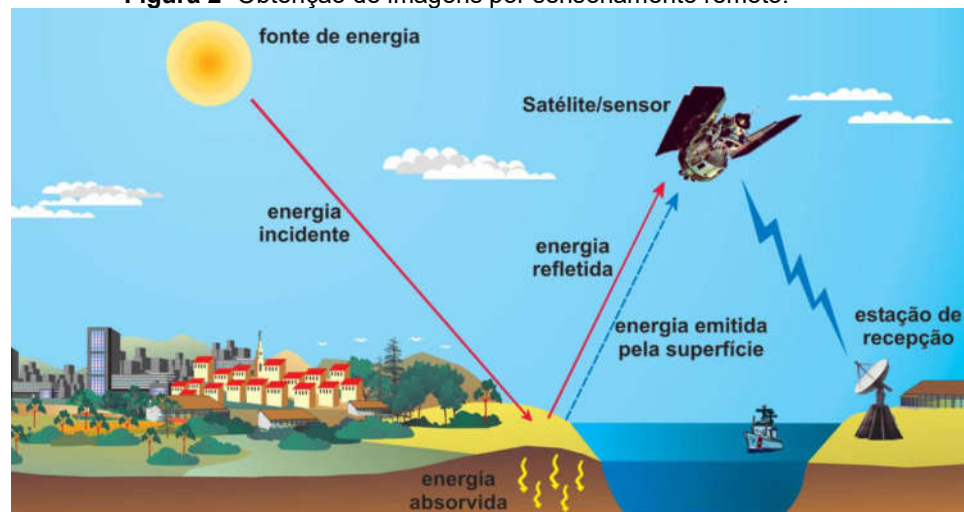
3.3 Sensoriamento Remoto

Segundo Novo e Panzoni (2001), o surgimento do sensoriamento remoto (SR) está cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. Os termos que são antecessores ao tal, intitulado sensoriamento remoto, eram chamados de fotogrametria e foteointerpretação. O seu aparecimento ficou marcado na literatura científica em 1960.

No entanto, segundo Steffen (2016), entende-se como sensoriamento remoto o mapeamento da superfície, no qual refere-se à obtenção de imagens à distância. Imagens essas que são obtidas por aparelhos denominados sensores remotos, que se encontram abordo de satélites.

Para o IBGE (2001) o sensoriamento envolve no seu processo a existência de uma fonte de emissão de Radiação Eletromagnética (REM) e a captação de parte desta energia por algum tipo de sensor. Logo, os tipos de sensores seguem os seguintes critérios de classificação: fonte de energia, que subdividirá em sensores passivo ou ativo; região espectral, podendo ser de espectro ópticos ou de micro-ondas; e sistema de captação de dados, que se classificam em sistemas fotográficos, eletro-ópticos e sistemas não-imageadores.

Figura 2- Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.



Fonte: Florezzano (2011).

Deste modo, cada sensor é responsável em fornecer um determinado nível de detalhe espacial, que será retratado como resolução espacial, e quanto menor o detalhe captado, maior sua resolução espacial.

3.4 Sistema de Posicionamento Global

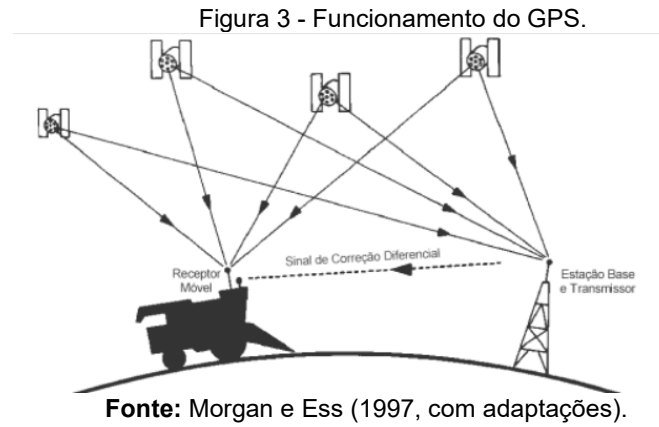
GPS ou NAVSTAR GPS (*Navigation system with time and Ranging*), consiste em um sistema de radionavegação, condicionado pelo Departamento de Defesa dos EUA (Estados Unidos da América), no início da década de 1960, contudo, foi declarado totalmente operacional apenas em 1995, denominado como GPS (CARVALHO; ARAÚJO, 2009).

Rosa (2013) descreve o GPS como ramo inovador para a cartografia e que possibilita calcular com precisão, em centímetros, a posição geodésica de um ponto ao outro sem necessitar de uma rede de representação.

Carvalho e Araújo (2009), diz que é um sistema programado para fornecer coordenadas bi ou tridimensionais de pontos do terreno, e que surgiu com objetivo de facilitar os deslocamentos das tropas, a localização e a navegação de alta precisão para transporte militar e de mísseis. Atualmente tem como objetivo auxiliar as navegações e a realização de levantamentos geodésicos e topográficos.

O seu funcionamento engloba pelos menos 4 satélites, que se subdivide nos segmentos: Estação de controle, Satélite GPS e Receptor. O seu princípio de funcionamento é condicionado em definir um sistema geodésico de referência,

denominado *Datum*, sistema esse que parte da interseção do modelo matemático (elipsoide) e modelo Físico (DOMPIERE *et al.*, 2015).



3.5 Sistema de Informação Geográfica

Compreende-se por SIG (Sistema de informações geográfica) uma tecnologia de captura, armazenamento e manipulação de dados geográficos, visando a produção de informação espacial, plataforma similar ao CAD (*Computer Aided Design*), software utilizado na engenharia, arquitetura e entre outras áreas. O Desenvolvimento do SIG ficou registrados em meados das décadas de 60 (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

O SIG é o meio de execução do geoprocessamento em hardware, por meio de software que unificam as bases geográficas aos bancos de dados, utilizando ferramentas apropriadas para análise. O funcionamento parte dos bancos de dados, sistema central do SIG, coleção de informações de diversos formatos e formas, armazenados digitalmente (SILVA, 2006).

Para Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2015, p. 32), “os SIG são uma das principais geotecnologias e é no seu ambiente que se integram os “produtos” das demais geotecnologias, como o GPS e o SR”. Atualmente, há vários softwares que dotam dessas tecnologias, entre softwares livres/gratuitos.

De modo geral, Garcia *et al.* (2010) diz que software livre é a aquele que dispõem seu código fonte para qualquer usuário adaptá-lo ou modificá-lo, já os gratuitos, não requerem pagamento para a efetuação do download, além disso, há os softwares com licença restrita, que para manuseio, deve-se ser efetuada a compra.

