

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E
DE AGRIMENSURA**

GUSTAVO SIMIONATO CÂMPARA

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL E CALIBRAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS
DE ELEVAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBAÍ, ITAQUI-RS**

**ITAQUI - RS
2024**

GUSTAVO SIMIONATO CÂMPARA

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL E CALIBRAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS
DE ELEVAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBAÍ, ITAQUI-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao componente curricular TCC II do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura na Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Robert Martins da Silva

**ITAQUI - RS
2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S186a Simionato Câmpara, Gustavo

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL E CALIBRAÇÃO DE MODELOS
DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBAÍ,
ITAQUI-RS / Gustavo Simionato Câmpara.

36 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA,
2024.

"Orientação: Robert Martins da Silva".

1. Modelos altimétricos. 2. acurácia altimétrica. 3.
análise estatística. 4. bacia hidrográfica. 5.
geoprocessamento. I. Título.

GUSTAVO SIMIONATO CÂMPARA

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL E CALIBRAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS
DE ELEVAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBAÍ, ITAQUI-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao componente curricular TCC II do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura na Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 06 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Robert Martins da Silva
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Vinicius Bergmann Martins
(UNIPAMPA)

RESUMO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são dados digitais destinados a representar as altitudes da superfície física utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto, fotogrametria, posicionamento GNSS e levantamentos topográficos. Os MDEs são úteis em diversas áreas, tais como planejamento urbano, gestão de recursos hídricos, modelagem hidrológica e estudos ambientais. No entanto, esses modelos estão sujeitos a diversos tipos de erros que podem afetar sua precisão e confiabilidade, principalmente o erro vertical, que se refere à diferença entre a elevação real do terreno e a elevação representada pelo MDE. Este estudo buscou analisar a qualidade altimétrica de quatro MDEs quase globais, utilizando estatísticas descritivas para verificar a acurácia vertical absoluta dos dados no recorte da bacia hidrográfica do Arroio Cambaí, localizada no município de Itaqui - RS. Os MDEs analisados foram: ALOS World/AW3D30, ASTER GDEM/ASTWBD, Copernicus DEM (COP-30) e SRTM NASADEM. Para realizar análise estatística aplicou-se como pontos de controle, dados com coordenadas tridimensionais derivadas do posicionamento GNSS e disponibilizados na plataforma SIGEF/INCRA. A metodologia de avaliação envolveu a aplicação de uma análise estatística nas altitudes dos dados GNSS e a altitude dos MDEs, aplicando-se estatísticas descritivas como a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), regressão linear e coeficiente de determinação, o que permitiu analisar a precisão de cada MDE. Os resultados indicaram que o MDE Copernicus DEM apresentou a melhor acurácia (RMSE = 2,44 m) para a região. E que após a aplicação de um ajuste linear, obteve-se uma melhoria de 6,13% na qualidade altimétrica. O modelo NASADEM (RMSE = 2,87 m) teve uma melhoria de 9,30%, o ALOS (RMSE = 3,02 m) uma melhoria de 23,95%, e o modelo ASTER GDEM (RMSE = 6,71 m) uma melhoria de 22,39%. Em resumo, os melhores resultados foram obtidos com o modelo Copernicus DEM, seguido pelo ALOS, SRTM NASADEM e, por último, o modelo ASTER GDEM. Após a análise completa dos resultados, o modelo mais adequado para a região estudada foi o Copernicus DEM, que apresentou a melhor correlação e o menor RMSE, de 2,29 m, após a calibração. O estudo revelou que a calibração dos MDEs pode impactar diretamente a qualidade das informações geoespaciais utilizadas em estudos e gestão ambiental. Mostrando-se evidente a necessidade de uma avaliação prévia para a escolha do modelo mais adequado à representação de uma região específica, contribuindo para o avanço do conhecimento em representações digitais.

Palavras-chaves: Modelos altimétricos; acurácia altimétrica; análise estatística; bacia hidrográfica; geoprocessamento.

ABSTRACT

Digital Elevation Models (DEMs) are digital data designed to represent the altitudes of the physical surface using data from remote sensing, photogrammetry, GNSS positioning and topographic surveys. DEMs are useful in various areas, such as urban planning, water resource management, hydrological modeling and environmental studies. However, these models are subject to various types of error that can affect their accuracy and reliability, especially vertical error, which refers to the difference between the actual elevation of the terrain and the elevation represented by the DEM. This study sought to analyze the altimetric quality of four quasi-global DEMs, using descriptive statistics to verify the absolute vertical accuracy of the data in the Arroio Cambaí watershed, located in the municipality of Itaquí - RS. The MDEs analyzed were: ALOS World/AW3D30, ASTER GDEM/ASTWBD, Copernicus DEM (COP-30) and SRTM NASADEM. To carry out statistical analysis, data with three-dimensional coordinates derived from GNSS positioning and available on the SIGEF/INCRA platform were used as control points. The evaluation methodology involved applying a statistical analysis to the altitude of the GNSS data and the altitude of the DEMs, applying descriptive statistics such as Root Mean Square Error (RMSE), linear regression and coefficient of determination, which allowed the accuracy of each DEM to be analyzed. The results showed that the Copernicus DEM had the best accuracy (RMSE = 2.44 m) for the region. And that after applying a linear adjustment, a 6.13% improvement in altimetric quality was obtained. The NASADEM model (RMSE = 2.87 m) improved by 9.30%, ALOS (RMSE = 3.02 m) by 23.95% and the ASTER GDEM model (RMSE = 6.71 m) by 22.39%. In summary, the best results were obtained with the Copernicus DEM model, followed by ALOS, SRTM NASADEM and, lastly, the ASTER GDEM model. After complete analysis of the results, the most suitable model for the region studied was the Copernicus DEM, which showed the best correlation and the lowest RMSE of 2.29 m after calibration. The study revealed that the calibration of DEMs can have a direct impact on the quality of geospatial information used in environmental studies and management. The need for a prior assessment to choose the most appropriate model to represent a specific region is evident, contributing to the advancement of knowledge in digital representations.

Keywords: Altimetric models; altimetric accuracy; statistical analysis; river basin; geoprocessing.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	7
2 - JUSTIFICATIVA	9
3 - OBJETIVOS	9
3.1 - Geral	9
3.2 - Específico	10
4 - REVISÃO DE LITERATURA	10
4.1 - Modelo Digitais de Elevação e aspectos do relevo	10
4.1.1 - ALOS WORLD AW3D30	13
4.1.2 - ASTER GDEM - ASTWBD	13
4.1.3 - Copernicus DEM	14
4.1.4 - SRTM - NASADEM	14
4.2 - Grupo de pontos de controle em solo	15
4.3 - Estatística descritiva adotada	16
4.3.1 - Regressão Linear e Coeficiente de Determinação	16
4.3.2 - Raiz do Erro Quadrático Médio	16
4.4 - Modelos globais do geopotencial e a relação dos dados utilizados	17
5 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
6 - MATERIAIS E MÉTODOS	19
7 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
8 - CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	29
Anexo A - Tabela com os vértices utilizados.	34

1 - INTRODUÇÃO

As evoluções agrárias e fundiárias do município de Itaqui no Rio Grande do Sul impulsionaram os fatores sociais, econômicos, políticos e ambientais, moldando de certa forma a agricultura regional impulsionando a organização territorial. A construção histórica que culminou na formação do município de Itaqui, e as condições ambientais únicas do município, contribuíram para a especialização na rizicultura, tornando o município de Itaqui um grande produtor de arroz, que de certa forma prosperou na economia regional. O sistema agrário em Itaqui, com sua prática agrícola tradicional, teve como resultante a concentração das propriedades e na dependência da produção de arroz irrigado. O fator causador da produção é a grande possibilidade de sistemas irrigados de cultivo, evidenciando características particulares de solo hidromórfico, pertencente ao Bioma regional, destacando os fatores químicos e físicos do solo. Esse conjunto de informações remonta a qualidade do solo e as características que agregam as informações topográficas, com uma baixa variação altimétrica (topografia regular, 0 à 20% de declividade segundo a classificação da Embrapa) e pouca infiltração da água superficial no solo nas margens do rio Uruguai (Ceretta *et al.*, 2014; Santos, 2020).

O Rio Uruguai banha a margem oeste do município de Itaqui e é considerado o afluente mais importante do Rio Grande do Sul (RS), e sua bacia abrange também abrange parte do estado de Santa Catarina (SC), trazendo com sua identidade a divisão dos limites federais e estaduais. Em conjunto a isto, se tem os períodos de chuvas intensas, e que com fortes chuvas a demanda em escoamento fluvial é maior, trazendo como consequência a jusante dos locais das grandes precipitações as inundações. As características de declividade na região de Itaqui e o fenômeno climático nos períodos de ventos Alísios e frentes frias, oriundas do processo denominado de *El Niño* (Sistema de Oscilação Sul - ENSO) propiciam grande influência da variação altimétrica do rio Uruguai, ocasionado grande demanda no escoamento da água superficial, provocando inundações interanuais.

As características do bioma e do relevo na região do município possibilitam um avanço maior da inundação nos períodos de cheias do rio Uruguai, problema que afeta o município e as regiões próximas ao afluente gerando prejuízos econômicos e sociais (rural e urbano) (Pigatto; Lopes, 2019; Righi; Robaina, 2010). Assim como ocorrido nas inundações entre os anos 1983, 2014 e 2017, causando danos significativos à infraestrutura local em conjunto com a necessidade

de realocação temporária local além de impactar negativamente a agricultura e pecuária (Silva *et al.*, 2020; Silveira, 2011; Silveira; Guasselli, 2019).

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) representam digitalmente a superfície terrestre em escala, combinando tecnologia, matemática e ciência geodésica. A aplicação desses modelos quantitativos é amplamente utilizada servindo de insumo para aplicação como, modelagem hidrológica, gestão de desastres, viabilização de informações topográficas, planejamento nos setores de engenharia, ciências agrárias e ciências do solo. A integração com estudos meteorológicos e hidrológicos na modelagem de áreas de risco de inundação com o uso de MDEs aplicada como uma ferramenta auxiliar e gratuita na gestão de projetos, tem como finalidade identificar a magnitude dos impactos sociais e ambientais nas regiões ribeirinhas, sendo uma alternativa instantânea (Melgaço; Filho; Steinmayer, 2005; Shetty *et al.*, 2022).

A combinação de estudos utilizando MDEs como ferramenta auxiliar na identificação dos fatores do solo e na caracterização do relevo na região, fomentam o conhecimento e a simulação de eventos. Dentre os estudos relacionados à região da bacia hidrográfica do Arroio Cambaí e o emprego de MDEs quase globais de disponibilidade gratuita na representatividade da superfície, como geração de mapas de declividade, cálculo de área e demais processamentos, se tem uma carência de estudos que avaliam a acurácia vertical de modelos que recobrem essa região, anteriormente a sua aplicação.

