



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA



CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL DOS MODELOS
DIGITAIS DE ELEVAÇÃO SRTM, ALOS WORLD 3D, NASADEM
PARA AS PROVÍNCIAS GEOMORFOLÓGICAS NO ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL**

MORVANA MACHADO

Porto Alegre – RS

2023

MORVANA MACHADO

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL DOS MODELOS
DIGITAIS DE ELEVAÇÃO SRTM, ALOS WORLD 3D, NASADEM
PARA AS PROVÍNCIAS GEOMORFOLÓGICAS NO ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadores:

Professor Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho

Professor Dr. Sérgio Florencio de Souza

Porto Alegre – RS

2023

Machado, Morvana

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO SRTM, ALOS WORLD 3D, NASADEM PARA AS PROVÍNCIAS GEOMORFOLÓGICAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL / Morvana Machado. -- 2023.

76 f.

Orientador: Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho.

Coorientador: Dr. Sérgio Florencio de Souza.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Curso de Engenharia Cartográfica, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Modelos digitais de elevação. 2. PEC-PCD. 3. NASADEM. 4. SRTM. 5. ALOS WORLD 3D. I. de Oliveira Andrades Filho, Dr. Clódis, orient. II. Florencio de Souza, Dr. Sérgio, coorient. III. Título.

MORVANA MACHADO

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA VERTICAL DOS MODELOS
DIGITAIS DE ELEVAÇÃO SRTM, ALOS WORLD 3D, NASADEM
PARA AS PROVÍNCIAS GEOMORFOLÓGICAS NO ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheira Cartógrafa e Agrimensora” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Porto Alegre, 10 de abril de 2023

Professor Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho
Orientador

Professor Dr. Sérgio Florencio de Souza
Orientador

Banca Examinadora:

Dr. Fabio Corrêa Alves
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Professor Dr. Felipe Geremia Nievinski
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

AGRADECIMENTOS

Este é um momento muito especial no qual não poderia deixar de agradecer a algumas pessoas que se fizeram presentes nos momentos mais significativos durante a realização desta pesquisa.

Primeiramente, a Deus por tudo, a Ele seja dada toda a Honra e toda a Glória.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelos conhecimentos adquiridos e por toda a infraestrutura disponibilizada.

A todos os Professores do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, pelos grandes ensinamentos e pela ótima convivência durante todos esses anos.

Gostaria de agradecer ao Professor Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho, por acreditar em mim, pela paciência e ética, pela destreza que teve para comigo, pois possibilitou o desenvolvimento deste estudo colaborando não somente com a orientação dos dados, mas com as críticas e discussões, sempre me ensinando, sobretudo, a pensar melhor e a questionar o motivo das atitudes e revisar os fundamentos de uma decisão: “por que estou fazendo isso? O lugar é aqui mesmo?”, e também todo o incentivo que recebi para a conclusão deste trabalho.

Obrigada ao Professor Dr. Sérgio Florencio de Souza, pelas orientações sempre enriquecedoras, não somente pelas disciplinas cursadas com ele, mas também pelas contribuições pois melhoraram bastante o entendimento e a qualidade final e valorizaram os resultados encontrados.

Obrigada ao Professor e Dr. Felipe Geremia Nievinski, pelo apoio e disposição e dicas preciosas.

A todos os membros do Grupo Latitude, quem contribuíram para o meu crescimento, em especial à Engenheira Cartógrafa Beatriz da Rosa Cargnin, pelo auxílio sempre prestado e incentivo para seguir em frente.

À minha colega e amiga Andrea Rodrigues Fortes, sempre ouvindo e com uma palavra para me acalmar, atendendo nos meus momentos de desespero, e muitas das vezes se fez disponível para ajudar. Muito obrigada pela ajuda nos Softwares Cartográficos.

À minha família, principalmente aos meus filhos Ingrid e Lucas e ao meu esposo Fábio, minha mãe Nélia, por acreditarem em mim pois permitiu que eu chegasse até aqui, pela parceria, amizade, conselhos, ajuda, amor, carinho e compreensão durante todo esse tempo. Dedico também ao meu falecido Pai.

“Que a vida seja sempre
marcada de bons momentos,
o problema não é começar é
manter o mesmo coração de
quando começamos”.

(Nélia Macedo)

RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo realizar uma análise de acurácia posicional vertical comparativa entre os Modelos Digitais de Elevação (MDE) de abrangência global, disponíveis gratuitamente nos programas NASADEM, ALOS WORLD 3D (AW3D30) e SRTM. Esta análise foi baseada no Padrão Brasileiro de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), com as altitudes elipsoidais distintas entre os MDEs e fornecidas pelo Sistema Geodésico Brasileiro para utilização em cada Província Geomorfológica localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, onde sua topografia apresenta características naturais em sua composição. Para fins comparativos, utilizou-se o MDE interferométrico SRTM V.3 com resolução espacial de (~30 m) para 1146 referências de nível (RRNN), pois consiste em um dos MDE mais conhecidos, o qual apresentou resultados de melhor aderência junto as Referências de Nível, assim como, o MDE AW3D30 também com resolução espacial de (~30 m) obtido por estereoscopia aplicada a imagens ópticas, utilizou 1109 RRNN, no qual também apresentou aderência junto às Referências de Nível. Para o MDE NASADEM, utilizou-se 1800 RRNN e este MDE não atendeu os requisitos. Os MDEs apresentaram resultados distintos nas análises. De acordo com o PEC/PCD as tolerâncias do erro médio quadrático são compatíveis para oito escalas (de 1:25.000 à 1:50.000) e quatro classes de qualidade (que variam de A à D). Com os dados pertinentes e o PEC calculado para o Estado do Rio Grande do Sul, o modelo MDE NASADEM atende Classe C para a escala 1:50.000, o MDE SRTM atende Classe A na escala 1:50.000 enquanto para a Classe B atende para a escala 1:25.000 e escalas inferiores. O MDE AW3D30 atende a Classe A na escala 1:50.000, e para a Classe B o MDE atende para a escala 1:25.000 e escalas inferiores. Os resultados permitiram avaliar os modelos na forma global e por feições em unidades geomorfológicas. De acordo com a análise de acurácia vertical todos os modelos digitais de elevação estão adequados para utilização.

Palavras-chave: PEC-PCD, Relevo do RS, MDE, Altitude.

ABSTRACT

This research aimed to perform a comparative vertical positional accuracy analysis between Digital Elevation Models (MDE) of global coverage, freely available in the NASADEM, ALOS WORLD 3D (AW3D30) and SRTM programs. This analysis was based on the Brazilian Standard of Cartographic Accuracy for Digital Cartographic Products (PEC-PCD), with distinct ellipsoidal altitudes among the MDEs and provided by the Brazilian Geodesic System for use in each Geomorphologic Province located in the State of Rio Grande do Sul, where its topography presents natural characteristics in its composition. For comparative purposes, we used the interferometric MDE SRTM V.3 with spatial resolution of (~30 m) for 1146 level references (RRNN), because it is one of the best known MDE, which showed better adherence results with the Level References, as well as, the MDE AW3D30 also with spatial resolution of (~30 m) obtained by stereoscopy applied to optical images, used 1109 RRNN, which also showed adherence with the Level References. For the NASADEM MDE, 1800 RRNN were used and this MDE did not meet the requirements. The MDEs presented distinct results in the analyses. According to the PEC/PCD the mean square error tolerances are compatible for eight scales (from 1:25.000 to 1:50.000) and four quality classes (ranging from A to D). With the pertinent data and the calculated PEC for the State of Rio Grande do Sul, the NASADEM MDE model meets Class C for scale 1:50.000, the SRTM MDE meets Class A at scale 1:50.000 while for Class B meets for scale 1:25.000 and lower scales. The AW3D30 MDE meets Class A at scale 1:50.000, and for Class B the MDE meets for scale 1:25.000 and smaller scales. The results allowed us to evaluate the models globally and by features in geomorphological units. According to the vertical accuracy analysis all digital elevation models are suitable for use.

Keywords: PEC-PCD, Relief of RS, MDE, Altitude.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição das antenas SAR no ônibus espacial Endeavour	22
Figura 2 - Geometria de funcionamento do sensor PRISM	25
Figura 3 - Extração das RRNN fornecidos pelo IBGE	30
Figura 4 - RRNN 3093F contida na UFRGS – Instituto de Geociências.....	31
Figura 5 - Monografia da Estação referente à RRNN 3093F	32
Figura 6 - RRNN 3093L contida na UFRGS – Instituto de Física	33
Figura 7 - Monografia da Estação referente à RRNN 3093L	34
Figura 8 - Extração da rede RBMC fornecidas pelo IBGE.....	36
Figura 9 - Numeração de Fusos e Zonas UTM	37
Figura 10 - Fusos UTM e Meridiano Central.....	38
Figura 11 - Mapa de localização das unidades geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	39
Figura 12 - Mapa de localização da região do Planalto Meridional	40
Figura 13 - Mapa de localização da região de Planície Costeira.....	41
Figura 14 - Mapa de localização da região do Escudo Sul-Riograndense	42
Figura 15 - Mapa de localização da região do Cuesta do Haedo	43
Figura 16 - Mapa de localização da região da Depressão Central	44
Figura 17 - Fluxograma das etapas elementares da pesquisa	46
Figura 18 - Localização da área de Estudo o Estado do RS	48

Figura 19 - Mapa de localização das RRNN utilizadas sobre o MDE NASADEM no RS	50
Figura 20 - Mapa de localização das RRNN utilizadas sobre o MDE SRTM no RS	50
Figura 21 - Mapa de localização das RRNN utilizadas sobre o MDE AW3D30	51
Figura 22 - Resultados dos resíduos no MDE NASADEM	60
Figura 23 - Resultados dos resíduos no MDE SRTM.....	63
Figura 24 - Resultados dos resíduos no MDE AW3D30.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - SARs utilizados no MDE SRTM.....	22
Quadro 2 - Parâmetros de especificação do MDE SRTM	23
Quadro 3 - Parâmetros de especificação do MDE NASADEM	24
Quadro 4 - Parâmetros de especificação do MDE ALOS PRISM	25
Quadro 5 - Erros sistemáticos pós-filtragem das bases de referência RRNN.....	49
Quadro 6 - Estatísticas básicas: subtração entre MDEs (global-interpolação) para as RRNN (diferença em metros)	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais em relação à acurácia altimétrica de MDEs	27
Tabela 2 - Resumo do Teste ANOVA.....	55
Tabela 3 - Teste ANOVA	56
Tabela 4 - Teste de Correlação Linear de Pearson	56
Tabela 5 - Áreas geomorfológicas que compõem a região do estudo.....	58
Tabela 6 - Visualização da distribuição estatística do erro entre o MDE NASADEM e os dados de referência do IBGE por província.....	59
Tabela 7 - Áreas geomorfológicas que compõem a região do estudo.....	61
Tabela 8 - Visualização da distribuição estatística do erro entre o MDE SRTM e os dados de referência do IBGE por província	62
Tabela 9 - Áreas geomorfológicas que compõem a região do estudo.....	64
Tabela 10 - Visualização da distribuição estatística do erro entre o MDE AW3D30 e os dados de referência do IBGE por província	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALOS - Advanced Land Observing
ANOVA - Análise de Variância
AW3D30 - Modelo Digital de Elevação Alos Prism
CBERS - China-Brazil Earth-Resources Satellite
COP - Modelo Digital de Elevação Copernicus
DAICHI - Advanced Land Observing Satellite
DEGED - Departamento de Geodésia do IBGE
DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
DSM - Digital Sound Module File
EGM - Earth Gravitational Model
EM - Erro Médio
EP - Erro Padrão
EPSG - Geodetic Parameter Dataset
EQM - Erro Médio Quadrático
EUA - United States of America
GEPRO - Gestão de Produção, Operações e Sistemas
GLONASS - Global Navigational Satellite System
GNSS - Global Navigation Satellite System
GPS - Global Positioning System
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA - International Cartographic Association
ICESAT - Ice, Cloud and Land Elevation Satellite
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INSAR - Synthetic Aperture Radar Interferometry
IRNSS - Indian Regional Navigation Satellite System
ITRF - International Terrestrial Reference Frame
ITRS - International Terrestrial Reference System
JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency
JPL - Jet Propulsion Laboratory
MAPGEO - Modelo de Ondulação Geoidal

MDE - Modelo Digital de Elevação
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NASADEM - Modelo Digital de Elevação da NASA
NAVIC - Indian Regional Navigation Satellite System
NED - National Elevation Dataset
NGA - Agência Nacional de Inteligência Geoespacial
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
PCD - Produtos Cartográficos Digitais
PDI - Processamento Digital de Imagens
PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica
POAL - Porto Alegre
PRISM - Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping
QZSS - Quase-Zenith Satellite System
RAAP - Rede Altimétrica de Alta Precisão
RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RGLS - Rede geodésica para o monitoramento costeiro do litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte
RN - Referência de Nível
RRNN - Referência de Nível da Altimetria
RS - Rio Grande do Sul
SAD - South American Datum
SAR - Synthetic Aperture Radar
SGB - Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SRG - Sul-Rio-Grandense
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
TIFF - Tagged Image File Format
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo Geral	19
2.2. Objetivos Específicos	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	19
3.1. Sensoriamento Remoto	20
3.1.1. Modelos Digitais de Elevação	21
3.1.1.1. MDE - SRTM.....	21
3.1.1.2. MDE – NASADEM.....	23
3.1.1.3. MDE ALOS PRISM	24
3.2. Cartografia	25
3.2.1. Normas Cartográficas para Avaliação de Acurácia Vertical	26
3.2.1.1. Padrão de Exatidão Cartográfica.....	26
3.2.1.2. Projeções Cartográficas	27
3.3. Geodésia	28
3.3.1. Sistema Geodésico Brasileiro - SGB.....	29
3.3.2. Altimetria no SGB	30
3.3.3. Referência de Nível.....	30
3.3.4. SIRGAS 2000.....	35
3.3.5. Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC.....	36
3.3.6. Projeção UTM	36
3.4. Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul	38
3.4.1. Província do Planalto Meridional.....	39
3.4.2. Província da Planície Costeira	40
3.4.3. Província do Escudo Sul-Riograndense	41
3.4.4. Província Cuesta do Haedo	42
3.4.5. Província da Depressão Central	43
3.5. Acurácia vertical de MDEs aplicada no relevo brasileiro	44
4. MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1. Processo de análise	46
4.2. Área de Estudo	47
4.3. Base de dados e Pré-processamento	48
4.4. Método de avaliação do PEC-PCD	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54

5.1. Modelos Digitais de Elevação	54
5.2. Províncias geomorfológicas	57
5.2.1. Resultados - MDE NASADEM.....	57
5.2.2. Resultados - MDE SRTM	60
5.2.3. Resultados - MDE AW3D30	63
6. CONCLUSÃO	67
7. REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A	74
APÊNDICE B	76

1. INTRODUÇÃO

No Brasil tem-se observado uma maior demanda de uso de informações geoespaciais e a disponibilidade de dados espaciais de forma gratuita tem ampliado as possibilidades de atendimento destas demandas. Para tanto, há uma necessidade e relevância expressiva de avaliação e acurácia desses dados, para classificá-los dentro das normas e padrões estabelecidos para utilização (DSG, 2016).