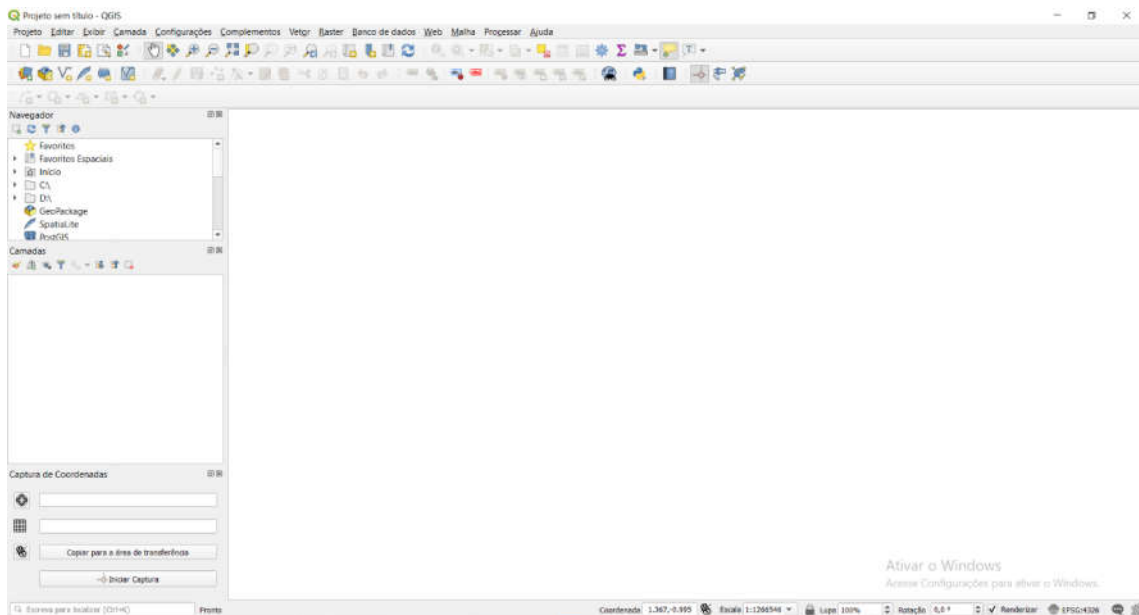
Exemplos de *softwares* que estão disponíveis para download gratuito na internet são: QGIS, gvSIG, GRASS, SPRING.

3.5.1 Geographic Information System (QGIS)

QGIS é um *software* livre e gratuito, desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e licenciado pela Licença Pública Geral (GNU), que possui uma integração perfeita de ferramentas de geoprocessamento. Escrito nas linguagens de programação CC+, Python e baseado nas bibliotecas Qt, funciona nas plataformas Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android, além de suportar diversos formatos de vetores, rasters e base de dados geoespaciais (QGIS, 2022).

Atualmente, o QGIS possui diversos voluntários, os quais contribuem no desenvolvimento de plugins, códigos, correções de bugs, documentação, promoção e apoio a outros usuários. Quanto as suas funcionalidades, o QGIS permite a visualização, edição, modelagem, análise de dados e criação de mapas para impressão (QGIS, 2022).

Figura 4 - Interface do Software QGIS 3.22 Białowieża.



Fonte: QGIS (2022).

No site oficial, estão disponíveis para *download* as versões: QGIS 3.24.1 (último lançamento, mais rico em feições) e QGIS 3.22 (longa duração, mais estável). Para o desenvolvimento da proposta deste trabalho foi utilizada a versão QGIS 3.22

de longa duração e mais estável, ou seja, uma versão que foi testada diversas vezes e possui menos probabilidade de ocorrer erros.

3.6 Modelos Digitais de Elevação

Denomina-se Modelos Digitais de Elevação (MDEs) as representações numéricas de dados geográficos que é caracterizado em formato de grades regulares e estruturadas, sendo uma particularização da área (ELMIRO, 2008).

Para Orlando e Bias (2020) o MDE pode ser também chamado MDT (Modelos Digitais de Terreno), quando representa a terra nua, ou seja, o terreno diretamente ou solo exposto, e MDS (Modelos digitais de Superfície) quando o modelo de dados relaciona todos os objetos existentes na superfície, diagnosticando-os.

Segundo Valeriano (2008), o MDE é definido como arquivos responsáveis em armazenar informações altimétricas, georreferenciadas em linhas e colunas. Registros esses que é possível representar o relevo e discriminá-los, sendo uma área de estudo em expansão.

Os dados de modelo de elevação nas últimas décadas são responsáveis por avanço significativo em diversas áreas para coletar informações de caracterização, correlacionado com o avanço tecnológico (MORREIRA, 2018).

Essas informações altimétricas são oriundas de correlações de imagens fotogramétricas, ou através de radares interferométricos, ou também, por sistema de varreduras laser, terrestres ou aerotransportados, chamada de LIDAR (*Light Detection and Ranging*) (SAMPAIO; BRANDALIZE, 2018).

No Brasil é um estudo ainda recente, mas atualmente existe um projeto que é responsável em oferecer MDE, dados esses que são elaborados a partir do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados na rede mundial de computadores. Essa iniciativa surgiu a partir de 2008 protocolada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), intitulado de Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Topodata), onde é feito um processo de refinamento (CAMANA, 2016).

O SRTM foi uma missão que teve iniciativa da NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) e NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), no qual foram coletados dados durante 11 dias no período 11 a 22 de fevereiro de 2000. O

método utilizado para coleta é conhecido como interferometria SAR, que é a combinação de duas imagens, no braço extensor de 60 metros, com resolução espacial 3" ~ 90 m (TOPODATA, 2008).

No mais, existem várias modelos de elevações de outras missões de captação de dados de origem gratuita. No Brasil o modelo disponível toma como base as imagens de captação SRTM, no qual após o processo de refinamento, a resolução espacial é aprimorada de 3", para 1". Metodologia adotada para preenchimento de falhas (TOPODATA, 2008).

A qualidade dependerá da magnitude dos erros relacionados, e sua precisão e acurácia, irá sempre ser questionada de modo que, o processo de geração dos MDE consiste em simplificações da realidade, utilizando métodos de interpolações e com isso existem diversos modelos que buscam a proximidade com a realidade (CHAGAS et al., 2009).

Portanto, outras missões existiram após o SRTM, dentre eles destaca-se a ASTER GDEM, ALOS WORLD 3D, TANDEM-X 90 E ALOS PALSAR, todos bancos de dados disponíveis gratuitamente, nos quais buscam o modelo mais ideal e representativo.