Compreender as características locais e a qualidade dos dados digitais com o emprego de métodos estatísticos permite conhecer a acurácia vertical e propor um refinamento dos dados digitais. A aplicação da estatística descritiva, baseada em estudos de representação dos modelos, é utilizada em aplicações geográficas em diversas escalas de aplicação, como estudos locais ou regionais que relacionam características geomorfológicas, simulações de inundações, delimitação de bacias hidrográficas e análises qualitativas e quantitativas da superfície terrestre. Objetivando a compreensão dos erros verticais dos modelos como crucial dada a diversidade de aplicações, e podendo definir a melhor escolha para representação local ou regional (Cremon *et al.*, 2022; Viel; Rosa; Junior, 2020; Mukul; Srivastava; Mukul; 2016; Teixeira *et al.*, 2018).

Este estudo teve como escopo analisar a qualidade altimétrica de MDEs quase globais e aplicar uma calibração vertical utilizando estatísticas descritivas. A análise foi realizada para identificar o modelo que melhor representa a superfície, e então ajustando os dados digitais com

base nos pontos de controle em solo evidenciando uma equação de ajuste linear como método de calibração do modelo com melhoramento da precisão vertical. Propondo um refinamento dos dados altimétricos dentro do perímetro da bacia hidrográfica do Arroio Cambaí.

2 - JUSTIFICATIVA

Os estudos realizados na bacia hidrográfica do Arroio Cambaí evidenciam as características físicas e químicas que de certa forma fomentam a produção de arroz e a formação de potenciais barragens. Diante da característica da bacia e da localidade, estudos hidrológicos utilizando a aplicação do modelo QSWAT - *Soil and Water Assessment Tool* ao MDE gerado pelo SRTM com enfoque na hidrografia simularam dentro da microbacia e permitiram o conhecimento das características de dimensionamento pluvial e fluvial da mesma. Outros estudos com base em sensoriamento remoto empregando cálculos a partir do NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* aplicado a vegetação existente e conectado com a temperatura do solo obtidas em uma resolução temporal permitiram construir estimativas sobre a superfície do Arroio. Essas aplicações carregam os aspectos do Arroio Cambaí a partir do emprego de métodos e aplicações relacionados a eventos meteorológicos e hidrológicos na modelagem e simulação, gerando e complementando informações que impulsionam os estudos dentro do perímetro (Santos; Gass, 2023; Santos, 2020; Saueressig, 2012).

Diante disso, este trabalho teve como escopo agregar nos estudos relacionados a região do Arroio Cambaí, identificando o MDE gratuito que melhor se adequa aos aspectos do relevo em virtude do erro apresentado pelos modelos estudados, e por fim, utilizar o MDE com melhor acurácia vertical para a calibragem com base nos pontos de controle na representação dentro dos limites da superfície do Arroio Cambaí no Município de Itaqui.

3 - OBJETIVOS

3.1 - Geral

O objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação altimétrica de 4 (quatro) MDEs disponíveis gratuitamente utilizando estatística descritiva, nos modelos: ALOS WORLD - AW3D30, ASTER GDEM - ASTWBD, Copernicus DEM (COP-30) e SRTM NASADEM.

3.2 - Específico

- 1) Ajustar os MDEs e os pontos de controles para um mesmo sistema de referências.
- 2) Aplicar a análise utilizando estatísticas descritivas, RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio), Regressão Linear e Coeficiente de Determinação em todos os MDEs.
- 3) Utilizar da equação linear para a calibração do modelo com melhor resultado para a representação dos aspectos do relevo e das cotas de inundação dentro dos limites do Arroio Cambaí.

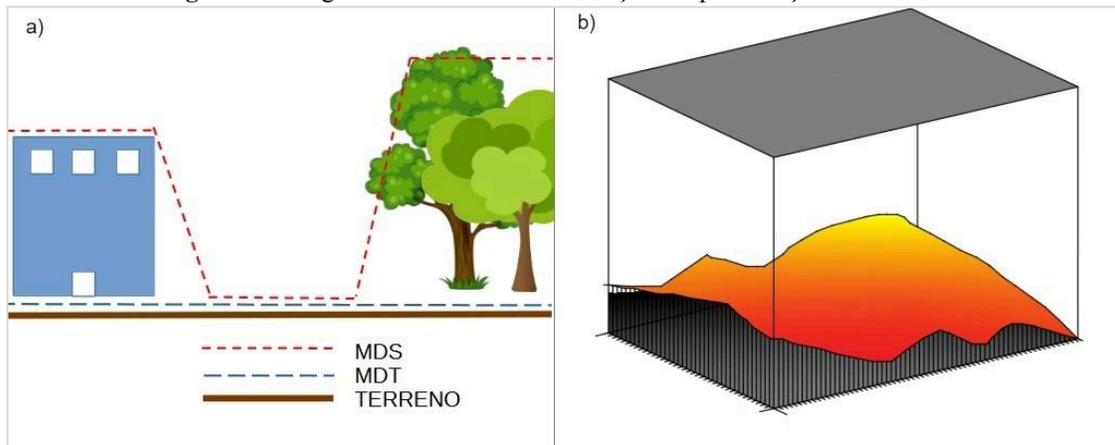
4 - REVISÃO DE LITERATURA

4.1 - Modelo Digitais de Elevação e aspectos do relevo

Os MDEs são produzidos em larga escala utilizando a órbita de satélites no mapeamento da superfície, com o emprego das técnicas de sensoriamento remoto como, LiDAR (*Light Detection and Ranging*), Interferometria SAR (*Synthetic Aperture Radar*), sensoriamento remoto (pares de imagens estereoscópicas) e a Radargrametria, distribuídos gratuitamente por plataformas governamentais no formato digital em cenas posicionadas utilizando sistema geográficos de coordenadas e deliberadamente por meio de plugins de acesso por softwares de ambiente SIG. Os modelos selecionados utilizados neste trabalho consideram em sua altimetria as interferências presentes acima do solo (Adiri *et al.*, 2022; Júnior *et. al.*, 2022; Shetty *et al.*, 2022; Pakoksung; Takagi, 2020).

A caracterização de MDE é uma denominação genérica que tem como finalidade a representação digital e matemática de uma seção da superfície terrestre. Em geral, esses modelos são classificados em MDS (Modelo Digital de Superfície) e MDT (Modelo Digital de Terreno) (Figura 1). Essas classificações diferenciam-se em considerar nas altimetrias a topografia, a vegetação e as ações antrópicas (Grohmann, 2015; Li; Zhu; Gold, 2005).

Figura 1 - Imagem ilustrativa da classificação e representação de um MDE.



Fonte: Elaborado por Câmpara (2024). a) Classificação. b) Estrutura digital.

Os modelos possuem como atributos períodos de aquisição de dados, essa característica é considerável para analisar os locais de implementação dos pontos utilizados como controle em solo, por consequência, alguns modelos foram gerados entre a década de 2000 e de 2010, e disponibilizados a partir da década de 2010. As variações morfométricas do solo causadas pela erosão, é um fator que causa pequenas mudanças nos valores altimétricos do solo em uma determinada escala de tempo considerável. Desta forma, o solo é considerado uma variável estável em um curto intervalo de tempo, mas instável em uma escala maior de tempo, seja em função da superfície pelas ações antrópicas, movimento das placas tectônicas ou pela ação natural, causando deslocamentos mensuráveis. A aquisição da informação do solo na geração dos modelos utilizados é influenciada em vezes por fatores como ações antrópicas, declividade, condições climáticas e a presença de vegetação arbórea (floresta) (Florinsky, 2012, p. 214).

De certa forma existe uma dificuldade na representação fiel do solo onde se tem a presença da vegetação como os locais dos dados altimétricos utilizados para pontos de controle. Os modelos globais de representação foco deste estudo possuem uma resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m de resolução espacial próximo à linha do equador), deveras, aproximadamente 900 m² em sua representação. A forma de processamento dos dados na geração dos modelos por meio de técnicas de geoprocessamento, representam as altitudes nos pixels mediando os valores obtidos dentro das seções do pixel como valor da superfície. Essa técnica de geoprocessamento na representação de dados espaciais é uma alternativa de representação e fornecimento de dados leves. Em resumo, a diferença vertical observada

utilizando pontos de controle poderá estar relacionada à generalização dos dados altimétricos, (Araújo *et al.*, 2018; Grohmann, 2015; Longley *et al.*, 2013, p. 88; Yogi; Stanganini, 2023).

Desta forma, os aspectos do relevo na bacia do Arroio Cambaí têm pouca influência nas diferenças verticais com relação às características do Bioma Pampa em conjunto à geração dos modelos. Os fatores climáticos como a presença de nuvens e somadas a uma maior declividade afetam desde a aquisição de dados até a representação da geometria do solo, como no país do Peru, possuindo uma grande variação altimétrica em sua extensão. Sanches e Villaran (2012) em sua pesquisa, utilizando pontos de controle como parâmetro real da superfície em relação à declividade, observaram que com o aumento da inclinação, os valores de discrepância tendem a ser maiores, afetando severamente a qualidade da representação ao utilizar o modelo SRTM 3 Versão 4.1. O local do estudo, apresenta uma variação acentuada na declividade, abrangendo uma escala de altitude de zero metros (nível do mar) até aproximadamente 7 mil metros de altitude na face oeste da América do Sul local de imensas cordilheiras.

De acordo com Araújo *et al.* (2018) observou-se que a declividade influencia para o modelo do SRTM. A redução da discrepância está relacionada à diminuição da declividade, indicando que as características topográficas têm um impacto significativo nas comparações com os pontos de controle. Além disso, segundo Shetty *et al.* (2022), os aspectos do relevo afetam os valores dos modelos, dependendo das dimensões e dos locais escolhidos como controle. Na contingência das extrapolações dos dados, os locais dos pontos de controle devem obedecer a critérios de seleção, evitando a influência fluvial, as ações antrópicas e a vegetação que de certa forma afetaram as características geométricas dos MDEs. Dessa forma, é importante considerar a escala temporal e os locais de implementação ou utilização dos pontos de controle.

De acordo com Júnior *et al.*, (2022) na análise dos modelos ALOS/PALSAR e ASTER GDEM aplicados ao município de Recife utilizando de pontos de controle distribuídos dentro do perímetro do município disponibilizados pelo BDG (Banco de Dados Geodésicos) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) foi possível aplicar ao estudo a estatística descritiva, como o RMSE, Regressão Linear Simples e Coeficiente de Determinação, para estimar a relação entre os pontos de controle e a altimetria dos modelos. Os resultados indicaram que o modelo do ALOS apresentou maior robustez e precisão em comparação com o ASTER.

O entendimento das características altimétricas da região de estudo, da representação dos modelos em conjunto com a obtenção do erro dos valores representados de uma maneira integral dos dados é uma alternativa que objetiva a diminuição de erros, utilizando como aplicação a estatística descritiva, como métrica RMSE, Regressão Linear e Coeficiente de Determinação.