Entre estes dados geoespaciais destacam-se os modelos digitais de elevação (MDEs) de abrangência global ou quase global, obtidos por sensoriamento remoto, que têm sido elaborados e parte deles distribuídos abertamente. Há grande utilização da comunidade acadêmica e profissional, aplicado em diferentes áreas do conhecimento, para órgãos governamentais, para as engenharias, para as análises de relevo para aplicação na área ambiental, cartografia, geologia, geomorfologia, hidrologia, meteorologia, climatologia, biologia, agronomia etc.

Entre os MDEs disponibilizados e amplamente utilizados estão aqueles com resolução espacial média de ~30 m, o que tem atendido uma série de aplicações de cunho regional que necessitam dos dados de elevação e seus subprodutos. Dentre os MDEs mais utilizados estão o SRTM, NASADEM, AW3D30. Estes MDEs foram gerados a partir de dados de sensoriamento remoto distintos, bem como em períodos diferentes e utilizando técnicas diversificadas de obtenção, processamento e disponibilização. Diante da diversidade de MDEs disponíveis, há uma carência de estudos que avaliem e subsidiem os usuários na tomada de decisão sobre qual o MDE que melhor atenda seus objetivos de aplicação em sua área de interesse. Em território brasileiro, há trabalhos de avaliação de acurácia dos MDEs a partir de diferentes bases em contextos topográficos distintos e que tem contribuído na avaliação destes produtos (p.e., Araújo et al., 2018; Souza et al., 2019; Viel et al., 2020; Cremon et al., 2021).

O artigo de (Araújo et al. 2018) avaliou, a partir de sensores aerotransportados na bacia hidrográfica Piranhas-Açu, norte do Estado do Rio Grande do Norte, a calibração e posição vertical do MDE SRTM, a qual a precisão avaliada atendeu as especificações métricas. O MDE AW3D30 foi

utilizado no Estado do Mato Grosso do Sul no âmbito ambiental da região pantaneira para a representação do terreno, a avaliação adotou o MAPGEO 2015 como referência altimétrica (Souza et al., 2019). Os MDEs SRTM e AW3D30 tiveram acurácia vertical avaliada em região específica do sul do Brasil, no Vale dos Vinhedos no Estado do Rio Grande do Sul, onde foi possível, nesta área, identificar a escala máxima de seu uso, tendo adotado como análises o PEC/PCD e verificação métrica (Viel et al., 2020). Já para o PEC-PCD foi utilizada para avaliação de qualidade dos dados altimétricos do MDE Copernicus para o Estado de Goiás e Distrito Federal (Cremon et al., 2021).

Os MDEs disponíveis para o Estado do Rio Grande do Sul carecem de uma análise de acurácia dos MDEs, que, além de abranger os MDEs mais utilizados atualmente, contemple também as distintas condições de relevo existentes no estado, considerando áreas com topografias planas e acidentadas. A altimetria do RS varia de zero a 1403 metros. Esta diversidade topográfica é resultante das distintas condições geológicas-geomorfológicas a qual o território do Rio Grande do Sul tem sido submetido ao longo da sua evolução geológica e que resultou na distinção de cinco Províncias Geomorfológicas, denominadas: Planalto Meridional, Planície Costeira, Escudo Sul Rio-grandense, Depressão Central e Cuesta do Haedo.

Este trabalho pressupõe que a análise de acurácia dos MDEs, considerando as variáveis dos diferentes MDEs sobre as distintas províncias geomorfológicas, permitirá recomendar os Modelos digitais de elevação mais adequados para aplicação frente a estas condicionantes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a acurácia posicional vertical dos modelos digitais de elevação SRTM, NASADEM e AW3D30 para as províncias geomorfológicas do Rio Grande do Sul: Planalto Meridional, Planície Costeira, Escudo Sul Rio-grandense, Depressão Central e Cuesta do Haedo.

2.2. Objetivos Específicos

1. Realizar análise comparativa de acurácia vertical entre os MDEs globais propostos na pesquisa.
2. Apontar os MDEs mais indicados para utilização em cada Província Geomorfológica e na totalidade do RS.

3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

O referencial teórico-metodológico foi estruturado em subitens. Os subitens iniciais abrangem o sensoriamento remoto, assim como o que são e o que representam cada modelo digital de elevação usado nessa pesquisa, as províncias geomorfológicas abrangidas pela área de estudo, as análises estatísticas, e da mesma forma, o emprego das técnicas e métodos, abordados na literatura para a análise de acurácia vertical extraído da dissemelhança entre os MDEs e as RRNN.

3.1. Sensoriamento Remoto

A literatura mostra que o sensoriamento remoto, independentemente do nível da coleta dos dados e do equipamento utilizado, a informação que é gerada de alvo na Terra foi adquirida de um dado à distância. Os níveis de coleta de dados orbitais (Moreira et al., 2011) vem adquirindo espaço para uma nova geração de sensores, inclusive disponíveis gratuitamente.

Há diversas séries de satélites de sensoriamento remoto operando, como exemplos o Landsat, Sentinel, CBERS e NOAA. Estas séries são destinados ao monitoramento e levantamento de recursos naturais da Terra. A precisão de imagens de sensores remotos é condicionada pelas resoluções (i.e., espacial, espectral, radiométrica e temporal), vinculada à iluminação e as demais características do sensor (Smith, Wibseb, 2007; Masoud, 2011).

Os modelos digitais de elevação de abrangência quase global têm seus dados obtidos através de sensores remotos orbitais. Atualmente, estes sensores são radares ativos ou ópticos passivos. Os radares emitem pulsos na faixa espectral das microondas, essa faixa é subdivida em bandas segundo o comprimento de onda. A interferometria é técnica mais utilizada para obtenção de dados altimétricos por radar. Essa técnica é baseada nas análises dos sinais de radar por um par de antenas SAR (*Synthetic Aperture Radar*), as imagens formam um par interferométrico que utiliza a técnica InSar (*Synthetic Aperture Radar Interferometry*), gerando uma nova imagem para cada pixel. A fase interferométrica é formada pela diferença de fase entre esses feixes nas duas imagens (Jensen, 2009). A interferometria por radar de abertura sintética é classificada em 2 níveis: o Interferométrico por repetição de passagem e por interferométrico de única passagem (Alves et al., 2009).

Outra maneira de geração de modelos é a comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área. A estereoscopia consiste na extração das informações de duas imagens de um mesmo local, obtidas em ângulos diferentes de imageamento (Melgaço, et al 2005). De acordo com alguns sensores a bordo de satélites, sendo estes capazes de adquirir pares estereoscópicos, estes sensores fazem imagens no visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP), podendo gerar imagens no nadir ou com um ângulo de até 8,55 graus e cerca de 55”

(segundos) após o primeiro imageamento. A vantagem da estereoscopia é que, em razão do curto intervalo de tempo entre a aquisição das duas imagens que compõe o par estereoscópico, não há diferença radiométrica, condições de iluminação de cena e cobertura de nuvens, fato este que, não é verificado em sistemas que adquirem pares estereoscópicos a partir de órbitas adjacentes (Melgaço et al., 2005).

3.1.1. Modelos Digitais de Elevação

Os modelos digitais de elevação consistem em um modelo de dados no formato Raster e um modelo matemático. Um modelo consiste em uma série de expressões analíticas para representar uma superfície, um modelo matemático é favorável para interpolação, generalização e redução de ruídos e cálculos de variáveis geomorfométricas derivadas (Guth, et al., 2021).

3.1.1.1. MDE - SRTM

O modelo digital de elevação SRTM V.3 foi obtido por radar interferômetro operante na missão *Shuttle Radar Topography Mission* (2000) (Reuter et al., 2006; Jarvis et al., 2008). Essa missão obteve dados de elevação quase global gerando o mais completo banco de dados topográfico digital de alta resolução da Terra à época. O SRTM detinha um sistema de radar a bordo do ônibus espacial *Endeavour* responsável pela cobertura da Terra em uma missão de 11 dias ocorrida em fevereiro de 2000, iniciada em *Kennedy Space Center* (KSC), nos Estados Unidos da América (EUA). O SRTM é um projeto internacional dirigido pela Agência Nacional de Inteligência Geoespacial (NGA) e pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). Na publicação de (Farr et al., 2007), o requisito de desempenho da missão SRTM, almejava que os produtos cartográficos teriam de ser amostrados em grids de 1 arco de segundo por 1 arco de segundo (i.e., ~30 X 30 m), com erro linear vertical absoluto inferior a 16 m, erro linear vertical relativo menor de 10 m, o erro posicional absoluto e relativo de raios menores que 20 m e 15 m. A missão operou com SAR nas bandas C e X (Quadro 1, Figura 1), para a banda X, o erro

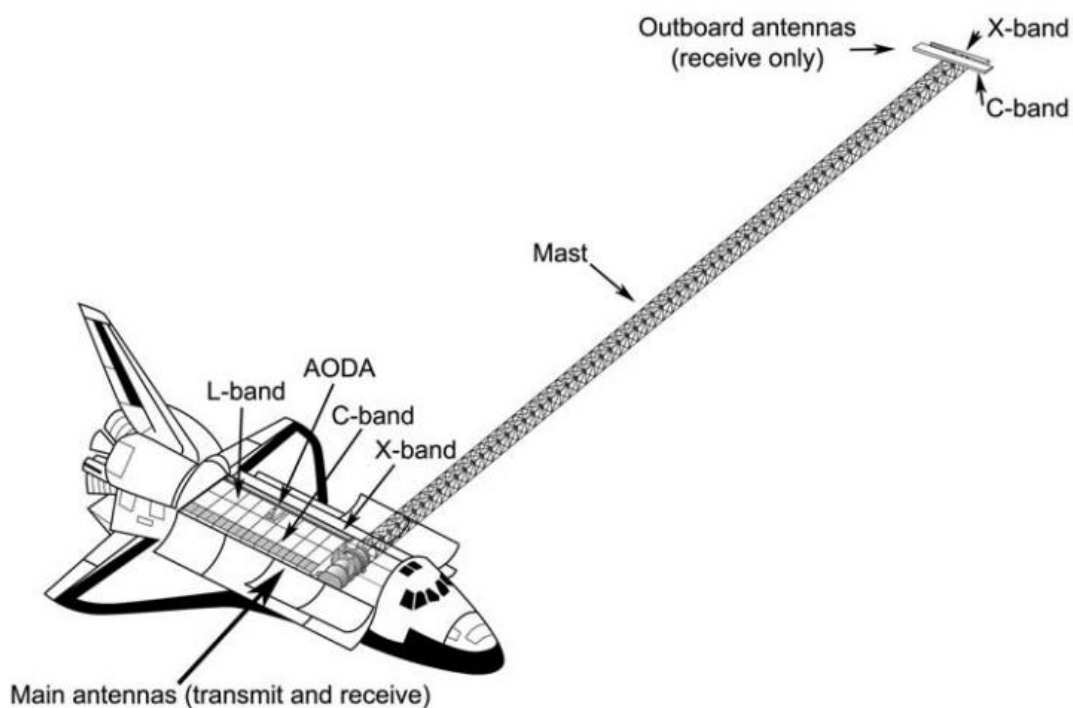
vertical relativo teria de ser inferior a 6 m, já para a banda C, foi disponibilizada em um primeiro momento resolução de 3 x 3 arcos de segundo (~ 90 X 90 m). E a partir do ano de 2015, a nova versão dos dados SRTM de banda C foram disponibilizados para toda a Terra, com uma melhor resolução espacial, de 1 arco de segundo (~ 30 X 30 m), preenchendo áreas em vazios, sendo denominado SRTM Version 3.0 Global 1 Arc-Second (SRTM GL1) (JPL, 2018) (Quadro 2).

Quadro 1 - SARs utilizados no MDE SRTM

	SAR	Banda	Comprimento de Onda
NASA JPL	C-RADAR	C	5.6 cm
DLR	X-RADAR	X	3.1 cm

Fonte: Farr et al., (2007).

Figura 1 - Disposição das antenas SAR no ônibus espacial Endeavour



Fonte: NASA JPL (2018).