3.6.1 Modelo TOPODATA

O TOPODATA é um produto altimétrico produzido pelo INPE através do refinamento e derivação do MDE SRTM disponibilizado pela *United States Geological Survey* (USGS). O refinamento dos dados implementado no MDE TOPODATA consiste na interpolação das grades de altitude (de 90 m para 30 m) pelo método da krigagem², levando em consideração os coeficientes geoestatísticos, e a derivação consiste no cálculo de variáveis topográficas, ou geomorfométricas, as quais são: declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal, curvatura vertical e insumos para o delineamento da estrutura de drenagem (VALLERIANO; ROSSETTI; ALBUQUERQUE, 2009).

² Método da Krigagem é um método de regressão usado na geoestatística minimizar o erro de estimação, para refinamento da informação (TOPODATA,2008).

3.6.2 Modelo ASTER

O ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) GDEM (*Global Digital Elevation Model*), a bordo do satélite Terra, é um trabalho desenvolvido entre a NASA e o Ministério de Comércio Internacional e Indústria do Japão (METI), com o objetivo de produzir um MDE global a partir de pares estereoscópicos de bandas na faixa do infravermelho próximo (FRANÇA et al., 2017).

Segundo Silva e Candeias (2017), o ASTER opera com três subsistemas independentes: com *telescópio próprio* (o visível e o infravermelho) que possui 3 bandas com resolução espacial de 15 m e uma imagem extra para trás, *infravermelho médio* com 6 bandas e resolução espacial de 30 m e *banda térmica* com 5 canais e resolução espacial de 90 m. Para a América do Sul, os dados foram disponibilizados na resolução espacial de 30 m, no sistema de coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84 (LANDAU; GUIMARÃES, 2011).

3.6.3 Modelo ALOS WORLD 3D

O ALOS WORLD 3D ou AW3D30 – 30 m (*ALOS Global Digital Surface Model*), trata-se de um banco de dados, oriundos a partir de imagens, coletadas utilizando a tecnologia de instrumentos pancromático para mapeamento estéreo (PRISM), através do satélite de observação ALOS (OPEN TOPOGRAPHY, 2022).

Segundo Nikolakopoulos (2020), o conjunto de dados do ALOS WORD 3D foi disponibilizado gratuitamente ao público em espaçamento de malha de 30 m, e se estende de 82°N a 82°S, sendo a JAXA o provedor de dados e funções, reamostragem a partir da versão original de conjunto de dados do "*World 3D Topographic Data*", processada em espaçamento de malha de 5 m (versão comercializada).

3.6.4 Modelo ALOS PALSAR

O PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) a bordo do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), que foi lançado no ano 2006 pela JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) e operou até 2011, emite micro-ondas e recebe a reflexão do solo para adquirir informações, ou seja, não necessita de outras

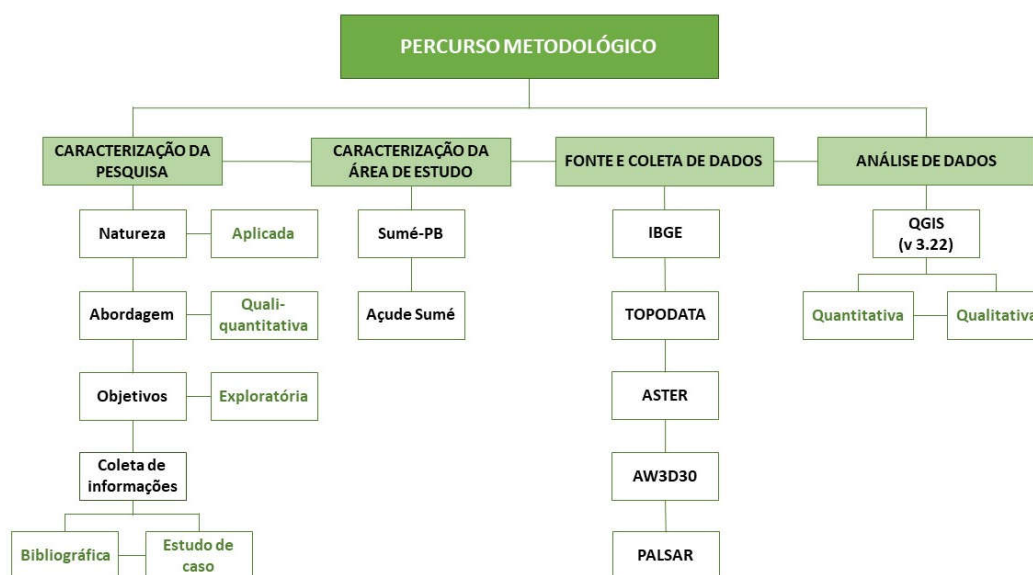
fontes de luz, como o sol, fornecendo assim, imagens de satélite independentemente do dia ou da noite (JAXA, 2022).

Segundo Bernini (2016), a frequência de transmissão e recepção de micro-ondas do PALSAR é a banda L (23,6 cm e 1,27 Ghz) que é menos afetada por nuvens e chuvas, além disso, possui multipolarização (HH, VV, HV, VH), com variação de ângulo de incidência entre 8 a 30 graus, larguras de faixas imageadas de 40 a 350 km e resoluções de alcance de 7 a 100 m, dependendo do modo de aquisição. Os dados gerados pelo PALSAR são disponibilizados gratuitamente com espaçamento entre os pixels de 12,5 a 30 m, já corrigidos e projetados no sistema UTM WGS84 (MACÊDO; SURYA, 2018).

4 METODOLOGIA

Nesta sessão será apresentado o percurso metodológico desta pesquisa, no qual será discriminada todas as etapas conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

4.1 Caracterização da Pesquisa

Nascimento (2016), determina que a pesquisa científica pode ser caracterizada de acordo com sua natureza, método ou abordagem metodológica, quantos aos objetivos e aos procedimentos técnicos. Essas determinações auxiliam no processo da pesquisa para esclarecimento e notoriedade. Neste contexto, esta pesquisa é classificada da seguinte forma:

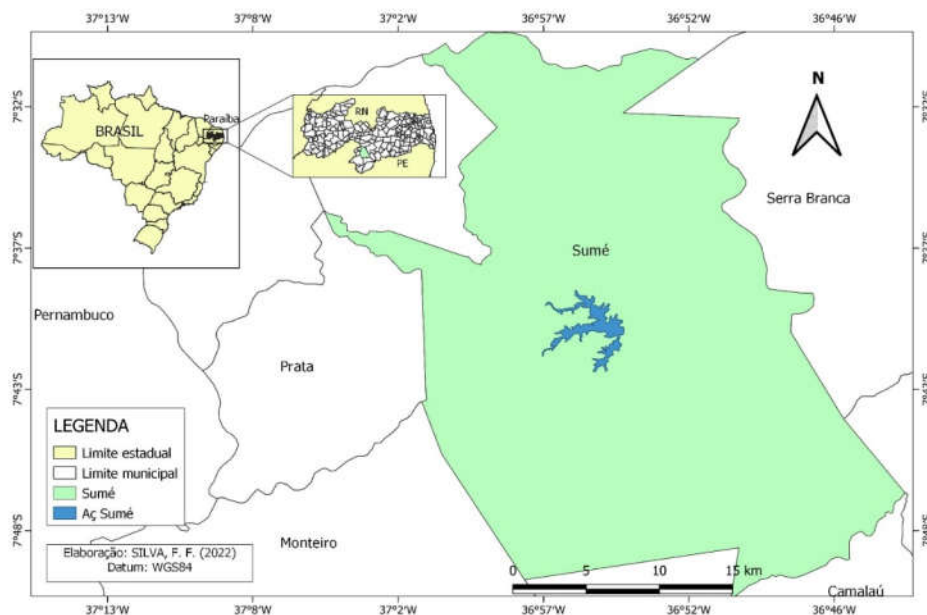
- *Natureza aplicada*: em virtude da geração de conhecimento e hipóteses para a utilização de um MDE e qual melhor se equipara para representação da superfície, possibilitando a individualização de áreas específicas;
- *Abordagem metodológica quali-quantitativa*: uma vez que se procura convergir as duas abordagens na interpretação e avaliação de dados, ou seja, enumerando e/ou medindo os eventos estudados, como também tratando as informações e os resultados de maneira qualitativa a partir de comparações visuais (SOUZA; KERBAUY, 2017).

- Objetivo: *exploratória*, tendo em vista proporcionar maior familiaridade e aprimoramento com os MDEs para a eficácia na geração de bases topográficas;
- Procedimentos técnicos: pesquisa *bibliográfica* e *estudo de caso*. *Bibliográfica*, devido a utilização de materiais já publicados (livros, artigos científicos, teses e manuais) na busca sistemática de conhecimento sobre o assunto, e *estudo de caso*, considerando a análise comparativa dos MDEs realizada no Estado da Paraíba.

4.2 Caracterização da área de estudo

O município de Sumé está localizado na Microrregião do Cariri Ocidental e Mesorregião Borborema do Estado da Paraíba. Situado no Planalto da Borborema, numa altitude média de 533 m e coordenadas geográficas de 7°40'13" S e 36°52'58" W (PREFEITURA MUNICIPAL DE SUMÉ, 2022). O município possui uma população estimada para 2021 de 17.096 habitantes, uma área de 833,315 km² e densidade demográfica de 19,16 hab/km² (IBGE, 2022). Com condições climáticas do tipo semiárido quente, a principal fonte de abastecimento hídrico do município é o açude público de Sumé (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de localização do município de Sumé – PB.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Segundo Dantas e Silva (2019, p. 89), “o açude Sumé está localizado na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, região do Cariri Paraibano, possuindo uma capacidade máxima de armazenamento de 44,8 milhões de m³ com a respectiva área de espelho d’água de 8,5 milhões de m²”. Registrado em março/2022 O volume de 11,9% do seu volume total, correspondendo a 5.353.175 m³ (AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA, 2022).

4.3 Levantamento de Dados

4.3.1 Aquisição dos MDEs

Para a realização dessa pesquisa o primeiro passo foi a obtenção das cenas dos MDES, dessa forma, inicialmente foi determinado um retângulo, através de coordenadas que abrangesse toda a área de estudo, por conseguinte, foi realizado o download das imagens no formato GeoTIFF dos seguintes MDEs:

- TOPODATA, que é um projeto de correção do SRTM (v. 3), obtido pelo INPE (2022), cena 07S375ZN com resolução raster de 30 m e *Datum* WGS84,
- ALOS WORLD 3D 30 m (v 3.2), adquirido pela plataforma JAXA (2022), cenas S008W038 e S008W039, com resolução raster de 30 m e *Datum* WGS84.
- ASTER GDEM (v 3.0), fornecido pela plataforma EARTHDATA (2022), da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com resolução raster de 30 m e *Datum* WGS84, cujas cenas foram S08W037 e S08W038;
- ALOS PALSAR 12,5 m, fornecido pelo *website Alaska Satellite Facility* – ASF (2022), da NASA. A cena ALPSRP077307030 foi obtida em banda L, resolução espacial de 12,5 m (terreno em alta resolução corrigido) e *Datum* WGS84.

Além dos MDEs, foram adquiridos arquivos no formato shapefile, contendo feições geográficas do Brasil, do município e do açude Sumé, dos órgãos responsáveis por dados históricos operacionais e recursos hídricos: IBGE e AESA.

4.3.2 Modelagem no QGIS

Inicialmente, as cenas pancromáticas dos quatro MDEs foram importadas no *software* QGIS (v 3.22), onde foram gerados mosaicos para os modelos ALOS

WORLD 3D e ASTER GDEM (obtidos de duas cenas) e extraída uma área menor, correspondente a área de estudo, em todos os MDEs, que em seguida, foram reprojatados para o *Datum* SIRGA 2000/UTM 24 Sul.

Posteriormente, utilizando a calculadora raster, foram feitas as subtrações das imagens para o comparativo altitudinal dos MDEs TOPODATA, ALOS WORLD 3D e ASTER GDEM, uma vez que possuem a mesma resolução espacial de 30 m. A partir dos resultados obtidos, foi ajustado o esquema de cores para a elaboração dos mapas hipsométricos. Por conseguinte, foi feito um recorte da área do espelho d'água do açude público Sumé e gerados mapas hipsométricos nos MDEs TOPODATA e ALOS PALSAR, a fim de realizar um comparativo visual.