4.1.1 - ALOS WORLD AW3D30

O modelo AW3D30 foi gerado pelo sensor PRISM (*Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping*) a bordo do satélite ALOS, operado de 2006 a 2011 por meio de uma colaboração internacional em sensoriamento remoto. Esse sensor pancromático, operado pela Banda L, utilizou a técnica de radar interferométrico de abertura sintética (InSAR). A missão foi liderada pela JAXA (Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial) e pelo Instituto Geofísico do Alasca ASF (*Alaska Satellite Facility*), produzindo dados de amplitude para as latitudes de 60° Norte e Sul do globo terrestre. As versões disponíveis do modelo corrigiram áreas sem dados (no data) ou anomalias, frequentemente causadas por condições climáticas, como a presença de nuvens, preenchidas nas versões subsequentes à versão 1.0, com uma resolução espacial de 30 metros (1" de arco). As versões e os modelos estão disponíveis no site da agência japonesa no Datum horizontal WGS84 (*World Geodetic System*) e vertical EGM96 (*Earth Gravitational Model - 1996*) com precisão vertical absoluta estimada de 5 m para toda a cobertura do modelo (Adiri *et al.*, 2022; Alos World, s.d.; Lousada; Fernandez, 2018; Viel; Rosa; Junior, 2020).

4.1.2 - ASTER GDEM - ASTWBD

O modelo ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*) foi coordenado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dos Estados Unidos e pelo METI (Ministério da Economia, Comércio e Indústria) do Japão. Esse modelo foi gerado a bordo do satélite Terra (EOS/AM-1) com o sensor ASTER entre os anos de 2000 e 2008. Os dados foram obtidos por meio da técnica de imagens estereoscópicas (pares de imagens). O sensor operou em diferentes faixas espectrais das bandas 3B e 3N (observações no nadir e movimento retrógrado no comprimento de onda do infravermelho próximo), emitindo diferentes comprimentos de radiação. Essa abordagem

contribuiu para a identificação das feições do relevo. O modelo cobre uma área de 83° de latitude Sul a Norte, com resolução espacial de 30 metros. A versão 3 (ASTWBD) oferece imagens mais nítidas e melhor classificação das massas oceânicas e está disponível no site da NASA no Datum Horizontal WGS84 e Datum vertical EGM96 com precisão vertical absoluta estimada de 6 m (Adiri *et al.*, 2022; Aster, s.d.; Biffi *et al.*, 2013; Breunig *et al.*, 2009; Grohmann, 2015; Oliveira, 2012; Viel; Rosa; Junior, 2020).

4.1.3 - Copernicus DEM

O MDE utilizando Copernicus DEM, também denominado de COP-30 ou GLO-30 é um modelo derivado dos dados obtidos pela missão dos satélites TanDEM-X e TerraSAR, que ocorreu entre os anos de 2011 e 2015. Essa missão foi coordenada pelo DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) centro espacial alemão e utilizou a técnica de interferometria SAR operada na banda X do espectro eletromagnético. Os satélites operaram a uma distância aproximada de 400 metros entre eles, fornecendo uma precisão geométrica única. O modelo possui resolução espacial de 30 metros com cobertura de área de 50° de latitude Norte a Sul do globo. Os dados foram processados e são disponibilizados pela Agência Espacial Europeia (ESA) no Datum horizontal WGS84 e vertical EGM2008 com precisão vertical absoluta estimada em menor que 4 m para todo o modelo (erro linear de 90%) (Copernicus DEM, s.d; Grohmann, 2015; Yogi; Stanganini, 2023).

4.1.4 - SRTM - NASADEM

A Missão Topográfica Radar Shuttle ou Missão Topográfica de Radar Embarcado, denominado de SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), realizada em fevereiro do ano de 2000 e com duração de 11 dias, foi conduzida pela NASA, pela Agência Espacial Alemã DLR, pela italiana ASI (*Italian Space Agency*) e pela NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*). Esta missão utilizou dois radares a bordo de um mesmo ônibus espacial. O modelo NASADEM é um processamento dos dados da missão SRTM, produzido pela técnica de interferometria SAR (InSAR) em seu processamento utilizando pontos de referência como o ICESat (*Cloud and Land Elevation Satellite*). Segundo Adiri *et al.* (2022) os dados originais do SRTM 3 obtêm vazios por influência de origem geométrica (cristas do relevo), sendo preenchido com dados do modelo

ASTER, possuindo uma resolução espacial de 30 m com cobertura de área entre 60° Norte e Sul do globo, os dados estão disponível gratuitamente pela plataforma online da USGS (*United States Geological Survey*) no Datum horizontal WGS84 e vertical EGM96 com precisão vertical absoluta entre 5 e 6 m (Biffi *et al.*, 2013; Landau; Guimarães, 2011; Melgaço; Filho; Steinmayer, 2005; Nasadem, s.d.; Oliveira, 2012 ; Yogi; Stanganini, 2023).

4.2 - Grupo de pontos de controle em solo

Pontos de controle é uma denominação genérica oriunda das aplicações com fotogrametria, onde utiliza-se de pontos distribuídos uniformemente ou não na superfície de contato. Essa aplicação tem como função primordial a orientação no posicionamento das imagens e na utilização de locais visíveis, servindo como base nos processamento de sobreposição das imagens utilizadas aplicadas a um sistema de referência envolto de coordenadas posicionais e precisas (Rademann, 2024).

Os pontos de controle utilizados neste trabalho foram obtidos por meio da plataforma online SIGEF/INCRA (Sistema de Gestão Fundiária) e seguem precisão vertical média (Sigma) superior a 5 cm, permitindo o acesso dos vértices das propriedades em todo o Brasil. Essa plataforma é reconhecida como a ferramenta digital para a gestão interna e consolida sua credibilidade em informações espaciais para a regularização fundiária. Os dados disponibilizados seguem a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais 3° Edição (NTGIR), disponibilizando informações precisas sobre os vértices e dados das propriedades. Esses dados utilizam o Sistema de Referência Geodésico Brasileiro (SGB) no Datum vertical e horizontal SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) um padrão para as Américas (INCRA, 2013; INCRA, 2010).

Para a aplicação neste estudo, foram utilizados critérios específicos de seleção de pontos de controle. Os dados foram selecionados com o apoio de uma imagem de satélite convencional, para o descarte de vértices próximos ou inclusos em vegetação arbórea. Além disso, a seleção temporal foi realizada com base em um mesmo sistema de referência geométrico, considerando trabalhos realizados a partir de 2015 até meados de 2024.

4.3 - Estatística descritiva adotada

4.3.1 - Regressão Linear e Coeficiente de Determinação

A Regressão Linear Simples (equação 4.1), é um método estatístico que visa estimar a relação entre duas ou mais variáveis, permitindo prever resultados e entender a relação entre os dados amostrais e os calculados, a aplicação com este método tem como função geral minimizar a soma dos erros dos dados de referência e os observados no modelo, aproximando-os graficamente por meio de uma linha de tendência definida por uma equação linear com inclinação e intercepção de reta que compõem a aplicação do método (Chein, 2019).

$$\hat{y} = \alpha + \beta x \quad \dots(4.1)$$

y igual a Variável resposta (Altitude calibrada), α igual a Constante que intercepta a reta, β igual a Constante do coeficiente de inclinação da reta e x igual a Variável explicativa (Referência). A avaliação com coeficiente de determinação R^2 (equação 4.2) retorna valores entre zero e um a partir da divisão dos somatórios da média menos as variáveis, indicando a relação dos conjuntos de dados utilizados sob o fator de regressão linear, o coeficiente retorna em porcentagem a qualidade explicando o quanto a variação total é explicada pela Regressão Linear.

$$R^2 = \frac{\sum_{t=i}^n (y_i - \bar{y})}{\sum_{t=i}^n (x_i - \bar{x})} \quad \dots(4.2)$$

4.3.2 - Raiz do Erro Quadrático Médio

O RMSE é uma métrica utilizada para avaliar a precisão de dados observados em relação a referências conhecidas. Ela examina erros aleatórios e sistemáticos introduzidos durante a geração de dados. No contexto de MDEs, a aplicação da métrica RMSE compara as elevações previstas com pontos de controle ou dados de elevação fidedignos à superfície representada. Essa aplicação permite analisar e determinar o quão bem os modelos se aproximam da superfície real. Em suma, essa aplicação metodológica permite determinar o valor do erro vertical nas elevações

dos modelos com base nos pontos de controle, servindo como parâmetro no entendimento da acurácia vertical antes e após a calibração buscando uma melhor aproximação para a superfície de representação (Adiri *et al.*, 2022; Araújo *et al.*, 2018; Chagas *et al.*, 2010; Pakoksung; Takagi, 2020; Mukul; Srivastava; Mukul; 2016)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \dots(4.3)$$

A equação do RMSE (equação 4.3) têm seu significado matemático como a raiz quadrada do somatório dos resíduos elevados ao quadrado, dividido pela quantidade de observações, onde \hat{y}_i igual o Valor levado como referencial (superfície), y_i igual o Valor do pixel no modelo que corresponde à localização obtida pelo referencial e n igual o Número correspondente a quantidade de observações realizadas no modelo matemático (Florinsky, 2012).

4.4 - Modelos globais do geopotencial e a relação dos dados utilizados

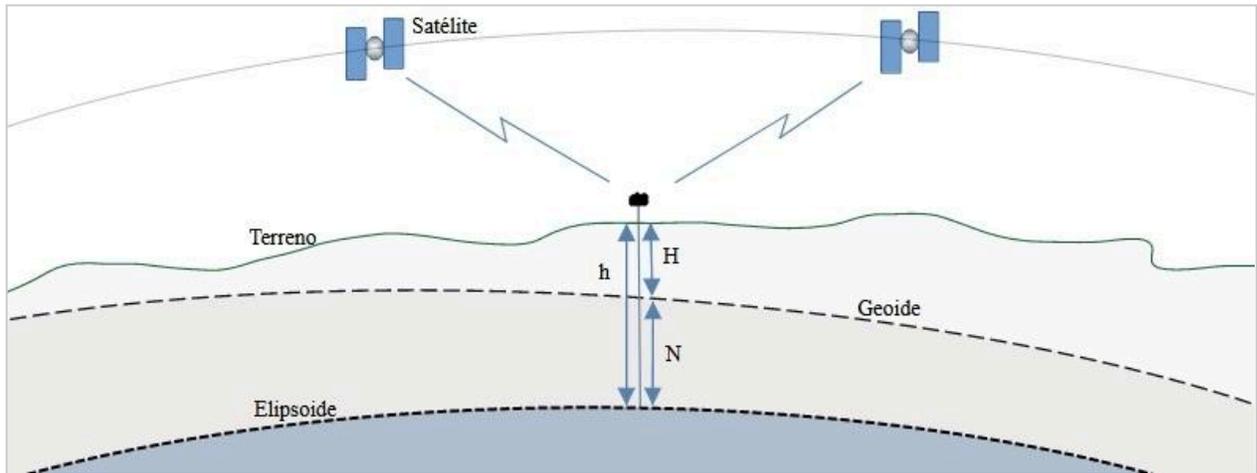
Ao se tratar de representação da superfície planetária é utilizado como construção duas superfícies, uma superfície utilizando o modelo matemático, elipsóide, e a outra o modelo de superfície gravitacional equipotencial da terra denominada de geóide, que por sua vez tem como objetivo representar a forma física da terra. O elipsóide tem como função representar o planeta em uma forma geométrica tridimensional, como a projeção de uma elipse (polos achatados). O geóide tem como característica representar uma aproximação da forma real da terra (superfície equipotencial) considerando uma superfície irregular a partir do nível médio dos mares em repouso. O produto gerado pelo modelo matemático é chamado de altitude geométrica e do geóide é denominado de altitude ortométrica. A diferença altimétrica entre esses dois modelos é chamada de anomalia de altitude (ondulação geoidal) (figura 2), usualmente utilizada na geodésia, e trabalhos onde se faz exigência a conversão dessas altimetrias, equação (4.4) (Fraczek, 2003; Mukul; Srivastava; Mukul, 2016; Kaplan; Hegarty, 2006).