Quadro 2 - Parâmetros de especificação do MDE SRTM

Formato	GeoTiff
Tipo de dado	16 bits de res.radiometrica
Quadrículas	1° x 1° latitude/longitude
Sistema de Referência de Coordenadas	Coordenadas Geográficas
Datum horizontal	WGS84 (EPSG:4326)
Datum vertical	WGS84 (EGM96 GEOID)
Tamanho do pixel	1 arco de segundo
Unidade vertical	metros

Fonte: NASA JPL (2021).

3.1.1.2. MDE – NASADEM

O modelo digital de elevação NASADEM é resultado de reprocessamento dos dados altimétricos originais da missão SRTM (2000) (Crippen et al., 2016). Os dados SAR interferométricos SRTM foram reprocessados com uma técnica híbrida. Esses dados resumem-se a imagens de radar utilizadas para criar interferogramas de matrizes de fase bidimensionais, resultando em maior precisão de elevação. Em função das características intrínsecas dos dados interferométricos, se faz necessário empacotar e desembrulhar os dados para que sejam quantificáveis. O NASADEM tem as técnicas de desembrulhamento e dados auxiliares não disponível no processamento original dos dados do SRTM. Portanto, essa técnica minimiza os vazios de dados e estende a cobertura espacial do SRTM. Os vazios que existiam foram preenchidos com múltiplas fontes, que inclui ASTER GDEM, *Advanced Land Observing Satellite (ALOS) Panchromatic Remote sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)*, *USGS National Elevation Dataset (NED)* e Canadá e Alaska DEMs especificação global de DEM. Os controles de ajustes verticais e inclinação são aplicados com base em pontos de controle do solo e perfis do laser da missão Ice, *Cloud and Land Elevation Satellite (ICESat)*. Esta técnica melhorou a precisão vertical, a consistência da faixa e a uniformidade do mosaico da faixa. A resolução espacial do MDE é de 30 metros, o ano de disponibilização da base de dados é de 2002 e o financiador é a NASA (Quadro 3).

Quadro 3 - Parâmetros de especificação do MDE NASADEM

Formato	GeoTiff
Tipo de dado	16 bits, inteiro (formato HGT), com resolução radiométrica.
Quadrículas	1° x 1° latitude/longitude
Sistema de Referência de Coordenadas	Coordenadas Geográficas
Datum horizontal	WGS84 (EPSG:4326)
Datum vertical	EGM96 (EPSG: 5773)
Tamanho do pixel	1 arco de segundo
Unidade vertical	metros

Fonte: NASA JPL (2021).

3.1.1.3. MDE ALOS PRISM

O modelo digital de elevação ALOS-PRISM (*Advanced Land Observing - Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) – AW3D30 foi obtido por técnica de estereoscopia aplicada a imagens ópticas (2006 – 2011) (Tadono et al., 2016). Esta base foi disponibilizada em 21 de maio de 2021 e trata-se de um conjunto de dados global gerado a partir de imagens coletadas usando o Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM) a bordo do Advanced Land Observing Satellite (ALOS) de 2006 a 2011. A Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) é responsável pela geração destes MDEs com uma resolução horizontal de aproximadamente 30 metros de malha que equivale à 1 arco segundo gratuitamente. Esses conjuntos de dados foram compilados com imagens adquiridas pelo Advanced Land Observing Satellite "DAICHI" (ALOS), na versão de malha de 5 metros do "World 3D Topographic Data" (Quadro 4, Figura 2).

Quadro 4 - Parâmetros de especificação do MDE ALOS PRISM

Formato	GeoTiff
Tipo de dado	16 bits, inteiro (formato MDE), os valores MDE são médios no intervalo de 1 pixel de grade de segundo de arco (arredondado para o número inteiro)
Quadrículas	1°X1° latitude/longitude
Sistema de Referência de Coordenadas	Coordenadas geográficas
Datum horizontal	WGS84 (EPSG 4326)
Datum vertical	WGS84 (EGM96 GEOID)
Tamanho do pixel	1 arco de segundo
Unidade vertical	Metros

Fonte: JAXA (2021).

Figura 2 - Geometria de funcionamento do sensor PRISM

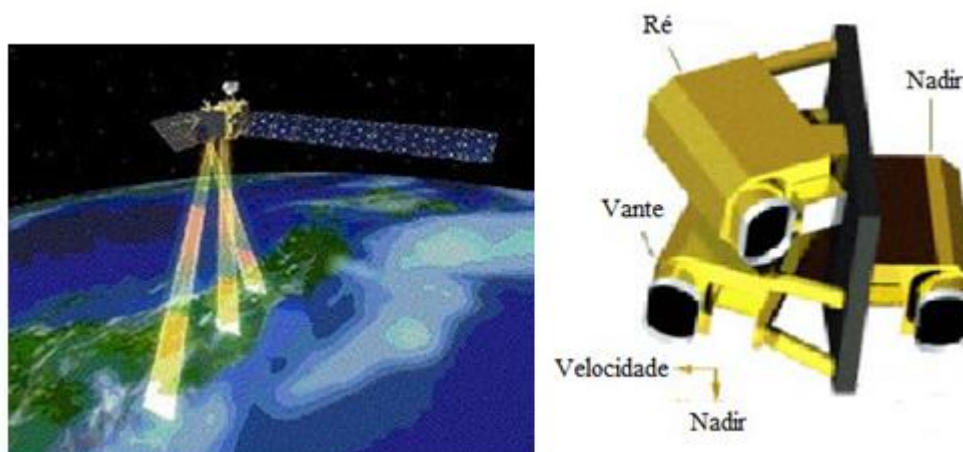


Figura 2 - Geometria de funcionamento do sensor PRISM

Fonte: Adaptado de JAXA (2010)

3.2. Cartografia

Para a Associação Cartográfica Internacional (*International Cartographic Association - ICA*), em sua publicação *Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartography* definiu cartografia como:

“A arte, ciência e tecnologia de mapeamento, juntamente com seus estudos como documentos científicos e trabalhos de arte. Neste contexto, pode ser considerada como

incluindo todos os tipos de mapas, plantas, cartas e seções, modelos tridimensionais e globos representando a Terra ou qualquer corpo celeste, em qualquer escala (Vieira et al., 2004).”

É o conjunto de estudos e operações lógico-matemáticas, técnicas e artísticas que, a partir de observações diretas e da investigação de documentos e dados, intervém na construção de mapas, cartas, plantas e outras formas de representação, bem como no seu emprego pelo homem. Assim, a cartografia é uma ciência, uma arte e uma técnica (Castrogiovanni, 2012).

3.2.1. Normas Cartográficas para Avaliação de Acurácia Vertical

3.2.1.1. Padrão de Exatidão Cartográfica

O Decreto Federal nº 89.817, de 20 de julho de 1984 estabelece as diretrizes regulamentadoras das normas técnicas para a Cartografia Brasileira, entre essas normas, estabeleceu o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). A norma técnica do Decreto estabelece que, para modelos digitais de elevação (MDE) – conforme a Tabela 1, os valores previstos para a classe “A” (PEC/PCD) foram definidos a partir de adaptações dos estudos realizados, na qual o $PEC/PCD = (0,27 * \text{Equidistância do produto cartográfico})$ e o $EP = (1/6 * \text{Equidistância do produto cartográfico})$. Já para as classes “B”, “C” e “D” da PEC/PCD correspondem, respectivamente, as classes “A”, “B”, “C” do PEC altimétrico previstas no Decreto. Na Tabela 1, as informações do Decreto, para a escala de 1:25:000 a equidistância (Eqm) é de 10 m, o erro médio (EM) é medido em metros assim como o Erro Padrão (EP), e para a escala de 1:50.000 a equidistância (Eqm) é de 20 m.

Tabela 1 - Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais em relação à acurácia altimétrica de MDEs

PEC	1:25.000		1:50.000	
	(Eqd = 10 m)		(Eqd = 20 m)	
PCD	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)
A	2,70	1,67	5,50	3,33
B	5,00	3,33	10,00	6,66
C	6,00	4,00	12,00	8,00
D	7,50	5,00	15,00	10,00

Fonte: Governo Federal

Com a chegada de novas tecnologias para a cartografia digital ocasionou a uma revisão das normas estabelecidas no Decreto Federal nº89.817, e uma normativa mais restritiva foi estabelecida para atender o Padrão de Exatidão Cartográfico para Produtos Digitais (PEC/PCD). Atualmente, a classe “A” do Decreto passou a ser a Classe “B”, a classe “B” passou a ser a classe “C”, a classe “C” passou a ser “D” e a classe “A” do PEC/PCD dispõe de critérios mais restritos do que anteriormente orientou a DSG (2011, 2016). Neste trabalho, a avaliação da acurácia altimétrica dos MDE é baseada no PEC/PCD, em métricas estatísticas.

3.2.1.2. Projeções Cartográficas

As projeções cartográficas servem para a construção de mapas ou de bases cartográficas digitais, após a coleta e processamento dos dados geográficos, para a definição de suas localizações geográficas (latitude/longitude), para transformar a Terra, ou parte dela (i.e., a região a ser mapeada), que é um corpo aproximadamente esférico, num plano, o plano do mapa (Pearson, 1999).

O problema básico de uma projeção cartográfico está na representação de uma superfície curva em um plano. No entanto, não há possibilidade de realizar a planificação da superfície curva sem alguma distorção, sendo inevitável que todos os mapas sejam projeções (Anderson, 1982).

✓ Propriedades das Projeções

Classificam como:

- Ao método: Geométrica e Analítica;
 - Ao aspecto: Normal, Transversal ou Obliqua;
 - A superfície de projeção: Azimutal, Cônica e Cilíndrica;
 - Ao contato entre a superfície de referência e a projeção: Tangente e Secante.
- ✓ Para as propriedades especiais segundo (Richardus e Adler, 1972):
- Conforme: não deforma os ângulos;
 - Equivalente: não deforma as áreas, sacrificando a forma;
 - Projeção Equidistante: não apresenta deformações lineares em uma dada direção, sendo assim com essa direção, a projeção equidistante classifica-se como meridiana, transversal ou azimutal;
 - Afilática: são transformações matemáticas desenvolvidas de forma a minimizar as deformações nas áreas e nos ângulos, conhecidas como projeções de erros mínimos (Mailing, 1992);
 - Azimutal: define os azimutes, destinados sistematicamente, à mapas especiais para fins náuticos e aeronáuticos.

3.3. Geodésia

A Geodésia é definida como ciência que estuda a forma e dimensões terrestres, bem como a interação com as forças gravitacionais. Em um conceito moderno citam-se, as variações temporais, resultado da existência de bases monitoras contínuas, que efetuam o monitoramento terrestre. Assim, é possível dividir a Geodésia em três áreas, Geodésia geométrica, Geodésia física e Geodésia celeste (GEMAEL, 1999).

A Geodésia geométrica é definida através dos métodos clássicos de medição sobre a superfície terrestre, com a obtenção de ângulos e distâncias, através da realização de procedimentos de triangulação, trilateração e poligonação.

A geodésia física envolve os estudos referentes ao campo da gravidade e suas aplicações geodésicas, desenvolvendo modelos para determinação da melhor figura geométrica representante da superfície terrestre. A geodésia celeste trata do posicionamento de pontos terrestres através de medidas efetuadas tendo como base satélites, sejam eles naturais ou artificiais. Tem grande relevância através do desenvolvimento da astronomia e mais recentemente com a introdução de metodologias GNSS (*Global Navigation Satellite System*) (GEMAEL, 1999).

3.3.1. Sistema Geodésico Brasileiro - SGB

A implementação do SGB tem por estabelecer um sistema de referência posicional (i, e., horizontal e vertical) para representação cartográfica para adoção em território nacional.

“O Sistema Geodésico Brasileiro é definido a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país – pontos estes que são determinados por procedimentos operacionais e coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades em que se destinam.” (IBGE, 1983, p.1).

As atribuições do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através do Departamento de Geodésia (DEGED), definiu a partir de um conjunto de estações geodésicas implantadas em todo o território nacional que, as coordenadas dos pontos são determinadas por metodologias operacionais e seus cálculos por modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam. Este sistema geodésico é composto por redes altimétricas, planimétricas e gravimétricas, sendo sua modernização ao advento do GNSS. (IBGE, 2005). Dentre as modificações no sistema geodésico, até então topocêntrico (i.e., Datum situado sobre a superfície terrestre), para o sistema geocêntrico (i.e., referenciado ao centro de massa da Terra), o SIRGAS 2000, referenciado a data 2000,4 (ano 2000 época 4) e compatível com a tecnologia GNSS (IBGE, 2005).

3.3.2. Altimetria no SGB

A NBR 13.133, no que se refere a altimetria, define que SGB é um conjunto de referências de nível, materializadas no terreno, que proporciona o controle altimétrico dos levantamentos topográficos e o seu referenciamento ao Datum (origem) altimétrico do país. (IBGE, 1994). A norma informa que o referencial altimétrico coincide com a altitude de um ponto pertencente à superfície física da Terra como sendo a distância, contada ao longo da vertical da superfície equipotencial, que contém o nível médio dos mares definido pelas observações marégrafas da Baía de Imbituba, litoral do Estado de Santa Catarina. A Figura 3 mostra a forma para obter as RRNN.