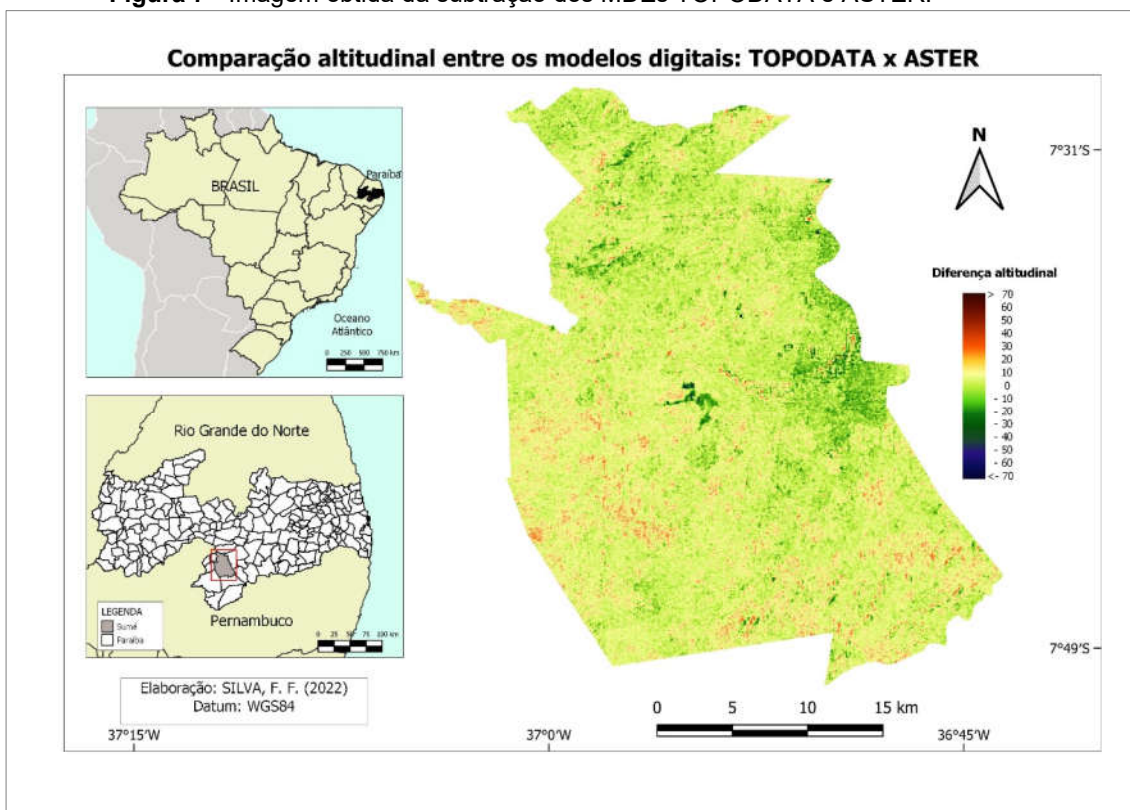
4.4 Análise de dados

A análise dos dados consistiu em comparações quantitativas e qualitativas entre os modelos. As comparações quantitativas basearam-se na subtração de imagens, do município de Sumé, entre o MDE TOPODATA e os MDEs ASTER GDEM e AW3D30. Já a comparação qualitativa baseou-se na comparação visual entre os modelos TOPODATA e ALOS PALSAR, a fim de identificar qual MDE melhor se equipara para representação do relevo correspondente a área do espelho d'água do açude público Sumé, conforme a delimitação disponibilizada pela AESA.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A imagem obtida da diferença altimétrica entre os modelos TOPODATA e ASTER, que variaram entre -85,29 m a +49,19 m, com valor médio de +4,85 m e intervalo de 134,47 m, está apresentada logo a seguir, na figura 7 e que é possível perceber uma não - uniformização da diferença altimétrica do MDE extraído.

Figura 7 - Imagem obtida da subtração dos MDEs TOPODATA e ASTER.

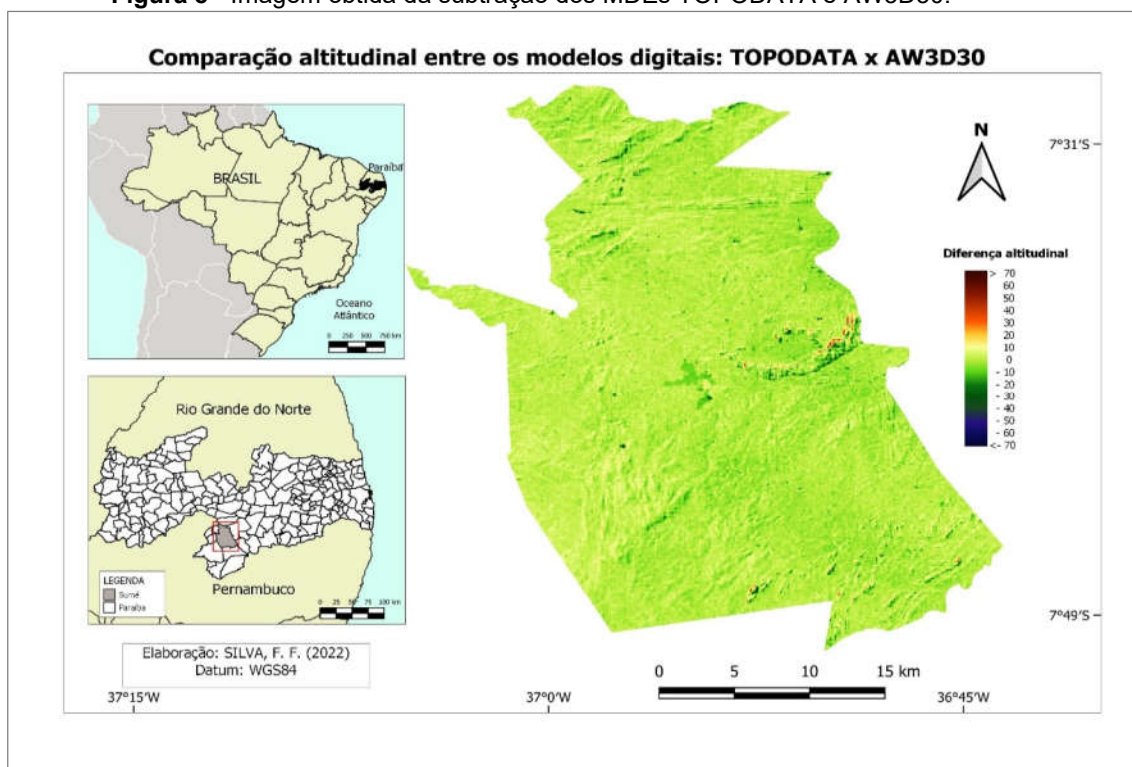


Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Percebe-se, entre os MDEs apresentado na figura acima, uma espécie de padrão “rajado”, detalhe esse que está situado aproximadamente entre as latitudes (7°46’S – 7°35’) e longitudes (36°48’ – 36°54’), que pode ter sido ocasionado pela descontinuidade ou problema de calibração ou ajuste relacionado com o processamento do par estereoscópio do modelo originário, como destaca Landau e Guimarães (2011) em seu trabalho, que de maneira semelhante, as imagens apresentaram padrões rajados.