Os vértices utilizados como controle neste trabalho foram obtidos a partir de equipamentos geodésicos (GNSS - Sistemas Globais de Navegação por Satélite) no sistema geodésico mundial WGS84 e projetados para o SGB, modelos geométricos. Os MDEs alvos deste

estudo possuem como referência vertical da altimetria os modelos geoidais EGM96 e EGM2008, conhecidos como modelos do potencial gravitacional da Terra (Brasil, 2015).

$$H = h - N \quad \dots(4.4)$$

Figura 2 - Altitude: geométrica (h), altitude ortométrica (H) e ondulação geoidal (N).

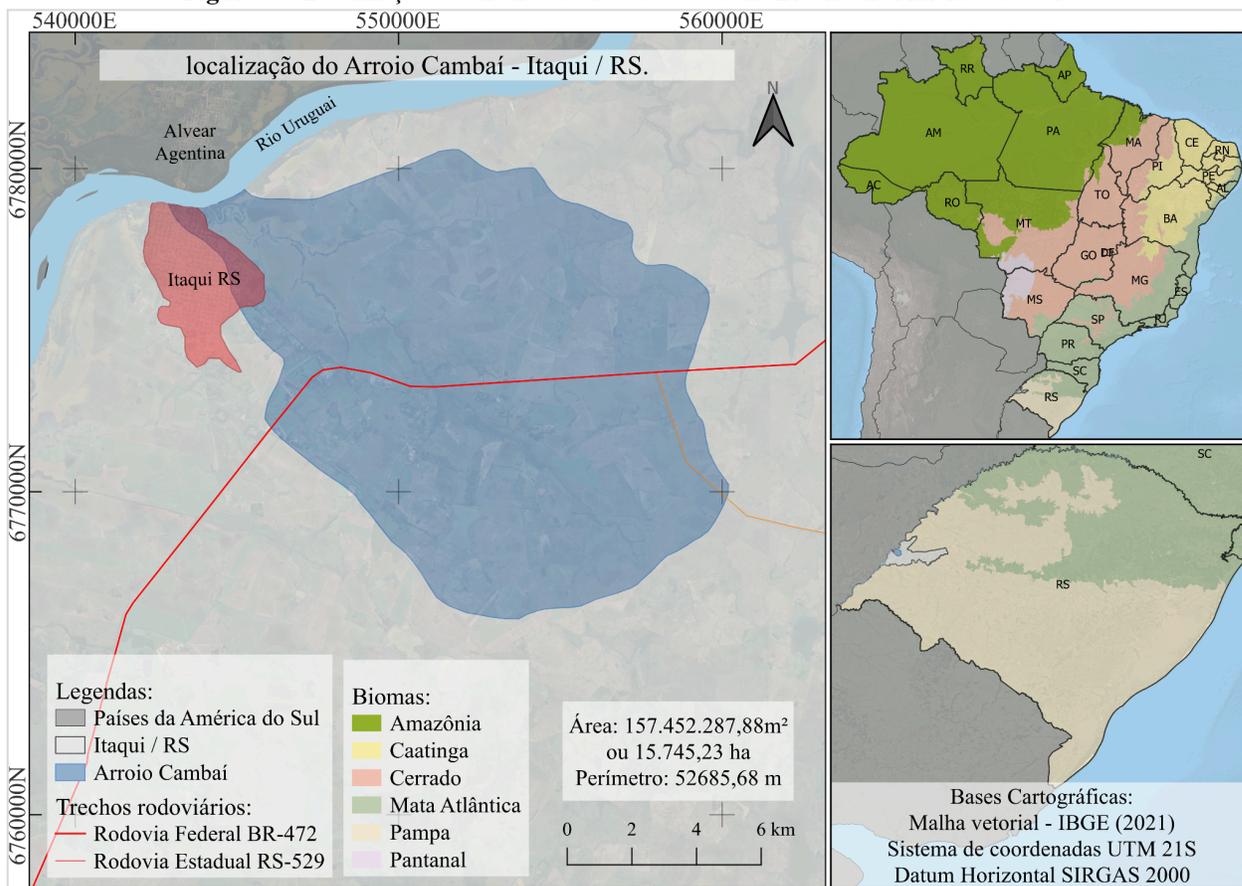


Fonte: Elaborado por Câmara (2024) adaptado de Kaplan e Hegarty, 2006, p. 35.

5 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Arroio Cambaí, situada às margens do Rio Uruguai no município de Itaqui que limita-se com os municípios de São Borja, Maçambará, Manoel Viana e Uruguiana situada no estado do Rio Grande do Sul. A bacia abrange uma pequena parte da área urbana no sentido oeste da bacia sendo atravessada pela BR-472 no sentido leste a oeste, a bacia possui um perímetro de 52,69 km e uma área de aproximadamente 15 mil hectares representando 4,6% da área total do município, constituente da fauna e flora provenientes do bioma Pampa. Segundo o IBGE, o estado ocupa a nona posição em termos de grandeza territorial e é em grande parte dominado pelo Bioma Pampa, também conhecido como Campos Sulinos, evidenciando assim as características propícias para a produção de arroz irrigado em concomitância das baixas altitudes e das suaves variações altimétricas, características do bioma (Figura 3) (BRASIL, 2022; Santos, 2020).

Figura 3 - Localização e contexto da área de estudo no Brasil e na América do Sul.



Fonte: Elaborado por Câmara (2024).

6 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os MDEs foram obtidos por meio das plataformas disponíveis de cada modelo, ASTER GDEM ASTWBD¹, ALOS WORLD modelo AW3D30², Copernicus DEM³ e o modelo do SRTM NASADEM⁴. Em um primeiro momento foi verificada a qualidade dos dados digitais referentes a presença de vazios (dados sem valores). Em virtude da disponibilidade de dados e da ausência de erros digitais sobre a área da bacia do Arroio Cambaí, optou-se, por tanto, por utilizar os modelos obtidos, a metodologia aplicada detalhada é apresentada na Figura 4. As características altimétricas dos MDEs seguem o padrão do bioma pampa, com pouca variação altimétrica.

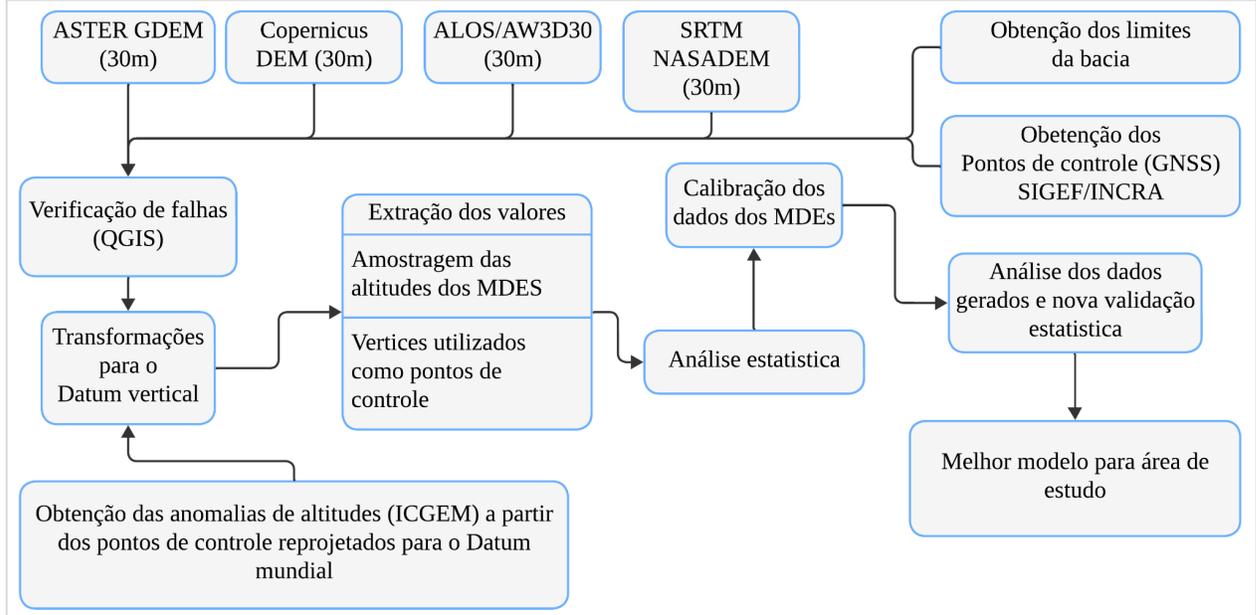
¹ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

² <https://opentopography.org/>

³ <https://panda.copernicus.eu/>

⁴ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Figura 4 - Diagrama da metodologia adotada.

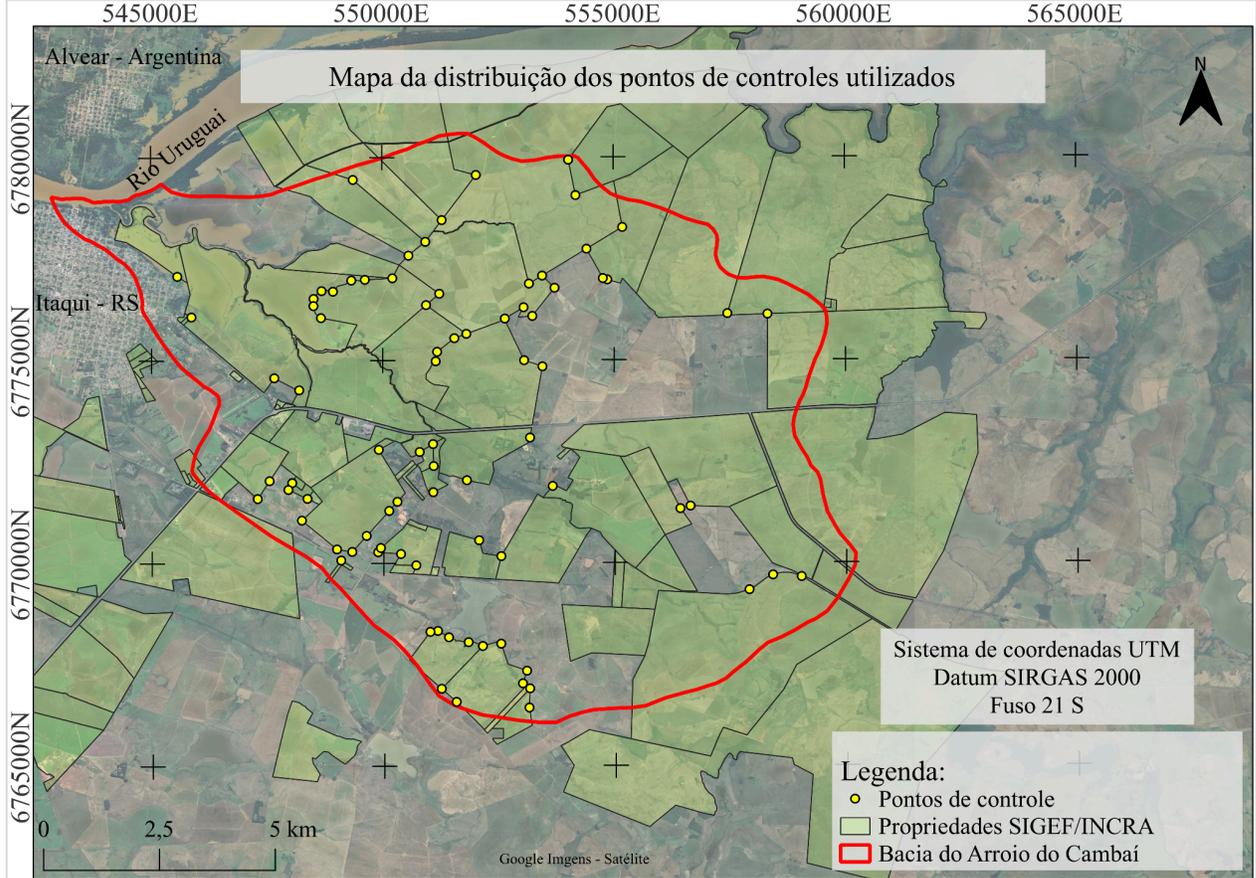


Fonte: Elaborado por Câmara (2024).