Figura 3 - Extração das RRNN fornecidos pelo IBGE

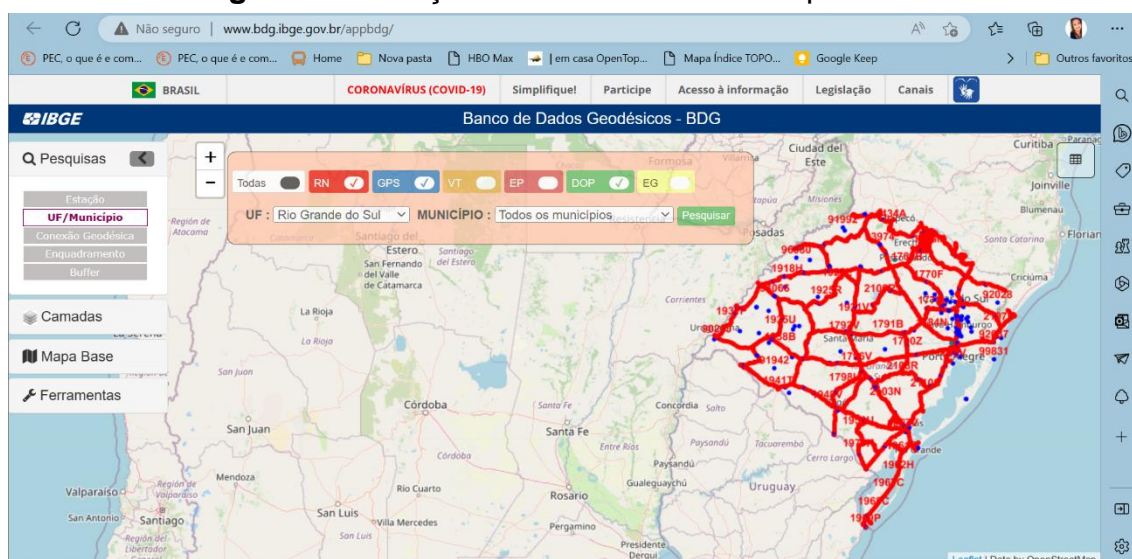


Figura 3 - Extração das RRNN fornecidos pelo IBGE

Fonte: IBGE.

3.3.3. Referência de Nível

Um ponto de controle vertical RRNN, estabelecido em um marco de caráter permanente protegido por lei, a qual a altitude é determinada em relação a um Datum vertical é denominado Referência de Nível (RRNN). É constituído com nome, o n° da RN, altitude e o nome do órgão responsável. Por exemplo, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, é possível ilustrar o local e informações de uma RN estabelecida conforme figuras 4 a 7.

Figura 4 - RRNN 3093F contida na UFRGS – Instituto de Geociências



Fonte: Imagem registrada pela autora (2023).

Figura 5 - Monografia da Estação referente à RRNN 3093F



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3093F	Nome da Estação :	3093F	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	PORTO ALEGRE			UF :	RS
Última Visita:	27/10/2006	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	11/10/2022
Conexões :	EG : 8061786			Inscrição chapa :	

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	30° 04' 27,23" S	Altitude Normal(m)	62,7453	Gravidade(mGal)	979.298,39
Longitude	51° 07' 10,90" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	Imagem	Sigma Altitude(m)	0,054	Data Medição	27/10/2006
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	06/11/2003		
Data Medição	22/09/2021	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	614,478		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	6.672.983				
UTM(E)	488.464				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ªedição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/lv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

Em um muro de concreto ao sul do prédio Nº. 43176, junto a uma curva, 28 m a nordeste do prédio do Departamento de Geodésia da U.F.R.G.S., em frente ao prédio do Centro de Microscópio Eletrônica no Campus da U.F.R.G.S. em Porto Alegre.

Descrição

Chapa metálica estampada: RN 3093F.

Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG. A comunicação de falhas, omissões ou o encaminhamento de suas solicitações devem ser realizadas oficialmente através da página <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html> de maneira que o setor de atendimento envie a área competente para apreciação e resposta.

Figura 6 - RRNN 3093L contida na UFRGS – Instituto de Física



Fonte: Registro elaborado pela autora (2023).

Figura 7 - Monografia da Estação referente à RRNN 3093L



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3093L	Nome da Estação :	3093L	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	PORTO ALEGRE			UF :	RS
Última Visita:	23/10/2014	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018
Conexões :	EG : 8061785			Inscrição chapa :	RN 3093L

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	30° 04' 25,00" S	Altitude Normal(m)	63,1660	Gravidade(mGal)	979,298,36
Longitude	51° 07' 13,00" W	Nivelamento Geométrico		Datum	RGB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,054	Data Medição	27/10/2006
Origem		Datum		Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	06/11/2003		
Data Medição	23/10/2014	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	618,598		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	6.673.052				
UTM(E)	488.408				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

Chapa cravada em uma viga de concreto, junto ao 3º degrau de acesso ao piso superior, entre o corrimão e a parede do prédio 43135 no campus da U.F.R.G.S., situado na Av. Bento Gonçalves, Nº. 9500 no centro da cidade de Porto Alegre.

Descrição

Chapa padrão IBGE, estampado RN 3093-L.

Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG. A comunicação de falhas, omissões ou o encaminhamento de suas solicitações devem ser realizadas oficialmente através da página <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html>, de maneira que o setor de atendimento enviará à área competente para apreciação e resposta.

3.3.4. SIRGAS 2000

Na Conferência Internacional de 1993, foi definido um Datum Geocêntrico para a América do Sul, o Datum SIRGAS 2000. O objetivo foi definir um sistema geocêntrico de referência unificado para todo o território sul-americano (Costa, et al., 2002). O Sistema implementado no Brasil substituiu o SAD-69 e Córrego Alegre (topocêntricos), implementando uma nova padronização em todo e qualquer levantamento feito em território nacional.

O Decreto Federal nº 5334 assinado em 6 de janeiro de 2005, publicado no Diário Oficial da União, define uma data para o término de transição e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil (IBGE, 2015).

Outra vantagem do SIRGAS 2000 é a adesão do *International Terrestrial Reference System* (ITRS) como sistema de referência, garante a homogeneidade dos resultados internamente ao continente e permite a integração com as redes dos demais continentes, do qual, o ITRS/ITRF é sistema de referência geocêntrico global unificado (Giovanini, 2019).

Os objetivos definidos para o projeto:

- O Sistema Geodésico de Referência: ITRS (*Terrestrial Reference System*) de 1993 e o elipsoide do GRS-80;
- Semieixo maior $a=6.878.137\text{m}$, o Achatamento $f=1/298257222101$;
- A origem: Centro de massa da Terra;
- A orientação: Polos e meridianos de referência em $\pm 0,005''$, com as direções definidas por Bureau International de l'Heure (BIH) 1984,0;
- Estações de referência: o sistema completo possui 184 estações, calculadas no ITRF2000, época 2000,1, o sistema geodésico resulta do levantamento de dados realizados por rede de estações GNSS de alta precisão distribuídas em todo o continente americano. No Brasil, são 21 estações da rede SIRGAS2000 já materializado no território nacional e estão inclusas a estação SMAR e POAL, pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do 28 Sistema GPS (RBMC);
- Época de referências das coordenadas: 2000,4;

- Materialização: Estabeleceu-se por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implementadas a partir das estações de referência (Giovanini, 2019). (APÊNDICE B).

3.3.5. Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC

Criada em 1996, no setor de geodésia do IBGE, a RBMC é um grande complexo de sistemas de estações que pertencem ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) que captura de forma contínua sinais de satélites GNSS (Júnior, 2021). Atualmente são 153 estações (Figura 8) espalhadas em todo o território brasileiro fornecendo suporte as atividades de mapeamento nacional. Essas estações fornecem o ponto com a sua coordenada conhecida para o ajustamento de observações obtidas por receptores GNSS, assim, elimina a possibilidade de ocupação de um ponto conhecido para o ajuste.

Figura 8 - Extração da rede RBMC fornecidas pelo IBGE



Fonte: IBGE.

3.3.6. Projeção UTM

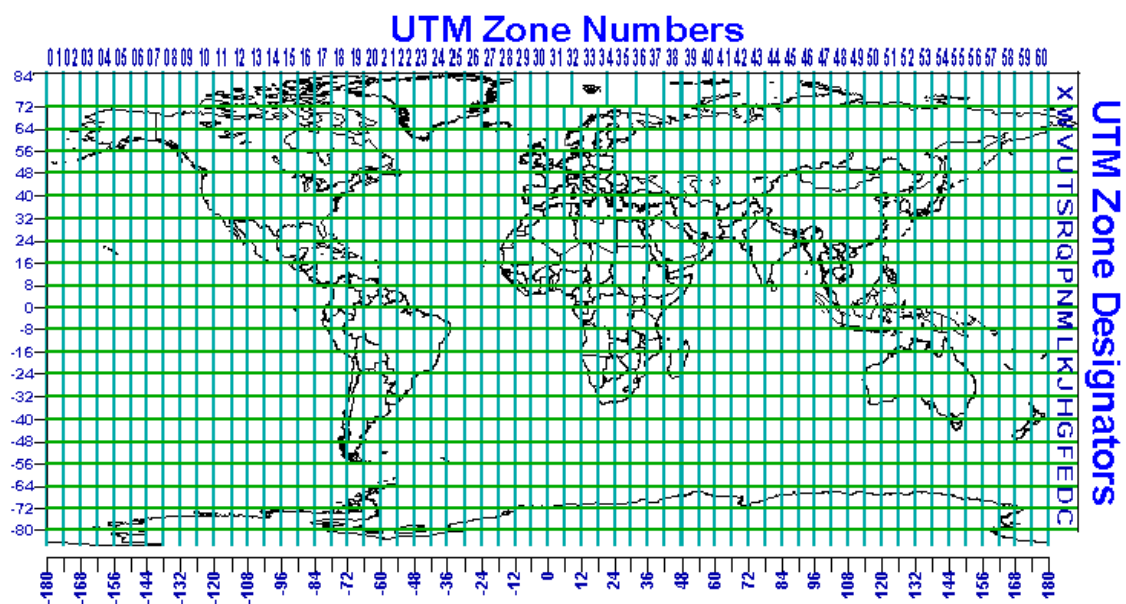
É um sistema de projeção do mapeamento sistemático terrestre brasileiro. O UTM é o sistema de projeção usado na construção das cartas topográficas do mapeamento de

referência brasileiro, entre as escalas 1:25.000 e 1:250.000 (Sluter, et al., 2004).

Na parte superior da (Figura 9) consta a numeração dos fusos de (1 a 60), na parte inferior constam as longitudes de (0° a 180°) nos dois sentidos a partir de Greenwich, marcados de 6° em 6°. À direita constam as zonas UTM, começando em C, e à esquerda as latitudes de 8° em 8°.

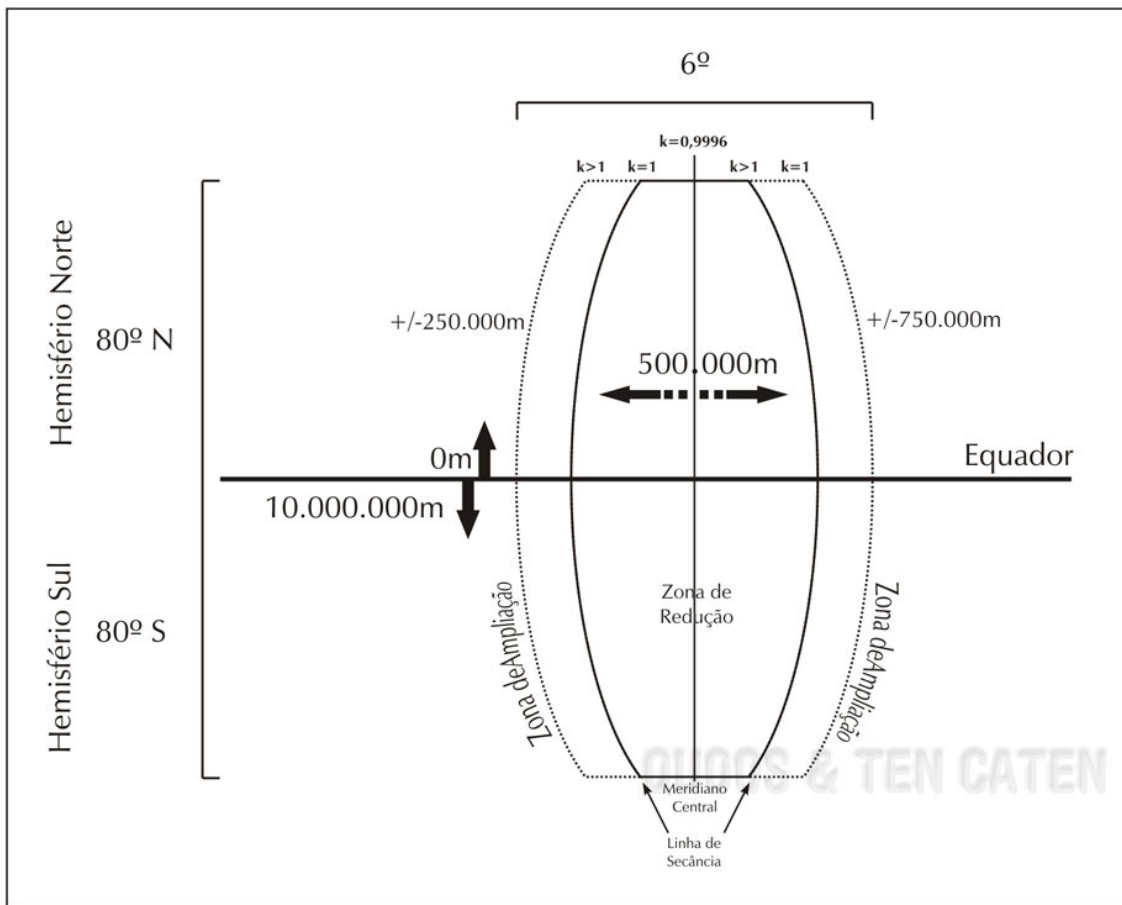
Para cada fuso (Figura 10), a uma representação única de coordenadas planas, o seu meridiano central é = 500.000 m, adotado o valor de 10.000,000 m para a linha do Equador. Considerando as distribuições de distorções, à uma zona de redução nas proximidades do meridiano central, nas linhas de secância à cerca de 180 km ao Leste e Oeste do meridiano central, e isto corresponde, a coordenada 320.000 m a 680.000 m, e na zona de ampliação as linhas de secância afasta-se do meridiano central (Cruz, 2002).