Já as diferenças altimétricas entre os MDEs TOPODATA e AW3D30 variaram entre -68,37 m e +52,22 m, apresentando média de -0,15 m em intervalo de 120,58 m, modelo extraído demonstrado na Figura 8, e que é possível observar uma distribuição mais uniforme, apenas apresentado pico maiores de variação, em cotas altimétricas elevadas.

Figura 8 - Imagem obtida da subtração dos MDEs TOPODATA e AW3D30.

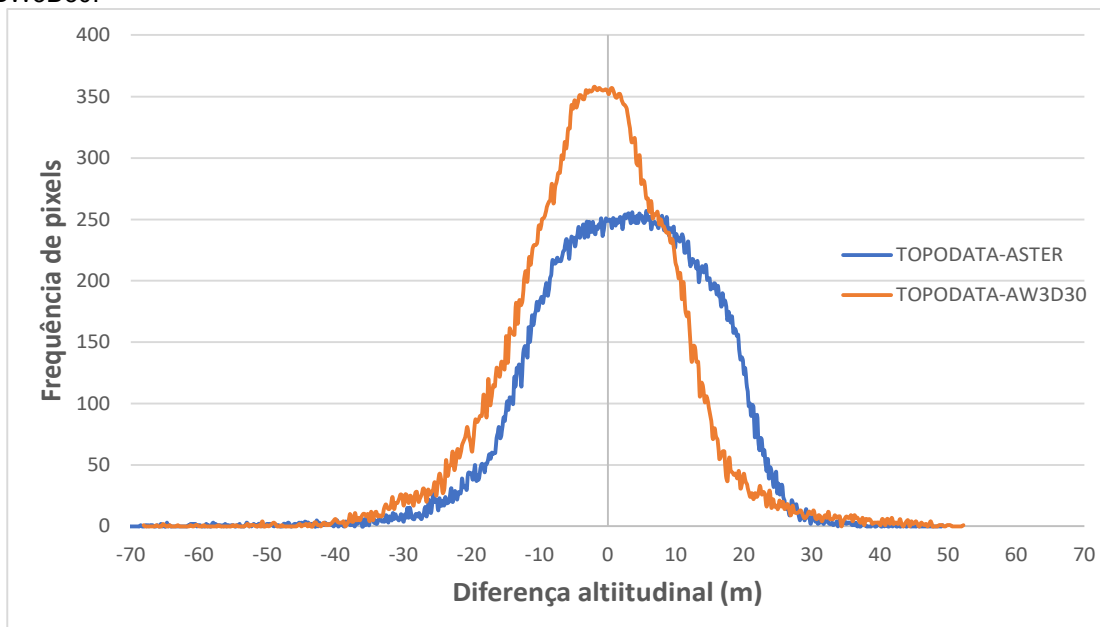


Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Nas Figuras 7 e 8, nota-se que na delimitação do espelho d'água do açude Sumé, o MDE TOPODATA subestimou a sua altitude, apresentando diferenças altitudinais altas e negativas, quando comparado com o MDE ASTER, e relativamente mais baixas e negativas, quando comparado com o MDE AW3D30, de modo que, é observado facilmente seu realce nos mapas hipsométricos.

A Figura 9 apresenta o histograma, no qual foi possível verificar a frequência para os modelos (TOPODATA x AW3D30), cuja maior frequência foi de aproximadamente 350 pixels, no intervalo de cota -5 m e 5m, já para (TOPODATA x ASTER), a máxima ficou em torno de 250 pixels, entre os valores de cota -5 m e 15 m.

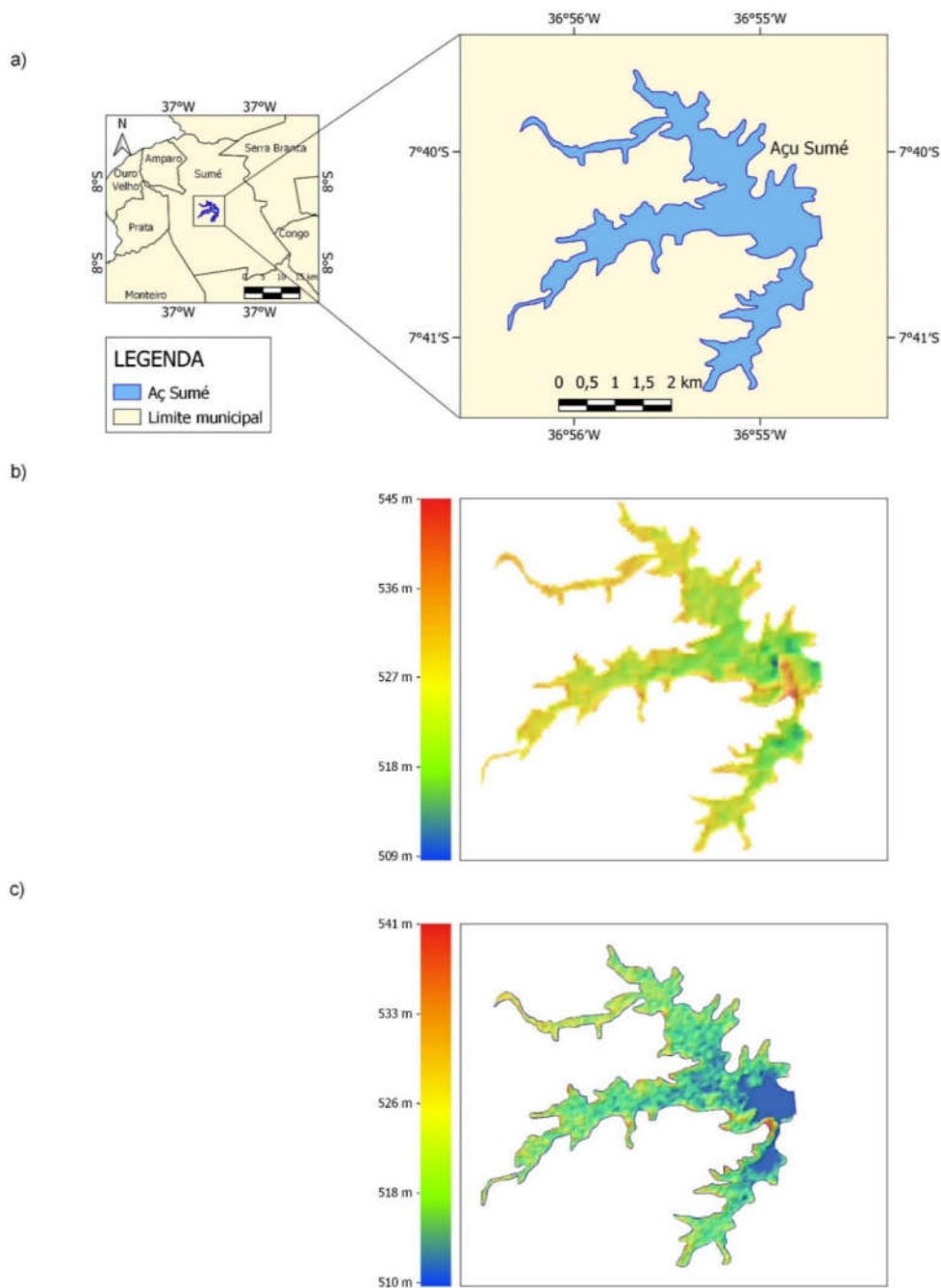
Figura 9 - Distribuição das diferenças altitudinais entre MDEs TOPODATA, ASTER e SW3D30.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Na figura 10, encontra-se os detalhes dos MDEs TOPODATA e ALOS PALSAR, abrangendo o açude público Sumé, para uma avaliação qualitativa. O ALOS PALSAR, a máxima cota foi de 545 m e a mínima de 509 m, totalizando uma variação hipsométrica de 36 m. Pelo MDE TOPODATA, a máxima cota foi de 541, a mínima de 510 m e variação hipsométrica de 31 m.