O conjunto de pontos de controle utilizados foram adquiridos por meio da plataforma governamental gerida pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), utilizando do conhecimento da área da bacia do Arroio, foram utilizados dados referentes aos processos de organização territorial (SIGEF)⁵. Os dados utilizados foram referentes aos limites territoriais das propriedades (vértices) dentro do perímetro da bacia. Os dados além de obedecer às normas técnicas de aceitação obedecem as normas profissionais do Conselho Nacional de Engenharia e Agronomia (CREA). Foram utilizados 81 vértices, como apresentado na Figura 5, como base para a análise estatística, dos 81 vértices 13 vértices são pontos que não possuem marcos de localização e 68 vértices em sua composição possuem a característica segundo sua classificação como marcos de divisão (concreto ou artificial). Embora os modelos tenham características de aquisição e sistemas de referência diferentes (Tabela 1) para a aplicação dos métodos estatísticos, foi utilizado um mesmo sistema de referência para todos os dados, re-projetados para o WGS84. As anomalias de altitude dos sistemas de referências foram convertidas utilizando a ferramenta online alemã ICGEM (*International Center for Global Gravity Fields Models*) (Centro Internacional para Modelos Globais de Campos Gravitacionais), resolvendo as anomalias para um mesmo sistema de referência (equação 4.4).

⁵ <https://sigef.incra.gov.br/>

Figura 5 - Distribuição dos pontos de controle.



Fonte: Elaborado por Câmara (2024).

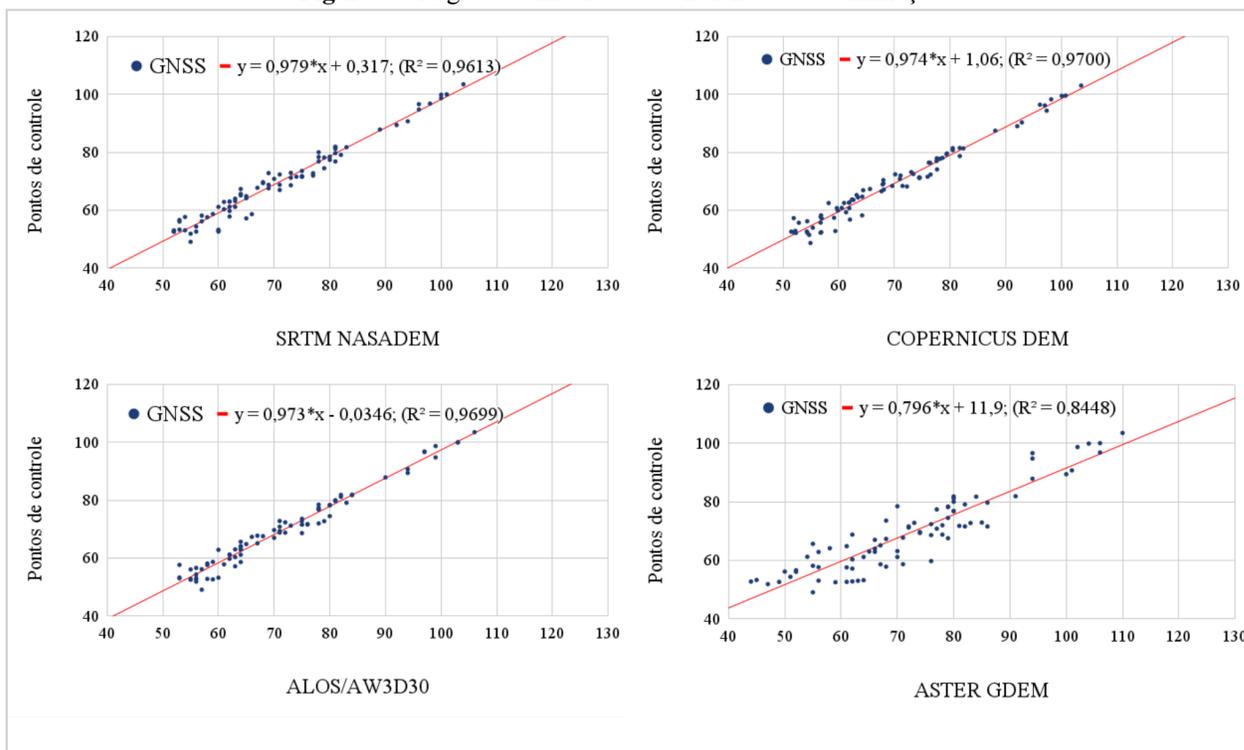
A partir dos dados utilizados buscando compreender as diferenças altimétricas de cada modelo em relação ao solo, foi utilizado o ambiente SIG - Quantum GIS (QGIS - Maidenhead version 3.36.1) para o geoprocessamento e em conjunto com planilhas para a aplicação da estatística descritiva. A distribuição dos pontos de controle na região da bacia, em conjunto com os dados utilizados explícitos em coordenadas geográficas (Anexo A). Aplicando a métrica RMSE (equação 4.3) obteve-se o erro referente na representação em cada MDE com base nos pontos de controle, e aplicando a equação de Regressão Linear (equação 4.1) obteve-se a equação que represente a relação dos pontos de controles e os MDEs (individual), em conjunto com o Coeficiente de Determinação (R^2), a metodologia de aplicação com base na estatística descritiva permitiu a obtenção da equação linear utilizada como ajuste para os modelos.

7 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos sob a qualidade altimétrica dos modelos originais e pós calibrados serviram de base para análise, os obtidos na primeira avaliação de cada modelo em relação às referências utilizadas retornaram valores próximos aos esperados (erros absolutos), na segunda iteração dos valores utilizando a métrica após a calibragem, retornou valores ainda menores nos modelos, objetivando a qualidade parcial de cada um dos modelos.

Na Figura 6, utilizando gráfico de dispersão, foi obtida a equação para o ajuste linear aplicado a cada MDE. Os gráficos demonstram a conexão dos pontos de controle com os dados referentes a cada modelo. A diferença observada no MDE ASTER GDEM em relação aos demais modelos indicou uma menor precisão, destacando a técnica utilizada na aquisição dos dados de cada modelo (Tabela 1). De acordo com os dados obtidos, a técnica de aquisição por meio de imagens estereoscópicas não demonstrou a mesma precisão quando comparada à técnica InSAR.

Figura 6 - Regressão lineares e Coeficiente de determinação.



Fonte: Elaborado por Câmpara (2024).

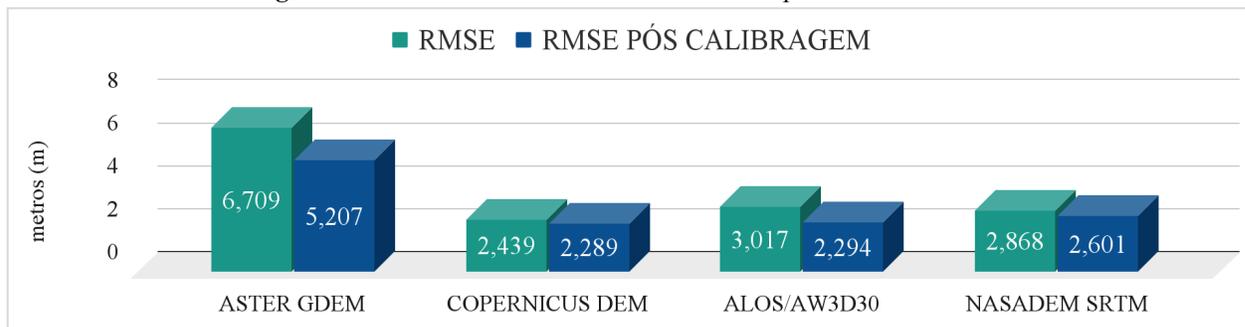
Os valores obtidos do Coeficiente de Determinação em relação aos modelos mostraram que os modelos do ALOS/AW3D30 e o modelo Copernicus DEM (COP-30) obtiveram

resultados mais satisfatórios em relação aos outros modelos. Segundo o Coeficiente de Determinação os modelos obtiveram 96,97% e 97,00% de correlação em relação aos pontos de controle, o MDE Copernicus DEM tenha obtido o menor erro, obtendo uma forte correlação inicial e após a aplicação da calibragem, obtendo ainda o melhor resultado, os demais mostraram variações significativas sobre o erro absoluto dos MDEs analisados.

Após a aplicação da métrica RMSE, os modelos obtiveram uma relação positiva, ou seja, um melhoramento na precisão vertical apontando o MDE Copernicus DEM como o de melhor acurácia (RMSE = 2,439 m) para a região, com o ajuste linear obteve-se uma melhora de 6,13 % (2,289 m) na qualidade altimétrica, permitindo uma representação mais fiel da superfície do Arroio. O modelo NASADEM (RMSE = 2,868 m) obteve uma melhora de 9,30% (2,601 m), o ALOS (RMSE = 3,017 m) uma melhora 23,95%, e o modelo ASTER GDEM (RMSE = 6,709 m) uma melhora de 22,39% (5,207) (Figura 7). Em ordem o trabalho obteve como melhores resultados o modelo, Copernicus DEM, seguido o ALOS, SRTM NASADEM e por último, o modelo ASTER GDEM.

As precisões obtidas e às concordância de cada modelo em seus metadados foram próximas, o modelo Copernicus DEM declara uma precisão menor que 4 m e obteve 2,44 m, o ASTER GDEM declarado uma precisão de 6 m para a américa do sul e obteve 6.71 m, o ALOS/AW3D30 declarado uma precisão de 5 metros e obteve 3,02 m e o modelo SRTM NASADEM declarado uma precisão de 5 à 6 m e obteve 2,87 m.

Figura 7 - Gráficos dos valores dos erros obtidos pela métrica RMSE.