Figura 9 - Numeração de Fusos e Zonas UTM



Fonte: Peter H. Dana, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Texas at Austin 1995.

Figura 10 - Fusos UTM e Meridiano Central



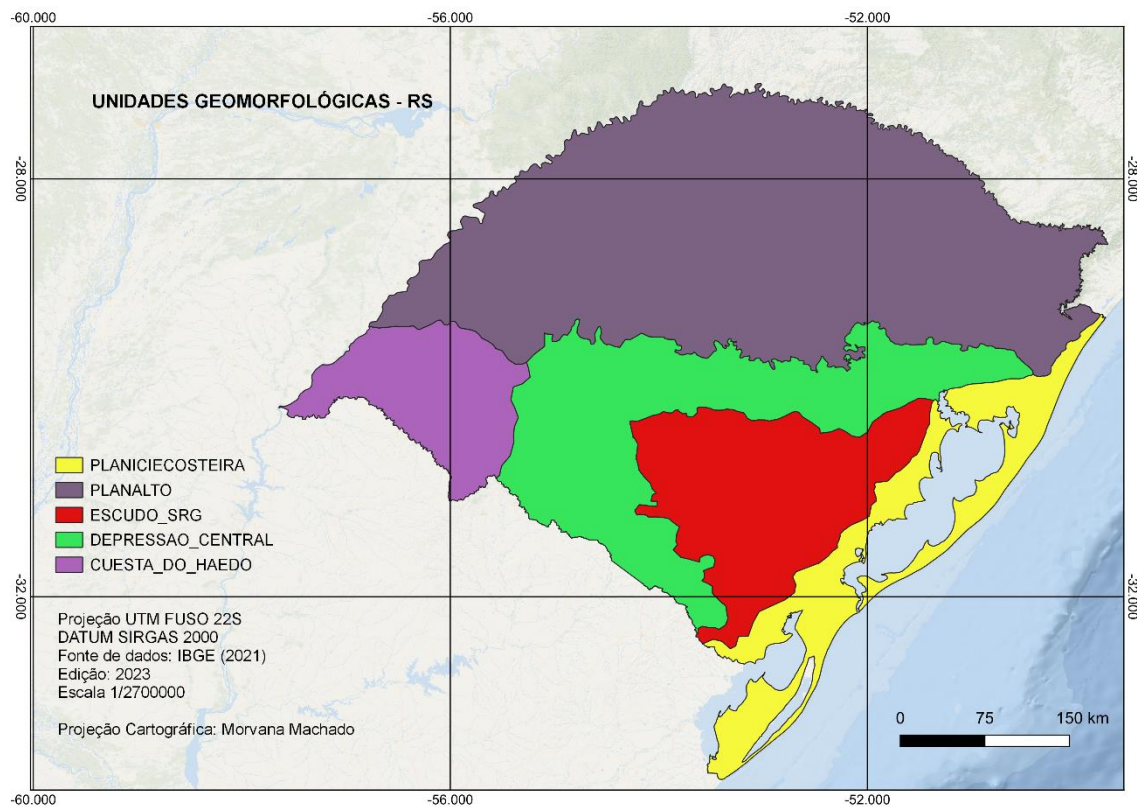
Fonte: Laboratório de Cartografia – UFSM.

3.4. Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul

O relevo gaúcho é bastante variado, com o Planalto ao norte, depressões no centro e planície costeira à leste e serra do sudeste ao sul. A amplitude altimétrica varia de zero a 1403 metros e o ponto culminante do Estado é o Pico do Monte Negro na cidade de São José dos Ausentes, nos Campos de Cima da Serra com coordenadas 28°37'S e 49°48'W (APÊNDICE A).

O Rio Grande do Sul possui cinco unidades geomorfológicas (Figura 11) denominadas Províncias Geomorfológicas: Planalto a Meridional (i.e., Norte-Rio-Grandense), Depressão Central, Escudo Sul-Rio-Grandense (Serras de Sudeste), Planície Costeira e Cuesta do Haedo.

Figura 11 - Mapa de localização das unidades geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul

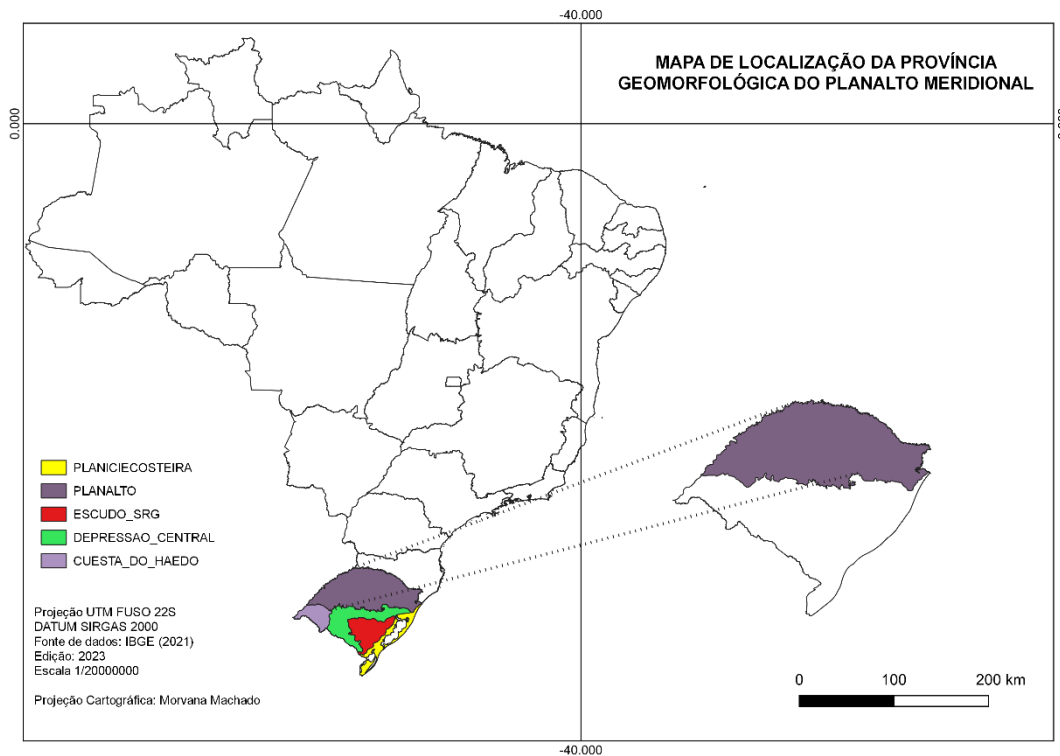


Fonte: Elaborado pela autora, 2023

3.4.1. Província do Planalto Meridional

A província do Planalto (Figura 12) ocupa a porção norte e parte do Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. O substrato litológico é formado por rochas basálticas oriundas de um derrame de lavas que ocorreu na era mesozoica em aproximadamente 190 milhões de anos (Milani et al., 2007). Esta região possui as maiores altitudes e sua feição ocupa 50% do território gaúcho. Na região nordeste do Planalto, fazendo fronteira com o Estado de Santa Catarina, onde está localizado a Serra Geral, essas altitudes chegam a mais de 1000 metros onde ocorre a formação dos cânions, o mais famoso do local é o cânion do Itaimbezinho, localizado dentro do Parque Nacional dos Aparatos da Serra.

Figura 12 - Mapa de localização da região do Planalto Meridional

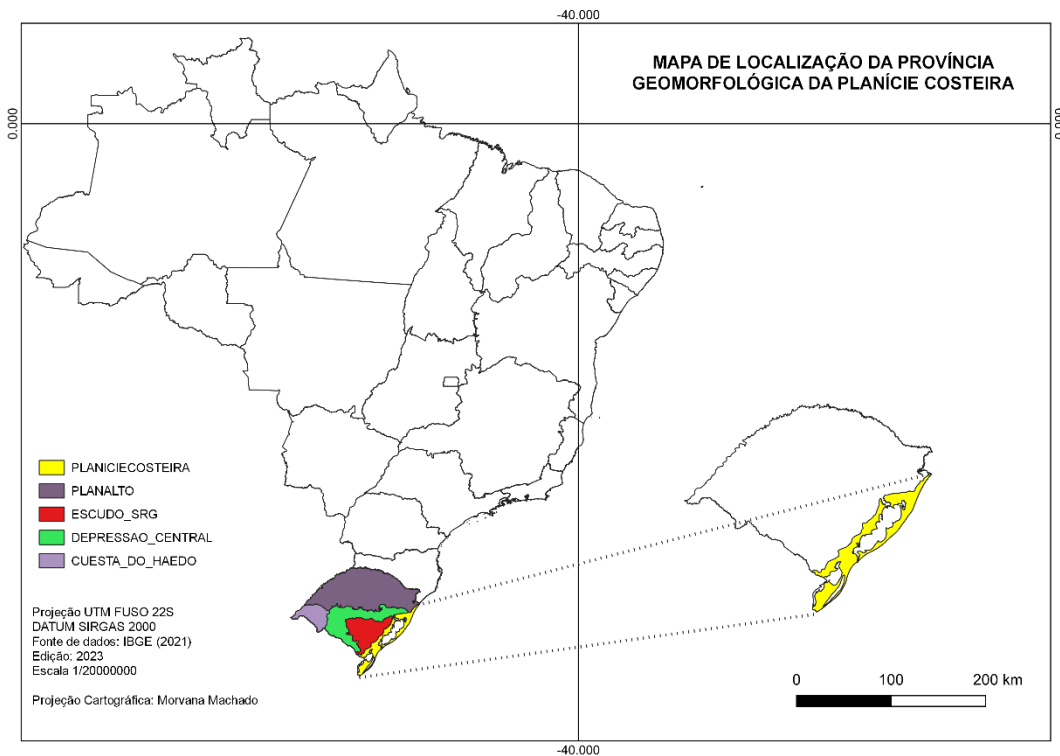


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.4.2. Província da Planície Costeira

A Planície Costeira é a província geomorfológica mais jovem do Rio Grande do Sul, está localizada em toda a Costa Atlântica do Estado, e sua formação foi no período do Quaternário, na era cenozoica (Streck, et al., 2018). Esta província é marcada por uma faixa de substrato arenoso de 622 km de extensão distribuída latitudinalmente na porção leste do RS e apresenta baixas altitudes. A Planície Costeira se destaca pela expressiva ocorrência de lagoas e lagunas, entre elas se destacam a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim. Esta província (Figura 13) está situada em cotas com menos de 40 metros de altitude (Streck, et al., 2018).

Figura 13 - Mapa de localização da região de Planície Costeira

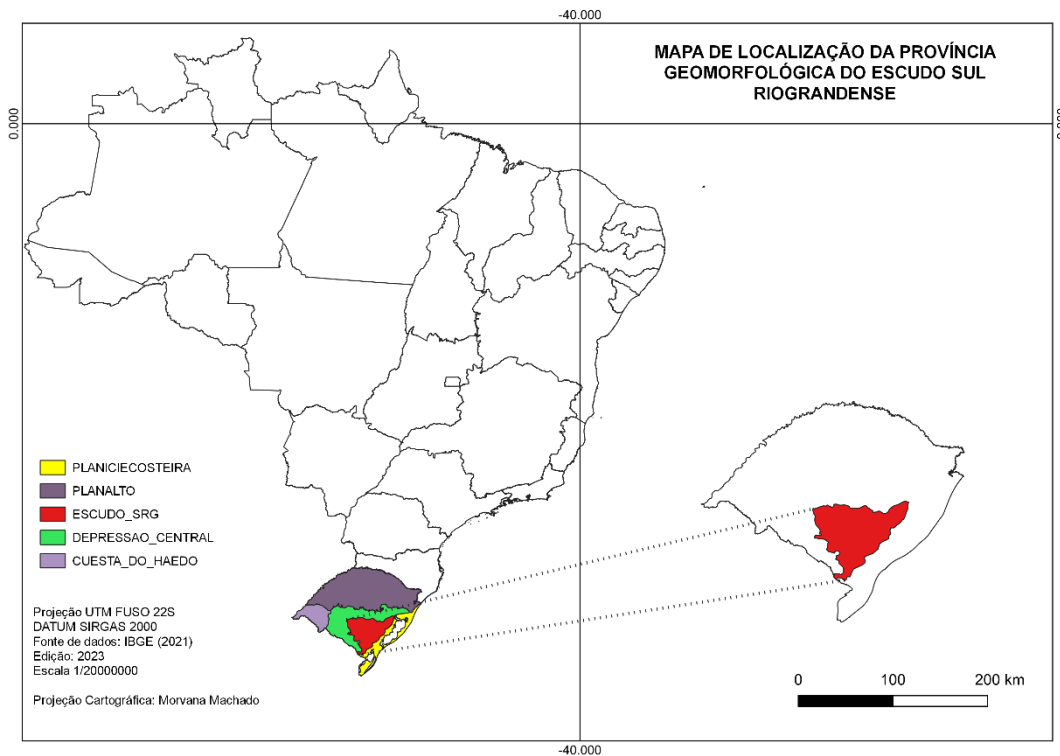


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.4.3. Província do Escudo Sul-Riograndense

A província Escudo Sul-riograndense se localiza na parte Centro-Sul do Rio Grande do Sul. O substrato é composto pelas rochas mais antigas do Estado como as rochas ígneas correspondente ao período Pré-Cambriano (Streck, et al., 2018). O relevo desta região é muito desgastado pela erosão e este relevo se apresenta de forma ondulada variando de 100 até 500 metros de altitude (Figura 14).