Figura 10 - Comparação entre os resultados dos MDEs para o açude Sumé. a) Mapa de localização, b) ALOS PALSAR, c) TOPODATA.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Observa-se que o MDE ALOS PALSAR (resolução espacial = 12,5 m) apresenta mais detalhes sobre o relevo da área correspondente ao espelho d'água do açude que o MDE TOPODATA (resolução espacial = 30 m), em escala 1:62.500.

Notou-se também que o TOPODATA tende a majorar a altimetria da área de estudo, e por isso, os seus dados devem ser utilizados com cautela quando para a delimitação de planícies de inundação, devendo ser usados, preferencialmente, em estudos com ênfase regional e altitude absoluta, como destaca Souza (2015) em seu trabalho.

Valeriano e Albuquerque (2015) diz que a recomendação da escala para a utilização do MDE TOPODATA, com satisfatória precisão vertical, varia entre 1:100.000 a 1:250.000, apesar de estudos considerarem seu uso em 1:50.000, contudo com condições desfavorecida. Conforme observado, o MDE TOPODATA para a escala de 1:62.500, não trouxe detalhes satisfatórios, diferentemente, do MDE ALOS PALSAR, que é compatível para a escala aplicada (ANDRADE, 2017).

Landau e Guimarães (2011), analisou em seu trabalho as imagens da Baía de Guanabara, localizada no Rio de Janeiro – RJ, e uma pequena faixa oceânica obtidas dos MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA e constatou que o TOPODATA possui limitações relacionadas com a delimitação de áreas costeiras e identificação de variações do relevo em áreas pouco onduladas.

6 CONCLUSÃO

Conforme os objetivos propostos, o presente trabalho analisou quantitativamente e qualitativamente os principais MDEs globais disponíveis gratuitamente. A partir dos resultados, pôde-se observar que os MDEs comparados apresentam aspectos distintos. Quanto a análise quantitativa constatou-se que o MDE TOPODATA tende a divergir mais em localidades com maiores altitudes e grande área de corpos d'água, quando comparado com os MDEs ASTER e AW3D30.

As maiores diferenças altitudinais foram obtidas entre os MDEs TOPODATA e MDE ASTER GDEM, que apresentou distribuição espacial heterogênea em toda área de estudo. Já as diferenças entre os MDEs TOPODATA e AW3D30 foram, relativamente, homogêneas na sua distribuição espacial, realçando as localidades com cotas altimétricas maiores.

Na análise qualitativa, o MDE ALOS PALSAR melhor representou a variação altimétrica da área do espelho d'água do açude Sumé, em função da sua resolução espacial ser maior que a do MDE TOPODATA, bem como, ser compatível com a escala utilizada no estudo. Observou-se também, que o MDE TOPODATA subestimou valores das cotas altimétricas para a área de estudo.

Dessa forma, é possível perceber que o MDE TOPODATA possui limitações na identificação de relevo, onde há poucas variações altimétricas, como também, no uso de grandes escalas, sendo a sua utilização mais recomendada para estudos com ênfase regional, já o ALOS PALSAR por apresentar uma resolução espacial 12,50 m tornasse um modelo mais indicado, podendo ser utilizando em diversas áreas, por exemplo, estudo de barragens.

De modo geral, os MDEs apresentam uma gama de aplicações no ramo das geotecnologias. Quanto a ênfase em estudos de barragens/reservatórios, o uso dos MDEs pode ser feito, por exemplo, para cálculos de áreas, volumes, variações do espelho d'água, perfil topográfico. Portanto, ao escolher um MDE para determinado estudo, é necessário observar sempre o objetivo do trabalho, a escala de análise e como esses dados serão apresentados.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, M.; HOOK, S. ***Aster user handbook: advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer.*** *ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER.* Jet Propulsion Laboratory/California Institute of Technology. Disponível em: www.pdaac.usgs.gov. Acesso em: 07 jan. 2022.

ALASKA SATELLITE FACILITY – ASF. **Alos Palsar Hi-Res Terrain Corrected.** NASA. Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: 5 fev. 2022.

ANDRADE, E. L. **Download do MDE ALOS com resolução 12,5 metros.** 2017. Disponível em: < <https://gismobrasil.com/2017/07/23/download-mde-alos-com-resolucao-125-m/>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

BERNINI, T. A. **Utilização de Imagens do ALOS/PALSAR no Mapeamento Digital de Atributos Físicos dos Solos,** 2016. 123 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Ciências, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-rj, 2016. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/105774/TeseThiagoAndradeBernini.pdf>> Acesso em: 02 mar. 2022.

CAMANA, J. C. **Modelos Digitais de Elevação: Aplicações em Bacias Hidrográficas.** 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

CÂMARA G.; Monteiro A. M, V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. **Introdução a Ciência da Geoinformação.** São Jose dos Campos, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>. Acesso em: 02 de mar. 2022.

CAMARGO, F. F.; ALMEIDA, C. M.; FLORENZANO, T. G.; OLIVEIRA, C. G. **Acurácia Posicional de MDE ASTER/Terra em Área Montanhosa.** Revista Geomática, v. 4, n. 1, p. 12–24, 2009.