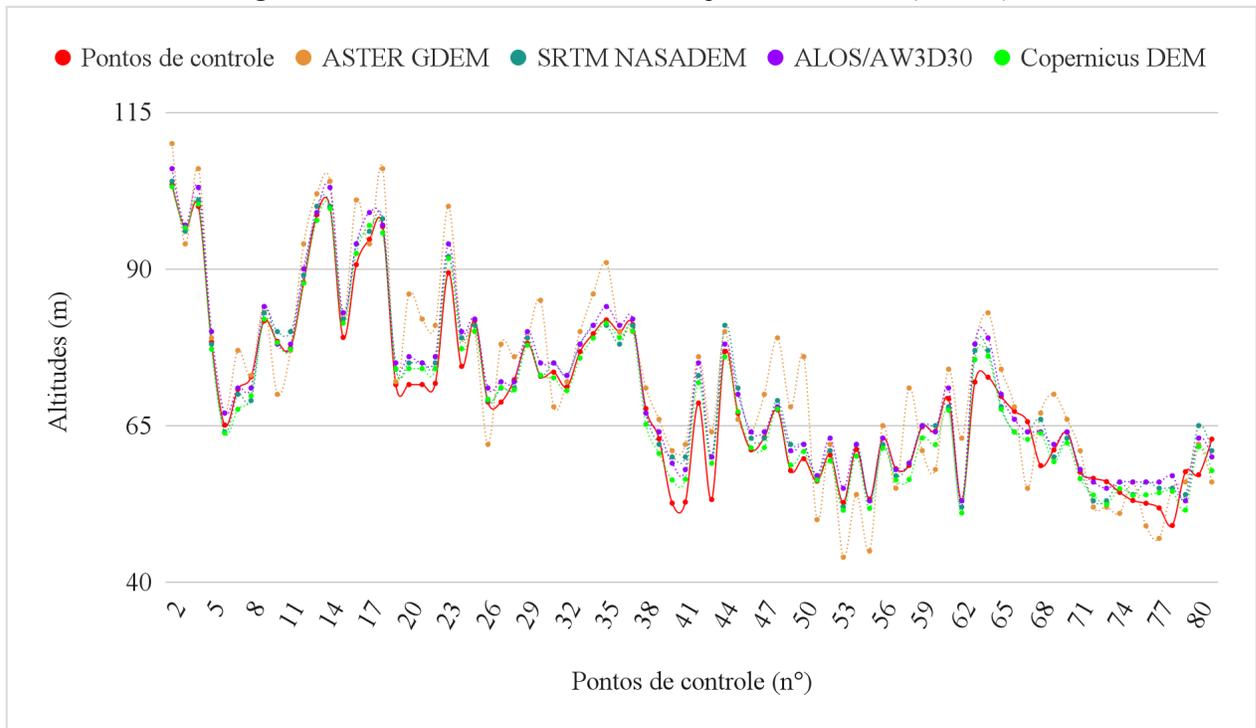
Fonte: Elaborado por Câmpara (2024).

Nas Figuras 8 e 9 as altitudes dos modelos em relação aos pontos de controle, demonstrando a aproximação e a dispersão dos dados dos modelos em relação à superfície em conjunto. Na Figura 8 as altitudes não calibradas com a integração de todos os MDEs utilizados

neste estudo, nos pontos de controle de número 44 a 56, notasse a extrapolação do MDE ASTER GDEM, positivamente e negativamente em relação aos dados da superfície. Na Figura 9 as altitudes do MDE com melhor resultado, antes e após a calibração, notoriamente nos pontos de controles de número 17 a 23 os valores aproximaram-se aos valores de referência após a calibração, demonstrando a aplicação do ajuste, sendo possível analisar as convergências e as divergências dos modelos em relação aos pontos de controle.

Na região litorânea da bacia do rio São Domingos no estado Rio de Janeiro na região costeira, utilizando 212 pontos de controle a partir de equipamentos GNSS e os resultados alcançados em relação aos pontos de controle aplicando RMSE nos MDEs do SRTM e do ASTER GDEM obtiveram uma precisão vertical absoluta de aproximadamente 12 m para o SRTM e 37 m para o modelo ASTER GDEM. A diferença em relação aos pontos de controle sobre a métrica pode ser explicada pela localização do estudo (característico do bioma Mata atlântica), ao se tratar de um aumento da declividade e a localização dos pontos de controle são considerados como interferência nos valores para a análise do erro (Chagas *et al.*, 2010).

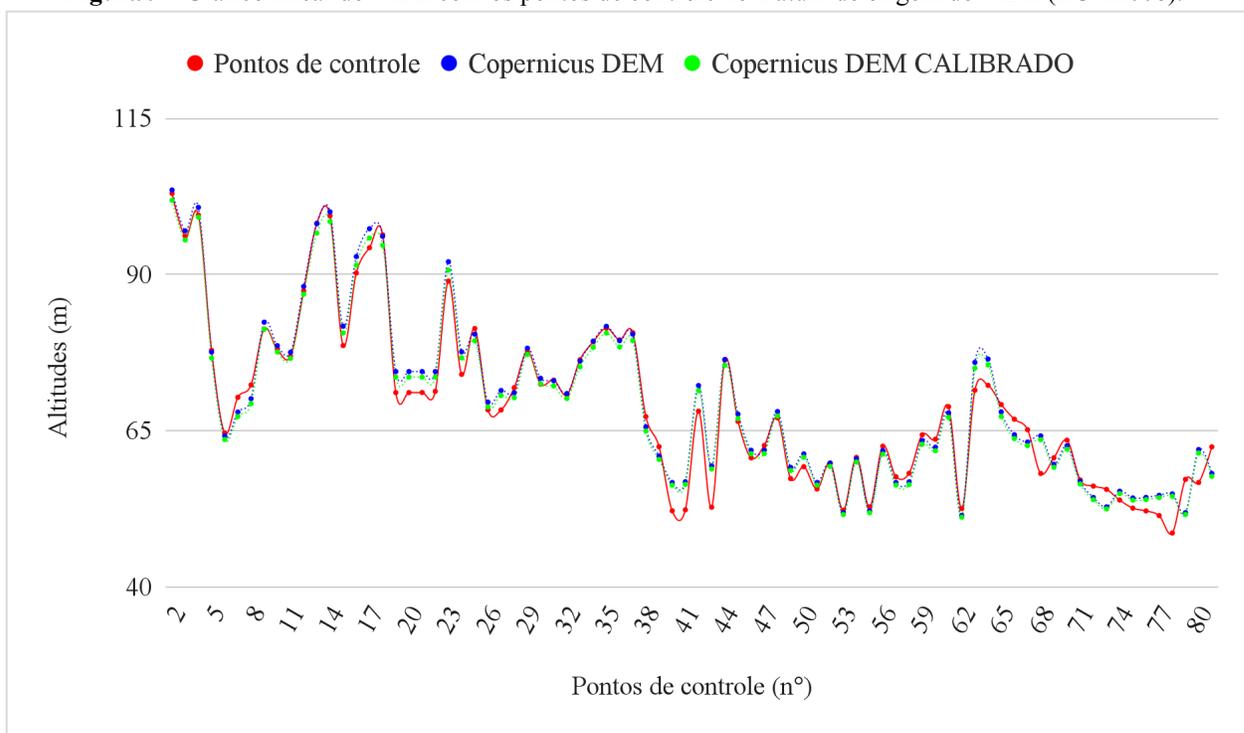
Figura 8 - Gráfico linear dos MDEs com os pontos de controle (EGM96).



Fonte: Elaborado por Câmpara (2024).

A calibração do modelo permitiu o conhecimento das precisões verticais absolutas do MDE, em destaque para o Copernicus DEM, os dados dentro do perímetro do Arroio com o modelo genuíno no geopotencial EGM2008 variaram de 115,75 m (máximo) à 45,68 m (mínimo) com uma variação 70,07 m e o modelo com os dados calibrados variaram de 48,51 m à 102,57 m com uma variação de 54,06 m (Tabela 1). A calibração utilizando equação linear para ajustar o modelo, gerando um novo modelo calibrado permitiu visualizar a diferença entre os modelos sob as altimetrias máximas e mínimas, sendo possível observar que os valores do modelo foram ajustados, e demonstrando a variação dos valores integrais dentro do perímetro da bacia.

Figura 9 - Gráfico linear do MDE com os pontos de controle no Datum de origem do MDE (EGM2008).



Fonte: Elaborado por Câmpara (2024).

Outras aplicações com MDE Copernicus DEM na região do estado do Goiás e do Distrito Federal (Cerrado brasileiro) o MDE obteve um RMSE de 1,98 m utilizando 317 pontos de controle obtidos pelo SGB e retornando o modelo que melhor se adequa a região aplicada, o valor para a região do cerrado foi próximo ao valor obtido por este estudo (2,44 m), e as especificações técnicas de um erro menor que 4 m de precisão salientando como o modelo com melhor acurácia vertical (Cremon *et al.*, 2022).

Tabela 1 - Metadados.

	NASADEM	AW3D30	COPERNICUS	ASTER	GNSS
Gerador/distribuidor	NASA/USGS	JAXA	DLR/ESA	METI/NASA	INCRA/SIGEF
Cobertura	60°N e S	60°N e S	50°N e S	83°N e S	-
Resolução (m)	Aprox. 30	Aprox. 30	Aprox. 30	Aprox. 30	-
h max genuína (m)	114,00	115,00	115,75	133,00	116,32
h min genuína (m)	41,00	44,00	45,68	34,00	55,23
Datum horizontal	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	SIRGAS 2000
Datum vertical	EGM96	EGM96	EGM2008	EGM96	SIRGAS 2000
RMSE (m)	2,868	3,017	2,439	6,709	-
RMSE pós calibragem (m)	2,601	2,294	2,289	5,207	-
Melhora %	9,30%	23,95%	6,13%	22,39%	-
Coefficiente R ²	96,12%	96,99%	97,00%	84,48%	-
Técnica de aquisição	InSAR	InSAR	InSAR	Imagens estéreo	GNSS

Fonte: Elaborado por Câmpara (2024) dados extraídos dos modelos.

Sobre a aplicação da métrica no Mato Grosso do Sul utilizando para os modelos do SRTM (30 m), SRTM (90 m), TOPODATA (30 m) e o ASTER GDEM (30 m). Os valores retornaram o SRTM (30 m) como o modelo mais adequado para a região de estudo com RMSE de 3,21 m para a região total do estado, com aproximadamente 357 milhões de metros quadrados. Seguido do MDE SRTM (90 m) com 3,41 m, TOPODATA com 3,64 m e ASTER GDEM com 6,04 m. Os resultados obtidos em relação aos utilizados no trabalho foram semelhantes aos obtidos neste estudo, demonstrando as variações dos modelos e aprovando a aplicação dos métodos estatísticos aos modelos do ASTER GDEM e do SRTM (30 m) (Marini *et al.*, 2017).