Figura 14 - Mapa de localização da região do Escudo Sul-Riograndense

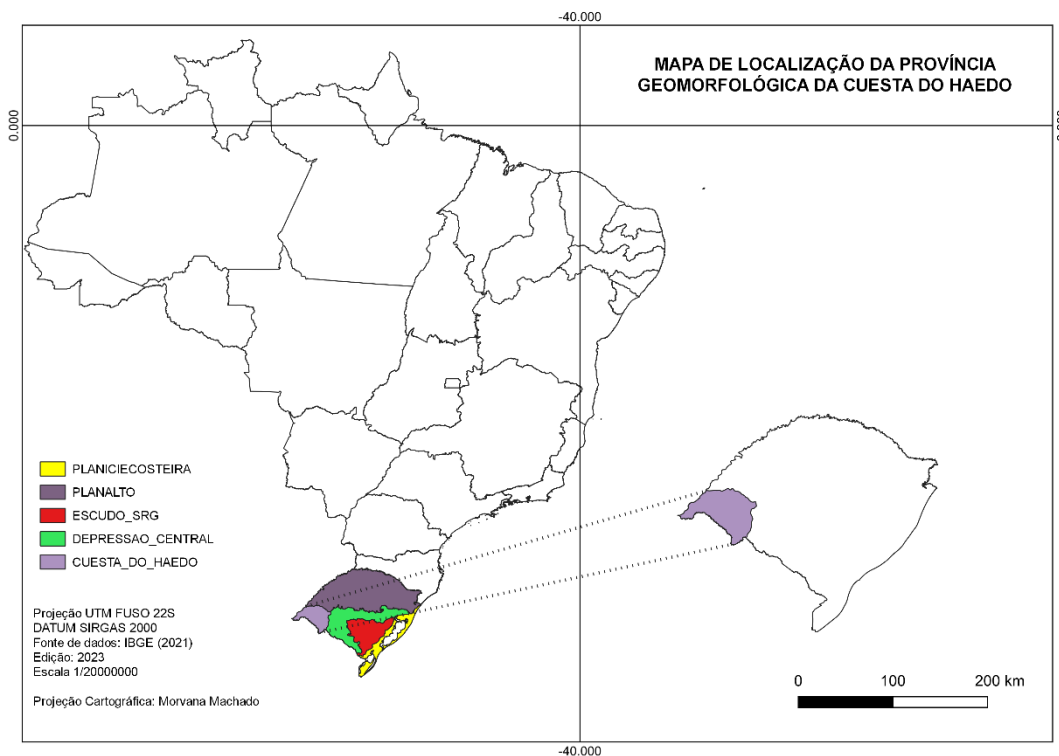


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.4.4. Província Cuesta do Haedo

A Cuesta do Haedo (Figura 15) é uma região do baixo planalto localizado ao Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, borda da região do Planalto na porção Oeste do Estado. Esta região caracteriza-se por ser um baixo planalto com colinas, morros tubulares e algumas planícies de inundação. A província triangula-se com as cidades de Uruguaiana, Alegrete, Rosário do Sul e Santana do Livramento, e é caracterizada pelo bioma pampa. Sua altitude média da feição é de 100 metros, podendo chegar a 300 metros em algumas áreas isoladas, como no Cerro do Jarau, no município de Quaraí, e nos morros que constituem as bordas orientais, como o Cerro Palomas à 320 metros, em Santana do Livramento (Edemar, et al., 2018).

Figura 15 - Mapa de localização da região do Cuesta do Haedo



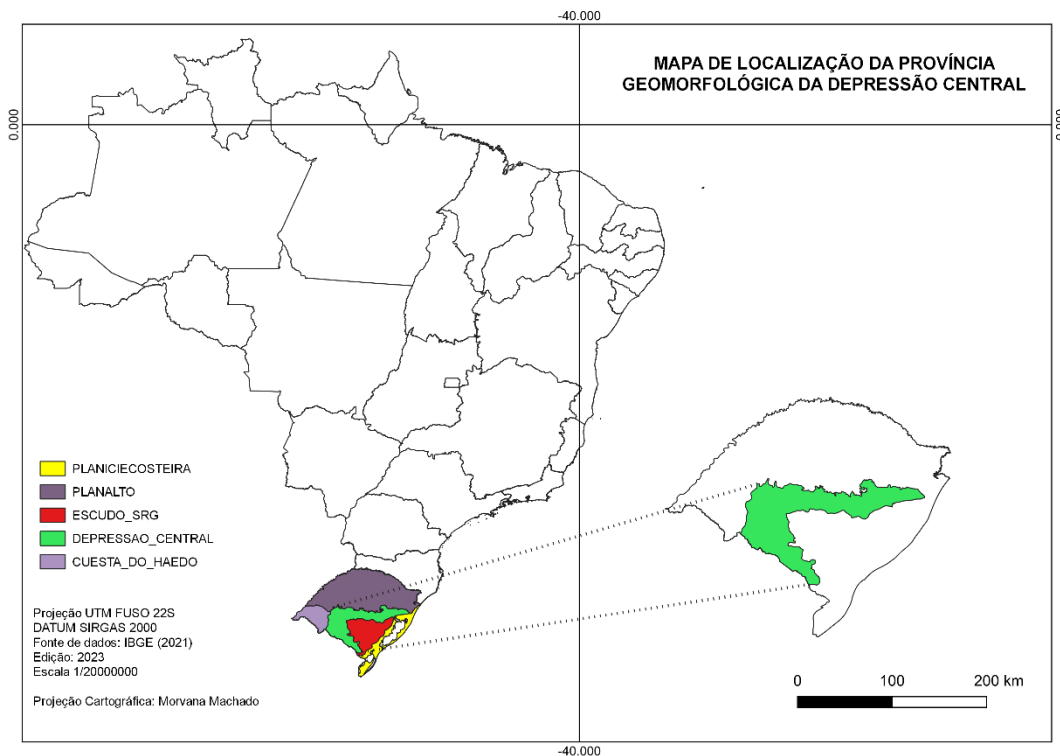
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.4.5. Província da Depressão Central

A Depressão Central é província (Figura 16) que está localizada no centro do Rio Grande do Sul. Esta província apresenta relevo ondulado a suave ondulado (i.e., coxilhas) com variação altimétrica entre 40 a 100 metros, dando origem a um extenso corredor com terrenos de baixa altitude. A Depressão Central destaca-se por uma sucessão de distintas camadas de rochas sedimentares, que estão periodicamente expostas à erosão, porém também a áreas deposicionais expressivas ao longo das margens do rio Jacuí, na porção central da província (Streck et al., 2018).

A Depressão Central não ultrapassa os 400 metros, nesta unidade morfológica, estão localizados os importantes municípios como: Porto Alegre (a Capital), Santa Maria, Bagé e São Gabriel.

Figura 16 - Mapa de localização da região da Depressão Central



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.5. Acurácia vertical de MDEs aplicada no relevo brasileiro

Vários estudos já foram realizados no Brasil, no intuito de utilizar modelos digitais de elevação disponibilizados abertamente, entretanto, poucas foram as pesquisas direcionadas para uma avaliação comparativa da qualidade dos MDE, sobretudo considerando a acurácia vertical utilizando parâmetros de análises na comparação entre MDE de diferentes naturezas.

Nos Estados brasileiros de Goiás e Distrito Federal, foi desenvolvida uma pesquisa de análise vertical com o MDE COPERNICUS DEM, denominado COP-30, (Cremon et al., 2021), essa pesquisa baseou-se no PEC/PCD utilizando 317 estações de referência de nível do Sistema Geodésico Brasileiro para 8 escalas diferentes (i.e, 1:1000 a 1:250.000) e para 4 classes de qualidade (i.e, A a D). Em suas conclusões, resultou que o MDE COPERNICUS cumpriu seus requisitos pelas normas brasileiras PEC/PCD para mapas topográficos nas escalas 1:25.000 Classe B e para a escala 1:50.000 Classe A. Além disso, nesta pesquisa, foi detectado um viés na distribuição não normal dos erros no COP-30, isto por ter um vazio cartográfico na região do Centro-Oeste do Brasil. Os

dados altimétricos derivados do COP-30 mostra-se ser a alternativa para mapeamentos topográficos semidetalhados, atendo a informação altimétrica apresentando baixo nível ou raramente disponível.

No Estado do Rio Grande do Norte, o desenvolvimento da pesquisa de análise vertical foi usando o MDE SRTM (Araújo et al., 2019), para uma área de 10.742 km². O estudo empregou diversas fontes, sendo elas 99 pontos da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do IBGE, 1 ponto da Rede Planimétrica do IBGE, 5 pontos da Rede GNSS do Litoral Sententrional (RGLS) do GEPRO/UFRN e 5 pontos de controle do GNSS coletados em campo. No emprego das análises estatísticas e calibração dos modelos estudados no uso dos sensores aerotransportados, para a verificação do erro vertical, a conclusão da pesquisa foi uma correlação entre o MDE SRTM e as bases de referência, por regressão linear. Assim, o MDE SRTM teve correspondência em 99% com os 110 pontos de controle.

No Estado do Mato Grosso do Sul, foi desenvolvida uma pesquisa de análise de acurácia vertical dos MDE SRTM e ALOS WORLD 3D (i.e., AW3D30), na região do Pantanal (Souza et al., 2019). A pesquisa baseou-se nas normas do PEC/PCD para 167 estações SAT-GPS do Sistema Geodésico Brasileiro fornecidas pelo IBGE como pontos de rede altimétrica. As avaliações concluíram que ambos os MDEs se adequaram nas normas brasileiras do PEC/PCD para escala de 1:50.000 Classe A e somente o MDE AW3D30 classificou na escala 1:25.000 Classe A. Nas análises estatísticas, o MDE AW3D30 apresentou resultados melhores que o MDE SRTM pois o MDE AW3D30 não possui erro sistemático, e para avaliação de acurácia o resultado foi que o MDE AW3D30 não possui erro sistemático.

Um estudo de análise de acurácia vertical nos MDE NASADEM e ao MDE AW3D30, foi realizado para a região do Bioma do Cerrado (Bettial, 2021). Esta pesquisa baseou-se nas normas brasileiras do PEC/PCD utilizando 215 estações de referência meteorológica automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas o Bioma do Cerrado no período de 2017 à 2019. A pesquisa avaliou a conformidade/acurácia nas análises estatísticas dos dados das estações com os MDE. A conclusão do estudo foi que, o MDE NASADEM se adequou na norma brasileira do PEC/PCD para a escala

1:250.000 Classe A. O MDE AW3D30 se adequou também à norma e atingiu escalas menores que 1:100.00, todavia comparados entre si, os modelos digitais de elevação forneceram medidas semelhantes de altitudes.

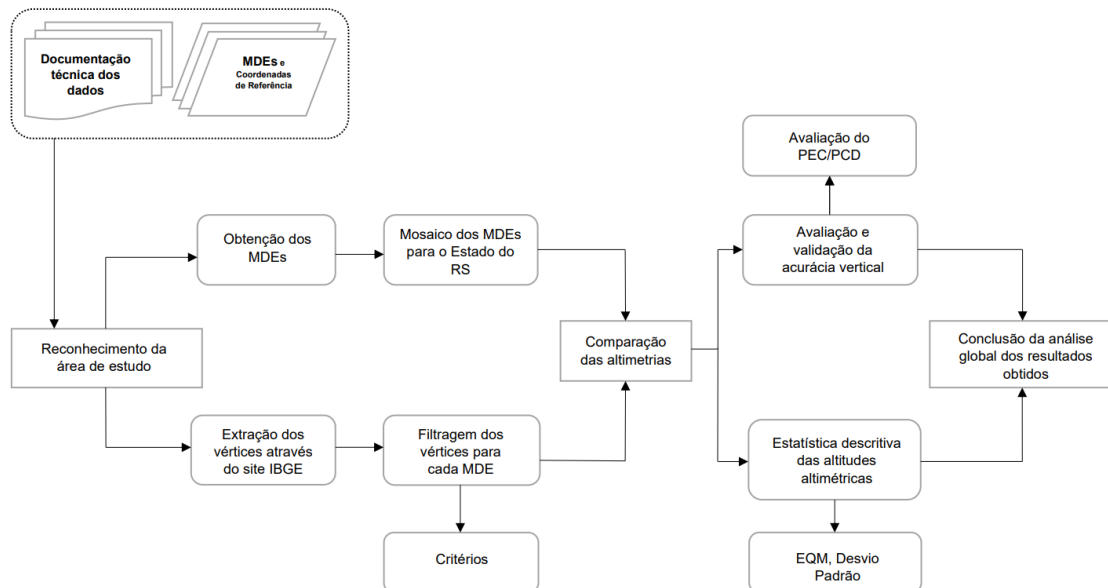
4. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo realizou-se para o Estado do Rio Grande do Sul, uma avaliação de acurácia vertical, com base em nas estações de referência de nível fornecida pela rede altimétrica do IBGE para os MDE NASADEM, MDE AW3D30 e MDE SRTM.

4.1. Processo de análise

As etapas elementares desta pesquisa estão contidas na (Figura 17), de forma lógica de seqüência e dependência entre elas.

Figura 17 - Fluxograma das etapas elementares da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os métodos empregados no processo de análise desta pesquisa envolvem o levantamento, a aplicação de análises estatísticas e a filtragem das amostras dos dados para a classificação de produtos cartográficos quanto à sua qualidade posicional altimétrica.

Empregando os recursos das técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), faz-se a escolha de uma metodologia de análise de erros grosseiros, que seja eficaz para a avaliação de acurácia, confrontando as 1800 estações do Sistema Geodésico Brasileiro nos pontos de elevação com os MDEs, derivado de uma fonte de dados mais acurado.