CARVALHO, E. A.; ARAÚJO, P. C. **Noções básicas de Sistema de Posicionamento Global GPS.** Natal, RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Ufrn, 2009. 244 p. 12 v. Disponível em: <http://www.ead.uepb.edu.br/>. Acesso em: 09 jan. 2022.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W.; SOUZA NETO, N. C. **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para aplicação em mapeamento digital de solos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 14, p. 218-226, 28 set. 2009. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

DANTAS, J.C.; SILVA, R. M. **Notas sobre a centralidade dos açudes para a gestão da água no semiárido brasileiro.** Revista Geografia em Atos, Presidente Prudente, v. 01, n. 09, p. 78-103, mar. 2019.

DOMPIERI, MHG; DA SILVA, M. A. S.; NOGUEIRA JUNIOR, L. R. Sistemas de referência terrestre e posicionamento por satélite. **Embrapa Tabuleiros Costeiros- Documentos (INFOTECA-E)**, 2015.

EARTH DATA SEARCH. ASTER Global Digital Elevation Model Version 3. NASA. Disponível em: <<https://search.earthdata.nasa.gov/search?lat=-0.140625>>. Acesso em 5 fev. 2022.

ELMIRO, M. A. T. **Correção de Modelos Digitais de Elevação INSAR através de superfícies de ajustes geradas por métodos de interpolação espacial**. 2008. 207 f. Tese (Doutorado) - Curso de Computação Aplicada, Universidade Federal de Minas Gerais, São José dos Campos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 123 p.

FRANÇA, L. L. S.; ALMEIDA, A. D. O.; PENHA, A. L. T. Avaliação da qualidade dos modelos digitais de elevação Aster e SRTM para o Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/9, p. 1677-1686, 2017.

GARCIA, M. N.; SANTOS, S. M. B.; PEREIRA, R. S.; ROSSI, G. B. Software livre em relação ao software proprietário: aspectos favoráveis e desfavoráveis percebidos por especialistas. **Gestão & regionalidade**, v. 26, n. 78, p. 106-120, 2010.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM – QGIS. Descubra o QGIS. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: 20 fev. 2022.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, São Paulo, p. 73-83, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.31223/osf.io/amn2t>. Acesso em: 05 jan. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA / IBGE (org.). **Introdução ao processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2001. 94 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em: 09 jan. 2022

_____. **Atlas Geográfico Escolar / IBGE**. 5. ed. Rio Janeiro, RJ: IBGE, 2009. 216 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em: 08 jan. 2022.

_____. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 31 de mar 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL / IBAM (org.). **Caderno de Estudo: introdução à geotecnologia**. Rio de Janeiro, RJ: 2015. (PROGRAMA DE QUALIFICAÇÃO GESTÃO AMBIENTAL). Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/>. Acesso em: 09 jan. 2022.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY – JAXA. ALOS Global Digital Surface Model ALOS World 3D - 30m (AW3D30). Disponível em:

<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm>. Acesso em: 5 fev. 2022.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011.

MACÊDO, R. J. A.; SURYA, L. **Comparação entre modelos digitais de elevação dos sensores SRTM e ALOS PALSAR para análise digital de terreno**. Revista Contexto Geográfico, Maceió-al, v. 3, n. 6, p.47-55, dez. 2018.

MORGAN, M.; ESS, D. **The precision-farming guide for agriculturists Illinois: John Deere Publishing**, 1997. 115 p.

NIKOLAKOPOULOS, K. G. *Accuracy assessment of ALOS AW3D30 DSM and comparison to ALOS PRISM DSM created with classical photogrammetric techniques*. **European Journal of Remote Sensing**, v. 53, n. sup2, p. 39-52, 2020.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: Inpe, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 08 jan. 2022.

OPEN TOPOGRAPHY: High-Resolution Topography Data and Tools. High-Resolution Topography Data and Tools. Disponível em: <https://portal.opentopography.org/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

ORLANDO, F. C.; BIAS, E. S. Análise da qualidade dos dados SRTM ao longo de todo o território brasileiro. **Anuário do Instituto de Goeciências**, Rio de Janeiro, v. 43, p. 340-348, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SUMÉ. **História**. Disponível em: <<https://www.sume.pb.gov.br/historia/#:~:text=O%20Munic%C3%ADpio%20de%20Sum%C3%A9%20tem,52%2058%E2%80%9D%20longitude%20oeste>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

RIEGER, G. *et al.* **TanDEM-X Scientific Results and Future Formation Flying SAR Missions**. Disponível em: <https://elib.dlr.de/>. Acesso em: 07 jan. 2022

ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento**. 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao>. Acesso em: 03 jan. 2022.

SAMPAIO, T. V. M.; BRANDALIZE, M. C. B. **Cartografia Geral, Digital e Temática**. Curitiba, PR: Câmara Brasileira do Livro, 2018. 210 p. (GEOTECNOLOGIAS: TEORIAS E PRÁTICA).

SILVA, J. F.; CANDEIAS, A. L. B. Produtos de elevação digital (MDE) dos modelos SRTM e ASTER: Avaliação comparativa no Reservatório de Sobradinho–Bahia, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 7, n. 5, pág. 284-291. 2017.

SILVA, M. S. **Sistemas de Informações Geográficas: Elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas**. 2006. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Informação, Universidade Estadual Paulista, Marília, Sp, 2006. Disponível em: <https://www.marilia.unesp.br/>. Acesso em: 09 jan. 2022.

SOUZA, J. O. P. Análise da precisão altimétrica dos modelos digitais de elevação para área semiárida do nordeste brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 56-64, 2015.

SOUZA, K. R.; KERBAUY, M. T. M. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. **Educação e Filosofia**, Uberlândia, v. 31, n. 61, p. 21-44, jan./abr. 2017.

STEFFEN, C, A,; SOLAR, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Divisão de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE, São José dos Campos São– SP. Disponível em:< <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: Jun de 2016.

TAYLOR, D. R. *Fraser. GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: the microcomputer and modern cartography*. Ottawa: Elsevier Science, 1991. 272 p. Tradução por: Fagna Fernandes.

TOPODATA: BANCO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS NO BRASIL. **Variáveis Geomorfométricas locais. São José dos Campos**. 2008. INPE. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 06 jan. 2022

Valeriano, M. D. M., 2008. **Topodata: Guia Para Utilização De Dados**. São José dos Campos, INPE, 73.

_____. **Topodata: Desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. **Anais...**, São José dos Campos, SP: INPE, 2009. v. CD-ROM. p. 1-8.

_____. **Derivação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em coordenadas geográficas**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa, PB. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE, 2015. v. 1. p. 1860-1867.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; MENDES JÚNIOR, C. W. Avaliação da Acurácia Vertical dos Modelos Digitais de Elevação SRTM, ALOS World 3D e ASTER GDEM um estudo de caso no Vale dos Vinhedos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física. Recife. Vol. 13, n. 5 (2020), pág. 2255-2268**, 2020.