Na região de Rio Grande do Norte, mais especificamente na bacia hidrográfica de Piranhas-Assú utilizando o MDE SRTM (30 m) obteve inicialmente utilizando 110 pontos de controle um RMSE de 3,10 m e aplicando a metodologia exposta de calibração obtiveram uma melhora de 26% retornando um RMSE de 2,30 m (Araújo *et al.*, 2018). Na aplicação do mesmo MDE para a região urbana do município de Itaqui/RS (estudo de caso) foi obtido um valor de RMSE de 3,14 m utilizando 700 (setecentos) pontos de controle para a análise e calibração, após a calibragem o modelo teve uma melhora significativa de 68,15% com um valor de RMSE de 1,00 m para uma área de aproximadamente 20 milhões de metros quadrados. Os valores sobre o MDE SRTM para a região do Rio Grande do Norte e para o estudo de caso realizado foram próximos ao obtido no Arroio Cambaí, porém a distribuição e quantidade dos pontos utilizados

em relação à área pode ser auto explicativa para a obtenção do valor após calibrado, melhorando significativamente a qualidade os detalhes que para a aplicação do modelo (Araújo *et al.*, 2019).

Por fim os resultados obtidos foram satisfatórios em relação aos trabalhos estudados para esta seção e as fichas técnicas de cada modelo, objetivando esclarecer a partir da estatística descritiva o modelo que melhor se adequa a região e empregando método de calibração por meio da equação linear como uma ferramenta de melhora para os dados digitais, esclarecendo a importância da aplicação de uma análise para o emprego de MDEs de versão quase global.

8 - CONCLUSÕES

Os MDEs em grande maioria contribuem com informações importantes sobre o relevo e a análise empregada destacou a importância do conhecimento da qualidade altimétrica e acurácia para cada modelo observado, em destaque a importância de uma análise a base de critérios técnicos com o intuito de calibrar o modelo que melhor se adequa à região da bacia, evidenciando ser uma análise esclarecedora da precisão regional dos MDEs.

Embora a utilização de MDEs como uma referência da superfície e não como dado real da superfície, a aquisição das precisões absolutas dos modelos permitiu uma análise detalhada desses erros relativos das altimetrias. Isso resultou na identificação do modelo que melhor representa a região, em conjunto com a melhoria do modelo a partir da metodologia de calibração. Em suma, o modelo calibrado apresenta um menor erro vertical a partir dos pontos de controle utilizados, desta maneira o estudo contribui para a escolha do modelo que melhor se adequa a região do Arroio e podendo servir para diversas áreas da ciência futuramente.

A utilização de dados disponíveis pela plataforma de gestão fundiária (SIGEF) como referencial da superfície para com pontos de controle, utilizado no trabalho possibilitou avaliar os MDEs para o Arroio Cambaí com uma área de aproximadamente 150 milhões de metros quadrados no município sem a necessidade de qualquer tipo de trabalho a campo. A análise mostrou que os MDEs seguem o padrão de exatidão vertical exposto pelas fichas técnicas e que as variações das acurácias verticais referentes a cada modelo mostraram uma aproximação de acordo com os metadados dos modelos disponibilizados para a região do Arroio Cambaí.

As precisões dos pontos de controle predominantemente com exatidão centimétrica da superfície na geração de um novo modelo calibrado, e utilizando dados sobre as cotas do rio

Uruguai na representação da amplitude do rio dentro do perímetro do Arroio. Este estudo levou em consideração todos os parâmetros dos dados utilizados, incluindo o sistema de referência dos modelos, pontos de controle, e anomalias nos pontos de controle em relação dos modelos geométricos aos modelos globais do geopotencial das superfícies altimétricas do rio Uruguai obtidos de fontes governamentais a partir dos sítios webs.

O modelo que se mostrou mais adequado para a região do Arroio foi o Copernicus DEM (COP-30) com resolução de 30 metros, tanto antes quanto após a calibração. Entretanto, o modelo ALOS/AW3D30 apresentou resultados comparáveis, demonstrando que ambos são eficazes e com melhores acurácia vertical para representar a área, em uma colocação sequencial obteve-se o modelo Copernicus DEM em primeiro lugar, seguido pelo ALOS/AW3D30 ambos calibrados. Esses modelos podem ser empregados para representações altimétricas nesta região, seguindo a proposta de calibração. Recomenda-se que estudos futuros integrem análises complementares sobre a precisão horizontal e a adição de mais pontos de controle distribuídos.

REFERÊNCIAS

- ADIRI, Z.; LHISSOU, R.; MAACHA, L.; JILALI, A.; TALBI, E.; JELLOULI, A.; CHAKOURI, M. Comparison of ASTER GDEM, SRTM, NASADEM, TanDEM-X90, AW3D30, and ALOS PALSAR data with TanDEM-X12: a case study of Tagragra of Akka inlier, Moroccan Anti-Atlas. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 21, 2022. Disponível em: <https://link-springer-com.ez96.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12517-022-10885-x>. Acesso em: 24 abr. 2024.
- ARAÚJO, P. V. N.; AMARO, V. E.; ALCOFORADO, A. V. C.; SANTOS, A. L. S. Acurácia Vertical e Calibração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para a Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu, Rio Grande do Norte, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, p. 351-364, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/27784>. Acesso em: 24 abr. 2024.
- ARAÚJO, P. V. N.; AMARO, V. E.; SILVA, R. M.; LOPES, A. B. Delimitation of flood areas based on a calibrated DEM and geoprocessing: case study on the Uruguay River, Itaquí, southern Brazil. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 2019. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/19/237/2019/nhess-19-237-2019.pdf>. Acesso em: 24 maio 2024.
- ASTER. **Global Digital Elevation Map**. Cabo Canaveral/Flórida: California Institute of Technology, 1p. 2024. Disponível em: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Acesso em: 14 set. 2024.
- ALOS WORLD. **ALOS WORLD - AW3D30, DATA SETEORC**. Tsukuba-city: Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 2p. 2024. Disponível em: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm. Acesso em: set. 2024.
- BIFFI, L. J.; JARENSKOW, G. L.; FRANCHINI, R. L.; VIEIRA, R. M.; NETO, S. L. R.; CORDEIRO, M. T. A. Comparação de modelos digitais de elevação de SRTM e ASTER com modelo de elevação de grande escala do município de Lages - SC. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 16., 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4647–4652. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.46.33/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- BRASIL. IBGE. **RPR 01/2005. Providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil**. Resolução da Presidência. Rio de Janeiro, 1p. 2015. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf. Acesso em: 5 set. 2024.
- BRASIL. IBGE. **Rio Grande do Sul**. Territórios brasileiros. Rio de Janeiro, 1p. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. Acesso em: 5 abr. 2024.
- BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; COUTO, E. G. Combinação das bandas do SWIR e TIR do sensor ASTER para identificar solos quartzosos e áreas degradadas associadas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14., 2009, Natal. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7669–7676. Disponível em: https://www.academia.edu/2954157/Combina%C3%A7%C3%A3o_das_bandas_do_SWIR_e_TIR_do_sensor_ASTER_para_identificar_solos_quartzosos_e_%C3%A1reas_degradadas_associadas. Acesso em: set. 2024.

CERETTA, J. V.; DAL FORNO, M. A. R.; BERETTA, M. D. R.; WIVES, D. G.; FIGUEIREDO, L. S. Desenvolvimento rural e economia local: evolução e diferenciação dos sistemas agrários e o surgimento e a consolidação da rizicultura no município de Itaqui. **Revista do Desenvolvimento Regional - Faccat**, Taquara, v. 11, n. 1, p. 1-22, jan./jun. 2014. DOI:10.26767/coloquio.v11i1.89. Acesso em: 29 jul. 2024.

CHAGAS, C. S.; FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; JUNIOR, W. C.; NETO, N. C. S. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Brasília - DF, v. 14, n. 2, p. 218–226, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200014>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

CHEIN, Flávia. **Introdução aos modelos de regressão linear**: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas. Brasília: ENAP, 2019, 76p. ISBN: 978-85-256-0115-5. Disponível em: https://professor.ufrgs.br/dagnino/files/chein_2019_livro_regressao_linear.pdf. Acesso em: 9 set. 2024.

COPERNICUS DEM. **Global and European Digital Elevation Model**. Brussels, Belgium: Programme of the European Union, 1p. 2024. Disponível em: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/copernicus-contributing-missions/collections-description/COP-DEM>. Acesso em: 30 set. 2024.

CREMON, E. H.; BETTIOL, G. M.; JÚNIOR, J. P. M.; MACEDO, F. C.; RABELO, W. O. Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo, v. 74, n. 3, p. 536–546, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv74n3-60846>. Acesso em: 10 de set de 2024.

FLORINSKY, Igor. V. **Digital terrain analysis in soil science and geology**. 1. ed. Rússia: Elsevier, 2012, 432p.

FRACZEK, Witold. **Mean sea level, GPS, and the geoid**. Esri Applications Prototype Lab, 2003. Disponível em: <http://www.esri.com/news/arcuser/0703/geoid1of3.html>. Acesso em: 10 set. 2024.

GROHMANN, C. H. **Análise digital de terreno: aplicações em geologia e geomorfologia**. São Paulo, 2015. 177 f. Tese (Livre-docência em Sensoriamento e Geoprocessamento) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 2015.

(INCRA) INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. 2. ed. Brasília, 2010, 4p. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: abr. 2024.

(INCRA) INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. 3. ed. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.incra.gov.br>. Acesso em: abr. 2024.

JUNIOR, J. A. S.; JUNIOR, U. J. S.; PACHECO, A. P.; SANTOS, A. G. A. Análise de acurácia altimétrica para dados ALOS PALSAR e ASTER GDEM para o município do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba - PR, v. 10, n. 2, p. 117–139, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v10n2.14969>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. **Understanding GPS/GNSS: principles and applications**. 3. ed. Norwood: Artech House, 2006.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba - PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4003. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/888265/analise-comparativa-entre-os-modelos-digitais-de-elevacao-aster-srtm-e-topodata>. Acesso em: 30 de abril de 2024.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. Boca Raton: CRC Press, 2005, 323p.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 2013, 496p.

LOUSADA, G.; FERNANDES, M. C. Avaliação da precisão vertical de modelos digitais de elevação e análise de tendência em diferentes domínios geomorfológicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 69, n. 7, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv69n7-43987>. Acesso em 5 de maio de 2024.

MELGAÇO, L. M.; FILHO, C. R. S.; STEINMAYER, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1215–1220. Disponível em: https://www.academia.edu/40396022/Compara%C3%A7%C3%A3o_entre_modelos_digitais_de_eleva%C3%A7%C3%A3o_gerados_por_sensores_%C3%B3pticos_e_por_radar. Acesso em: 15 maio 2024.

MARINI, L. B.; JUNIOR, J. M.; RAMOS, A. M.; FILHO, A. C. P.; BARROS, W.; HIGA, L. T. Análise da acurácia altimétrica dos modelos digitais de superfície SRTM, Aster e Topodata e aplicação na representação 3D do Pantanal da Nhecolândia. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 40, n. 3, p. 48-54, 2017. ISSN 0101-9759. DOI: https://doi.org/10.11137/2017_3_48_54. Acesso em: 10 set 2014.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de monitoramento**. Campinas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018, 2p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes>. Acesso em: 23 mar. 2024.

MUKUL, M.; SRIVASTAVA, V.; MUKUL, M. Accuracy analysis of the 2014–2015 Global Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 arc-sec C-Band height model using International Global Navigation Satellite System Service (IGS) Network. **J Earth Syst Sci**, v. 125, p. 909–917, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12040-016-0716-8>. Acesso em: 24 Maio 2014.