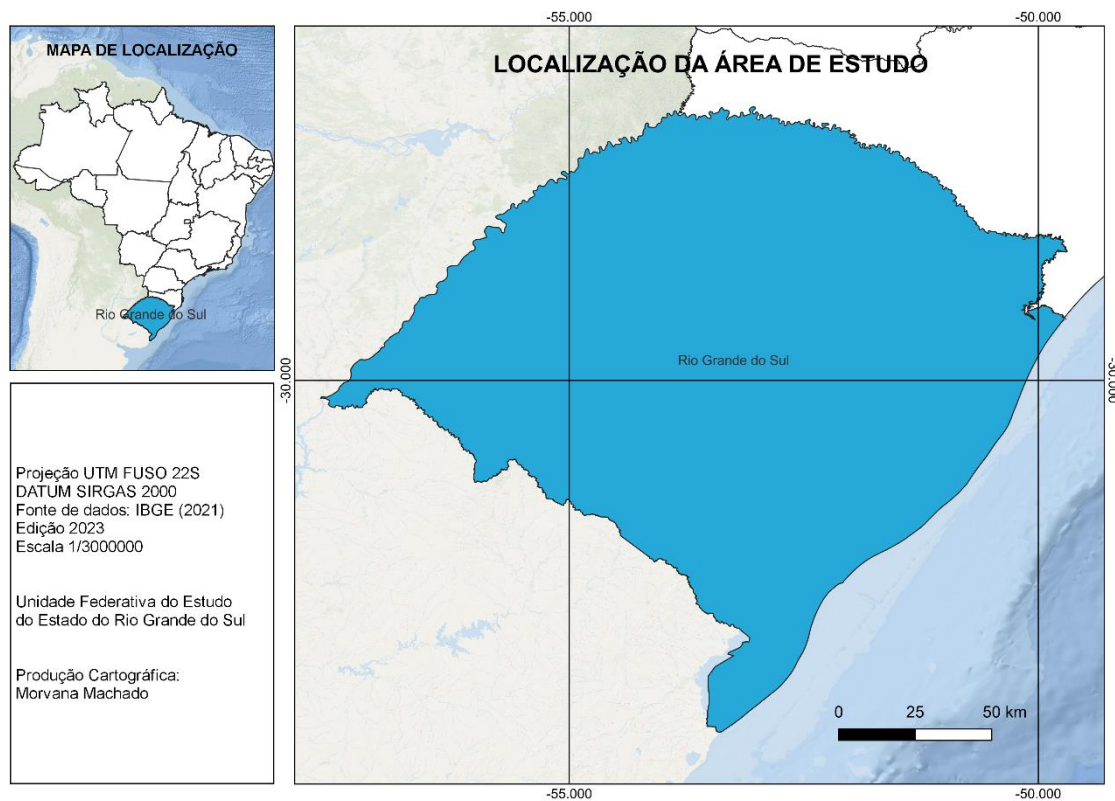
O Portal OpenTopography permite o acesso gratuito de usuários a MDEs disponíveis globalmente. O site tem seu software de código aberto, os algoritmos e ferramentas são desenvolvidas e distribuídas para parceiros e comunidades de usuários de ciências da Terra. Os dados obtidos são Raster no formato GeoTiff, que consiste em dados numéricos espacial, armazenados digitalmente, coletados através de sensores. Este armazenamento é realizado a partir de arquivos em TIFF que identifica sistemas de coordenadas referenciados pela Terra (Devys et al. 2019).

4.2. Área de Estudo

A área de estudo desta pesquisa é o Estado do Rio Grande do Sul, região sul do território brasileiro, este abrange uma porção de 190 malha topográficas para escala de 1:100.000 produzidas e fornecida pela Diretoria do Serviço Geográfico Brasileiro (DSG, 1980).

O Estado do Rio Grande do Sul está localizado no extremo sul do Brasil, formado por 497 municípios e sua área total é de 281.707,15 km² (Figura 18), incluindo as áreas das Lagunas dos Patos e Mirim. Sua população é de 11.466,630 habitantes, estatisticamente 5,4% da população brasileira e é o sexto Estado mais populoso do país (IBGE, 2021).

Figura 18 - Localização da área de Estudo o Estado do RS



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Estado possui características naturais em sua composição como no relevo, clima, vegetação e hidrografia. Basicamente, o Estado possui 3 tipos de relevo: o Planalto, Depressão Central e Planície, demonstrando uma variedade geomorfológica na região.

As cinco unidades morfológicas presentes no Estado são a Planalto, Depressão Central, Cuesta do Haedo, Escudo Sul-Riograndense e a Planície Costeira (ver item 3.4).

4.3. Base de dados e Pré-processamento

Os dados necessários para a realização desta pesquisa, constitui-se em 4 (quatro) principais: I) Bases de referência geodésicas RRNN fornecidos pelo IBGE; II) Modelo digital de elevação SRTM; III) Modelo digital de AW3D30; IV) Modelo digital de elevação NASADEM. Todos os MDEs tem seus metadados disponibilizados abertamente através do Portal *OpenTopography*.

No estudo, foram obtidos 1.800 pontos de controle verticais altimétricos RRNN da rede SGB do IBGE.

Para tornar robusta as análises dos resíduos, foi aferido nos modelos digitais de elevação, qual melhor se aproxima dos valores altimétricos das RRNN. Do Datum vertical EGM96, o MDE NASADEM fora obtido 1.800 pontos altimétricos (Figura 19), já no MDE AW3D30 1.109 pontos altimétricos (Figura 21) e do MDE SRTM 1.147 (Figura 20) pontos altimétricos.

O refinamento dos pontos de controle entre os MDEs, foi ocasionado por uma parametrização do relevo referente à uma representação quantitativa das características morfológicas da paisagem de forma contínua (Wood, 1996).

Na filtragem dos pontos altimétricos para os MDEs, houve uma discrepância de altitude entre eles, alguns pontos estão em áreas de grande amplitude altimétrica. Esta variação se dá em poucas distâncias no plano horizontal, ou seja, em poucos metros no plano horizontal, há uma grande variação altimétrica. Assim, nessas áreas em que foram filtrados os pontos nos MDEs, há ocorrência com grandes variações altimétricas em distâncias reduzidas. Deste modo, a ressalva para a aderência dos MDEs com as RRNN, se dá pela disposição de distribuição não homogênea no território do Rio Grande do Sul tornando as análises para o PEC/PCD baseadas em métricas associadas ao erro.

De acordo com (Franklin et al., 1987), alguns parâmetros básicos pertencem à parametrização do relevo: o primeiro, refere-se à elevação, cujo o gradiente topográfico representa a taxa de mudança de altitude com relação aos eixos X (linhas) e Y (colunas).

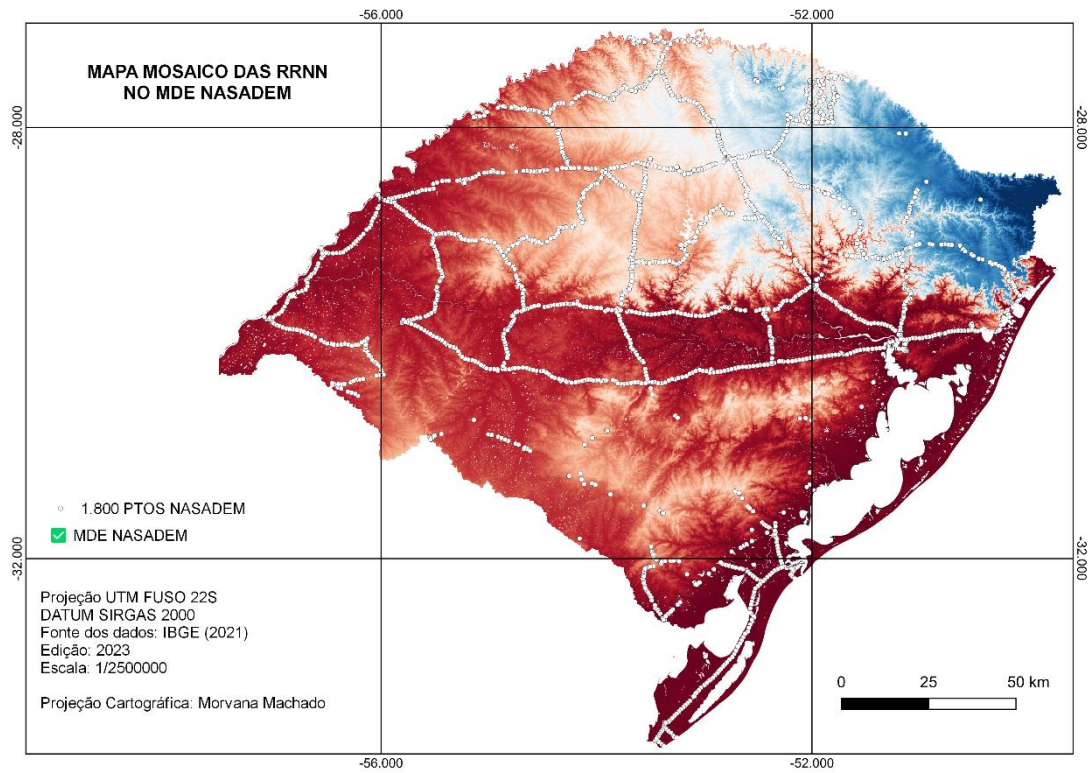
Sendo assim, o Quadro 5, apresenta os valores das altitudes na filtragem através dos resíduos.

Quadro 5 - Erros sistemáticos pós-filtragem das bases de referência RRNN

	TOTAL	EQM	DESVIO
	PONTOS		PADRAO
NASADEM	1800	6,012	5,945
SRTM	1147	2,263	2,169
AW3D30	1109	2,229	2,230

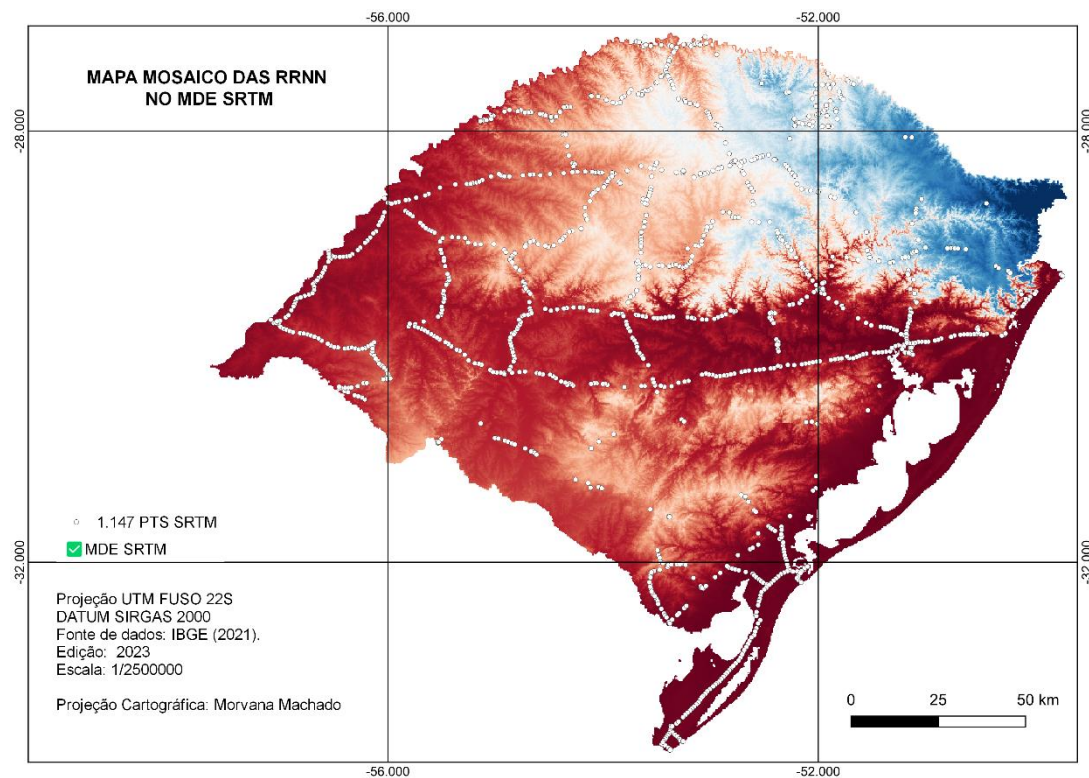
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 19 - Mapa de localização das RRNN utilizadas sobre o MDE NASADEM no RS



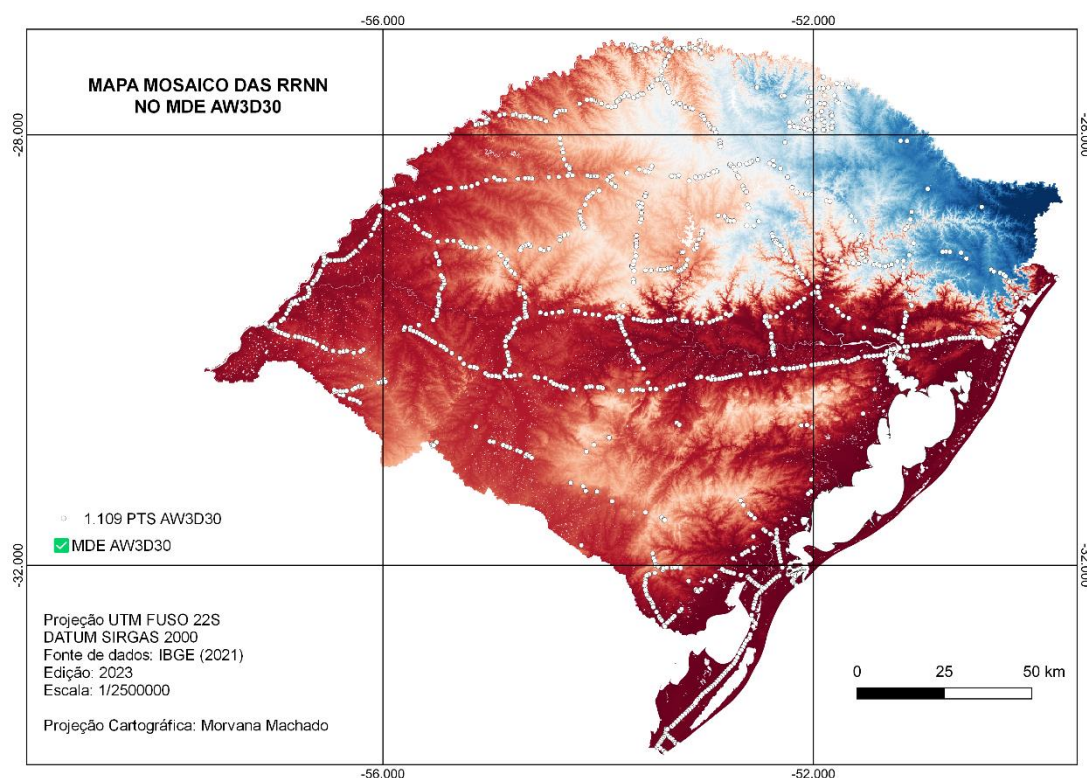
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 20 - Mapa de localização das RRNN utilizadas sobre o MDE SRTM no RS



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 21 - Mapa de localização das RRNN utilizadas sobre o MDE AW3D30



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para o processamento dos dados a partir dos MDEs em formato Raster, gerou-se um arquivo *Tagged Image File Format* (TIFF), ao qual é permitido embutir informações de coordenadas geográficas em um arquivo correspondendo ao ponto altimétrico das RRNN, a fim de calcular a altitude de cada ponto no MDE.