NASADEM. **Creating a New NASA Digital Elevation Model and Associated Products**. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 2024, 1p. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/about/competitive-programs/measures/new-nasa-digital-elevation-model>. Acesso em: set. 2024.

OLIVEIRA, Júlio Storion de Oliveira. **Avaliação de modelo de elevação na estimativa da perda de solo em ambiente SIG**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.

PAKOKSUNG, K.; TAKAGI, M. Assessment and comparison of Digital Elevation Model (DEM) products in varying topographic, land cover regions and its attribute: a case study in Shikoku Island Japan.

Modeling Earth Systems and Environment, Cham, v. 7, n. 1, p. 465–484, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-020-00891-x#Bib1>. Acesso em: 25 de maio de 2024.

PIGATTO, A. G. S.; LOPES, M. P. A classificação dos biomas brasileiros em livros didáticos de biologia. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, EUROPEUB Publicaciones Europeas Lda, Portugal, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/atlante/2019/07/livros-didaticos-biologia.html>. Acesso em: jun. 2024.

RADEMANN, L. K.; SOARES, M. A. D.; TRENTIN, R.; SCHNORR, G. G. Influência dos Group Control Points (GCPS) na acurácia de produtos cartográficos gerados por veículos aéreos não tripulados (VANTS) em área de variação altimétrica. **Revista de Geociências Acadêmicas**, Rio Claro, v. 18, n. 1, 2019. ISSN 1678-7226. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/download/7928/4001/32204>. Acesso em: 29 jul. 2024.

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. S. Enchentes do rio Uruguai no Rio Grande do Sul, entre 1980 e 2005: uma análise geográfica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia - MG, v 22 n 1, p 35-54, abril 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3213/321327197004.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2024.

SÁNCHEZ, E. P.; VILLARÁN, R. F. "SRTM 3" comparison with local information: two examples at national level in Peru. **Journal of Applied Geodesy**, Berlim, v. 6, n. 2, p. 75–81, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/jag-2011-0016>. Acesso em: 24 maio 2024.

SANTOS, Juliomar Sousa. **Uso do QSWAT+ para modelagem hidrológica na microbacia do arroio Cambaí em Itaqui, RS**. 2020. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Exatas e Tecnologia) – Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2020.

SANTOS, B. Z.; GASS, S. L. B. Correlação entre temperatura de superfície e índice de vegetação por diferença normalizada a partir de imagens do satélite LANDSAT-8 na bacia hidrográfica do Arroio Cambaí, Itaqui - RS. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 20., 2023, São José dos Campos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/correlacao-entre-temperatura-de-superficie-e-indice-de-vegetacao-por-diferenca-n?lang=en>. Acesso em: 29 jul. 2024.

SAUERESSIG, Silene Raquel. **Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaqui**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SHETTY, S.; VAISHNAVI, P. C.; UMESH, P.; SHETTY, A. Vertical accuracy assessment of open source digital elevation models under varying elevation and land cover in Western Ghats of India. **Modeling Earth Systems and Environment**, Cham, v. 8, n. 1, p. 883–895, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01119-2>. Acesso em: 5 de set de 2024.

SILVA, R. M.; MOREIRA, V. S.; LOPES, A. B.; ARAÚJO, P. V. N.; CORTES, A. F. Proposta metodológica de alta acurácia para delimitação de áreas de inundação urbana: um estudo de caso em Itaqui-RS, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v. 43, n. 2, p. 263-276, 2020. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_2_263_276. Acesso em: 24 abr. 2024.

SILVEIRA, Gelson Siqueira. **Impactos ambientais resultantes da rizicultura mecanizada no município de Itaqui - RS**. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVEIRA, G. V.; GUASSELLI, L. A. Eventos de inundações em Itaqui/RS, no rio Uruguai. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 19., 2019, São Paulo. *Anais...* São Paulo: INPE, 2019. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/09.20.12.28/doc/97625.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

TEIXEIRA, R. C.; BRITO, G. H. M.; ANTUNES, A. M.; ROCHA, I. J. F. Avaliação dos modelos digitais de elevação (MDE) derivados de imagens de sensoriamento remoto orbital. **Científica – Multidisciplinary Journal**, Goianésia - GO, v. 5, n. 2, p. 45–51, p. 2255-2268, 2018. ISSN 2358-260X. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2255-2268>. Acesso em: 12 dez. 2024.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; JUNIOR, C. W. M. Avaliação da acurácia vertical dos modelos digitais de elevação SRT, ALOS World 3D e ASTER GDEM: um estudo de caso dos Vinhedos, RS - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio Grande do Sul, v. 13, n. 5, p. 2255–2268, 2020. ISSN 1984-2295. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2255-2268>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

YOGI, F.; STANGANINI, F. N. Comparação e avaliação de modelos digitais de elevação dos sensores SRTM, ASTER, TANDEM/TERRASAR-X, NASADEM, Copernicus DEM e ALOS PALSAR para análise digital de terreno para aplicações no saneamento básico. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 12, n. 1, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39350>. Acesso em: 10 set de 2024.

ANEXOS

Anexo A - Tabela com os vértices utilizados.

n°	CÓDIGO SIGEF/INCRA SIRGAS 2000	LONG	LAT	Altitude Elipsoidal
1	ZUMA-P-0113	-56.39280562	-29.20050710	103,443
2	ZUMA-P-0126	-56.40440129	-29.20343633	96,565
3	ZUMA-P-0129	-56.39916514	-29.20014373	99,969
4	ACX-M-5332	-56.41976389	-29.18541028	78,332
5	ACX-M-5320	-56.44814056	-29.18046389	65,089
6	ENCE-M-2519	-56.46447843	-29.19255942	70,793
7	ENCE-M-2521	-56.45954589	-29.19608337	72,783
8	BOE-M-0339	-56.48184861	-29.19561528	81,717
9	BOE-M-0340	-56.48691778	-29.19522389	78,435
10	BOE-M-0341	-56.48631806	-29.19428278	77,355
11	BOE-M-0336	-56.47844944	-29.19813694	87,827
12	HBOB-M-1618	-56.45314332	-29.22550503	98,648
13	HBOB-M-1619	-56.45329806	-29.22976802	99,835
14	ENCE-M-3528	-56.45957066	-29.21555991	79,067
15	ENCE-M-3530	-56.45383369	-29.22157392	90,684
16	ENCE-M-3531	-56.45474603	-29.22438222	94,725
17	ENCE-M-3535	-56.46947529	-29.22850966	96,782
18	ENCE-P-3467	-56.47363438	-29.21273323	71,539
19	ENCE-P-3479	-56.47118115	-29.21415248	71,544
20	ENCE-P-3563	-56.46681128	-29.21523471	71,553
21	ENCE-M-3520	-56.46364616	-29.21608182	71,740
22	ENCE-M-3521	-56.47278155	-29.22560435	89,374
23	ENCE-M-3525	-56.47531218	-29.21294245	74,458
24	FXED-M-0026	-56.49512658	-29.19706645	81,788
25	BOE-M-0176	-56.51104749	-29.17942349	68,761
26	BOE-M-0177	-56.51368661	-29.18341490	68,753
27	ENCE-M-3094	-56.50602083	-29.17984891	72,323
28	FXED-M-0016	-56.50262786	-29.18336173	78,148
29	ENCE-M-3220	-56.50686765	-29.18137898	72,879
30	CMVN-M-1413	-56.48678944	-29.17243972	73,532
31	CMVN-M-1418	-56.48264194	-29.18401417	71,175
32	CMVN-M-1419	-56.48446611	-29.18603861	76,800
33	CMVN-M-1424	-56.48947528	-29.19159278	79,665
34	CMVN-M-1427	-56.49268111	-29.19515361	81,865
35	CMVN-M-1430	-56.49606944	-29.19459806	79,967
36	CMVN-M-1431	-56.50386639	-29.18819556	81,123
37	ENCE-M-0297	-56.47769542	-29.17292435	67,714
38	ENCE-M-0286	-56.47466763	-29.18187053	62,892
39	ENCE-M-0360	-56.47458015	-29.17604899	52,629
40	ENCE-M-0359	-56.47473093	-29.17115928	52,792
41	ENCE-M-3131	-56.45318052	-29.16970277	68,592

n°	CÓDIGO SIGEF/INCRA SIRGAS 2000	LONG	LAT	Altitude Elipsoidal
42	ENCE-M-3140	-56.46720109	-29.17920377	53,209
43	ENCE-M-3159	-56.40043062	-29.14211956	76,803
44	HBOB-M-0350	-56.40933861	-29.14201333	66,968
45	ENCE-M-3517	-56.43601992	-29.13451497	61,129
46	ENCE-M-3518	-56.43701059	-29.13421750	63,121
47	BOE-M-0497	-56.44472500	-29.10788972	67,529
48	BOE-M-0498	-56.44310444	-29.11576500	57,816
49	BOE-M-0500	-56.43270250	-29.12284444	59,719
50	BOE-M-0501	-56.44065444	-29.12768389	56,145
51	BOE-M-0452	-56.46524444	-29.11129139	60,308
52	BOE-M-0451	-56.47283000	-29.12133528	52,740
53	BOE-M-0457	-56.49258167	-29.11239889	61,182
54	BOE-M-0033	-56.48021556	-29.12924194	53,272
55	BOE-M-0015	-56.45344250	-29.13545278	62,993
56	BOE-M-0016	-56.45050889	-29.13367361	58,113
57	BOE-M-0017	-56.44774028	-29.13637278	58,659
58	BOE-M-0018	-56.45268639	-29.14264806	64,815
59	BOE-M-0020	-56.45462111	-29.14072000	64,111
60	BOE-M-0021	-56.45879111	-29.14323222	69,312
61	BOE-M-0035	-56.47646778	-29.12616167	53,006
62	ENCE-M-3124	-56.45450291	-29.15249998	71,946
63	ENCE-M-3126	-56.45042749	-29.15385422	72,721
64	BOE-M-0023	-56.46734167	-29.14663583	69,651
65	ENCE-M-3222	-56.47000765	-29.14760429	67,298
66	ENCE-M-3223	-56.47382923	-29.15063181	65,617
67	ENCE-M-3225	-56.47414863	-29.15274072	58,615
68	BOE-M-0025	-56.47335639	-29.13771472	61,119
69	BOE-M-0024	-56.47629500	-29.14025417	63,941
70	BOE-M-0028	-56.48378972	-29.13428389	57,572
71	BM7-P-0383	-56.48989528	-29.13462861	56,588
72	BM7-P-0386	-56.49290639	-29.13479333	56,060
73	BM7-P-0392	-56.49698583	-29.13727278	54,349
74	BM7-P-0398	-56.49951556	-29.13714694	53,053
75	BM7-P-0401	-56.50128556	-29.13888639	52,607
76	BM7-P-0402	-56.50130889	-29.14047500	51,856
77	BM7-P-0405	-56.49964056	-29.14314944	49,069
78	ENCE-M-2768	-56.50448069	-29.15921160	57,647
79	ENCE-M-2770	-56.51000907	-29.15653166	57,152
80	ENCE-M-2784	-56.52842484	-29.14300419	62,834
81	DMT-M-0691	-56.53156740	-29.13396243	52,509