4.4. Método de avaliação do PEC-PCD

Segundo o Decreto Federal nº 89.817 de 20 de julho de 1984 estabelece que, a tolerância vertical e o erro médio quadrático (EQM) respeitem a equidistância entre as curvas de nível, ou seja, para uma determinada categoria ser aceita, 90% dos pontos de altitude não deverão apresentar discrepância superior ao PEC altimétrico estabelecido através do erro quadrático médio ao qual é possível calcular o indicativo de dispersão relativo da probabilidade, que corresponde a 1,6449 vezes o erro médio, conforme já descrito no item 3.2.1.1.

De modo que, a tolerância vertical para a Classe A, deve respeitar um erro padrão inferior à 2,70 metros ou inferior a 1/6 metros para o EMQ. Para a Classe B, deve conter 1/2 da equidistância entre as curvas de nível, e o EMQ deve ser de 1/3 da equidistância entre as curvas e nível. Para a Classe C, deve conter um erro padrão à 3/5 da equidistância entre as curvas de nível e o EMQ de 2/5 da equidistância entre as curvas de nível. Para a Classe D, a tolerância vertical deve conter 3/4 da equidistância entre as curvas de nível e o EMQ de 1/2 da equidistância entre as curvas de nível. Para as análises de EMQ foram utilizados os pontos altimétricos do DATUM vertical EGM96 dos MDEs citados.

O comportamento dessas diferenças foi avaliado estatisticamente quanto à existência de erros sistemáticos e também quanto à aderência ao Padrão. E por discrepância de RRNN entre os MDEs, não foi aplicada a avaliação do teste ANOVA para comparar os resultados globais entre os MDEs. Contudo, por redundância, o teste ANOVA e a correlação linear de Pearson, foi aplicado nos erros grosseiros a fim de verificação de aderências entre 100 amostras dos MDEs filtrados nos três MDEs com as RRNN. Foram assim observados cenários para determinação de dissemelhança entre os MDEs.

Contudo, as análises de precisão foram realizadas pela comparação entre o Erro Médio Quadrático (EQM) com o Erro Médio (EM) especificado no PEC/PCD para cada escala e classe.

Para acurácia posicional vertical entre o produto cartográfico a ser avaliado, a altimetria do MDE e um dado de referência, neste caso, as RRNN fornecidas pelo IBGE, as análises estatísticas dos dados de elevação dos MDEs foram calculadas conforme as equações:

$$(1) EMQ = \sqrt{\frac{\sum(Z_i - Z_t)^2}{n-1}}$$

$$(2) DESV. PADRÃO = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_t)^2}$$

$$(3) MÉDIA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_t)$$

$$(4) RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_t)^2}$$

$$(5) PEC(calculdo) = EQM * 1,6449$$

Onde:

Z_i : é a altitude geopotencial do MDE;

Z_t : é a altitude da referência de nível (RRNN);

n : número total de RRNN;

Dessa forma, e de posse destas duas altitudes, adotou-se o erro do ponto com sendo a diferença simples entre o valor obtido por meio dos MDEs (Z_{MDE}) subtraído do valor da altitude do respectivo homólogo medido e fornecido pelo IBGE (Z_{RRNN}). Os erros de cada ponto foram aderidos em faixa de latitude/longitude para os cálculos do EMQ, média e desvio padrão.

$$Resíduos = (Z_{MDE} - Z_{RRNN})$$

A análise de acurácia foi avaliada a partir da definição de um valor limite no qual seria necessário que 90% dos pontos homólogos comparados, estivessem abaixo desse valor. Assim, dispõe-se dos parâmetros fundamentais para avaliar cada MDE, conforme o PEC estabelecido no Decreto Federal nº 89.817/84.

A classificação é realizada para as Classes “A”, “B”, “C” e “D”, sendo a “A” o produto de maior acurácia, é importante ressaltar que as precisões utilizadas nessa classificação estão defasadas em termos das tecnologias hoje disponíveis que possibilitam maior precisão de medição com relação ao que existia na época da sua edição à há mais de 30 anos.

O fato de exprimir um critério de fácil mensuração e de conhecimento difundido no ambiente acadêmico brasileiro faz que seja uma boa opção para expressar o comportamento dos modelos digitais de elevação no Brasil, facilitando comparações dos resultados com outros trabalhos. (Santos, et al., 2006; Miceli, et al., 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a acurácia vertical encontrada junto as províncias geomorfológicas nesta pesquisa aliados aos modelos descritos, deve considerar o objeto de estudo, para a precisão ou a aderência desejada, bem como a escala de análise e de apresentação desses dados. Os resultados desta análise são apresentados na sequência.

5.1. Modelos Digitais de Elevação

Os resultados estatísticos mostram que a acurácia para aderência das RRNN nos MDEs, varia consideravelmente entre os modelos avaliados (Quadro 6), tendo como destaque a diferença entre o desvio padrão e do erro médio quadrático no MDE NASADEM para os outros modelos.

Observando os máximos valores de resíduos ficou notório que os valores do MDE SRTM e do MDE AW3D30 não obtiveram erros superiores a 5 m, que ao comparar ao MDE NASADEM obteve um erro de 19,957 m, ou seja, os MDEs SRTM e AW3D30 tiveram uma semelhança maior perante as RRNN,

De forma similar ocorre quando observado o EQM, pois o MDE NASADEM obteve o valor de EQM 6,012 m, já os demais MDEs estudados obtivera um EQM em torno de 2 m.

Quadro 6 - Estatísticas básicas: subtração entre MDEs (global-interpolação) para as RRNN (diferença em metros)

	MDE NASADEM	MDE SRTM	MDE AW3D30
Mínimo	0,000429	0,00231	0,000835
Máximo	19,9	4,4	4,4
Média	4,2	5,1	4,9
EQM	6,0	2,2	2,2
Desvio Padrão	5,9	2,1	2,2
Coeficiente de Variação	6,6	3,3	3,8

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O PEC/PCD definiu tolerância de erros de acordo com 8 escalas diferentes (de 1:25.000 à 1:50.000) e quatro classes de qualidade (que variam de A à D).

Com os dados pertinentes e o PEC calculado para o Estado do Rio Grande do Sul, o modelo MDE NASADEM atende Classe C para a escala 1:50.000. O MDE SRTM atende Classe A na escala 1:50.000 enquanto para a Classe B o MDE atende para a escala 1:25.000 e escalas inferiores. O MDE AW3D30 atende a Classe A na escala 1:50.000, e para a Classe B o MDE atende para a escala 1:25.000 e escalas inferiores.

Para o Estado do Rio Grande do Sul, o MDE NASADEM apresentou raiz do erro médio quadrático de 2,452 m, para o MDE SRTM a raiz do erro médio quadrático foi de 1,379 m, e para o MDE AW3D30 a raiz do erro médio quadrático foi de 2,229 m, indicando que o modelo NASADEM subestimou e superestimou os dados em relação aos outros MDEs.

Ressalva-se que, existem diversos métodos para a avaliação uniforme para a acurácia vertical, e que, no caso houvesse outras amostras para os mesmos MDEs teria-se respostas diferentes, portanto, exclusivamente, para esta pesquisa, o terreno tem uma variação topográfica considerável que em contrapartida, obteve pontos homólogos onde não estão em conformidade de distribuição geográfica.

As análises das diferenças entre as referências de nível e os MDEs SRTM e AW3D30 foram submetidos ao teste ANOVA, 100 dados amostrais e a correlação linear de Pearson. Os resultados mostraram que para o teste ANOVA (Tabelas 2 e 3), os MDEs citados apresentaram melhor aderência com as RRNN, pois determinou que, não houve variabilidade dos dados nas observações, o valor de p das amostras foi de $(p > 0,05)$, ou seja, a probabilidade maior que 5% resultante em 0,68%, o valor de F calculado foi de 0,16 e o fator F crítico foi de 3,88.

Tabela 2 - Resumo do Teste ANOVA

RESUMO				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
SRTM	100	31,155	0,312	2,608
AW3D30	100	21,703	0,217	2,697

Tabela 3 - Teste ANOVA

ANOVA						
Fonte de Variância	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,447	1	0,447	0,168	0,682	3,889
Dentro dos grupos	525,111	198	2,652			
Total	525,558	199				

Onde:

SQ: é a soma total dos quadrados;

gl: graus de liberdade;

MQ: média quadrática;

F: variação entre as médias;

Valor-P: indica a probabilidade de se observar uma diferença tão grande ou maior do que a que foi observada sob a hipótese nula;

F-crítico: é um ponto na distribuição sob a hipótese de rejeitar ou aceitar as análises.

A correlação entre os modelos foi determinada com base no coeficiente de correlação linear de Pearson, conforme (Feijoo, 2010), o coeficiente é baseado em modelos de regressão linear que buscou determinar o nível de associação entre as amostras, onde esse coeficiente, varia de +1 à -1, sendo +1 a correlação positiva perfeita e -1 a correlação negativa perfeita.

Na (Tabela 4), os resultados das 100 amostras obtiveram um valor negativo de -0,03394 no coeficiente de correlação linear de Pearson, indicando que os dados são inversamente proporcionais, ou seja, os valores altos de uma amostra correspondem os valores baixos da outra amostra.

Tabela 4 - Teste de Correlação Linear de Pearson

	SRTM	AW3D30
SRTM	1	
AW3D30	-0,03394	1

O objetivo dos testes mensurou o grau de relacionamento entre os MDEs SRTM e AW3D30, a qual as RRNN e as análises demonstraram que não haver diferença significativa.

5.2. Províncias geomorfológicas

A porção geográfica estudada dos dados utilizados para a totalidade do território do Estado do Rio Grande do Sul, este dividido em 5 unidades geomorfológicas. Como o intuito desta pesquisa foi identificar, qual dos MDEs mais se adere as RRNN no Estado, as análises foram feitas separadamente por província.

A aplicação para o processamento de dados para as Províncias Geomorfológicas para cada modelo digital de elevação deriva dos mesmos dados em que os MDEs foram avaliados. Cada MDE apresentou uma análise distinta de aderência com as RRNN, entre as Províncias Geomorfológicas.

5.2.1. Resultados - MDE NASADEM

O resultado da subtração entre o MDE NASADEM e as referências de nível resultou nos resíduos do modelo digital que subestimou e superestimou os dados, com isso, as análises de acurácia nas províncias também indicou os desvios padrão, valor máximo e valor mínimo nos pontos na intersecção com as RRNN.

A distribuição das RRNN no Estado do RS perante as províncias geomorfológicas, observe a tabela abaixo (Tabela 5), a qual apresenta a área de cada província bem como a quantidade de pontos trabalhados dentro delas. A distribuição dos pontos inseridos em cada uma das cinco províncias, nota-se a quantidade elevada de pontos na província Planalto em comparação com as demais, a qual, obteve 55,22% de pontos sobre o seu território.

Tabela 5 - Áreas geomorfológicas que compõem a região do estudo

PROVÍNCIA	PONTOS	ÁREA km²	% ÁREA TOTAL DO ESTADO	% TOTAL PTS P/ TERRITÓRIO
PLANALTO	994	131884,37	49,26%	55,22%
CUESTA DO HAEDO	121	21499,75	8,03%	6,72%
PLANÍCIE COSTEIRA	212	24869,89	9,29%	11,78%
ESCUDO SRG	92	37327,93	13,94%	5,11%
DEPRESSAO CENTRAL	381	52148,40	19,48%	21,17%
TOTAL	1800	267730,34	100,00%	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na Província Planície Costeira trabalhou-se 212 pontos os quais tiveram uma média de erro 2,7 m em comparação com o Escudo_SRG o qual teve 92 pontos trabalhados que obteve um erro médio 3,2 m, esses valores podem ser observados na (Tabela 6). Uma hipótese seria pela topografia do relevo, pois como já mencionado a Planície Costeira tem valores de altitude inferiores à 40 m, enquanto o Escudo_SRG tem valores de altitudes de 100 a 500 m. Após o PEC calculado foi estabelecido a escala e classe de qualidade para cada província geomorfológica, conforme os resultados detalhados abaixo.

Tabela 6 - Visualização da distribuição estatística do erro entre o MDE NASADEM e os dados de referência do IBGE por província

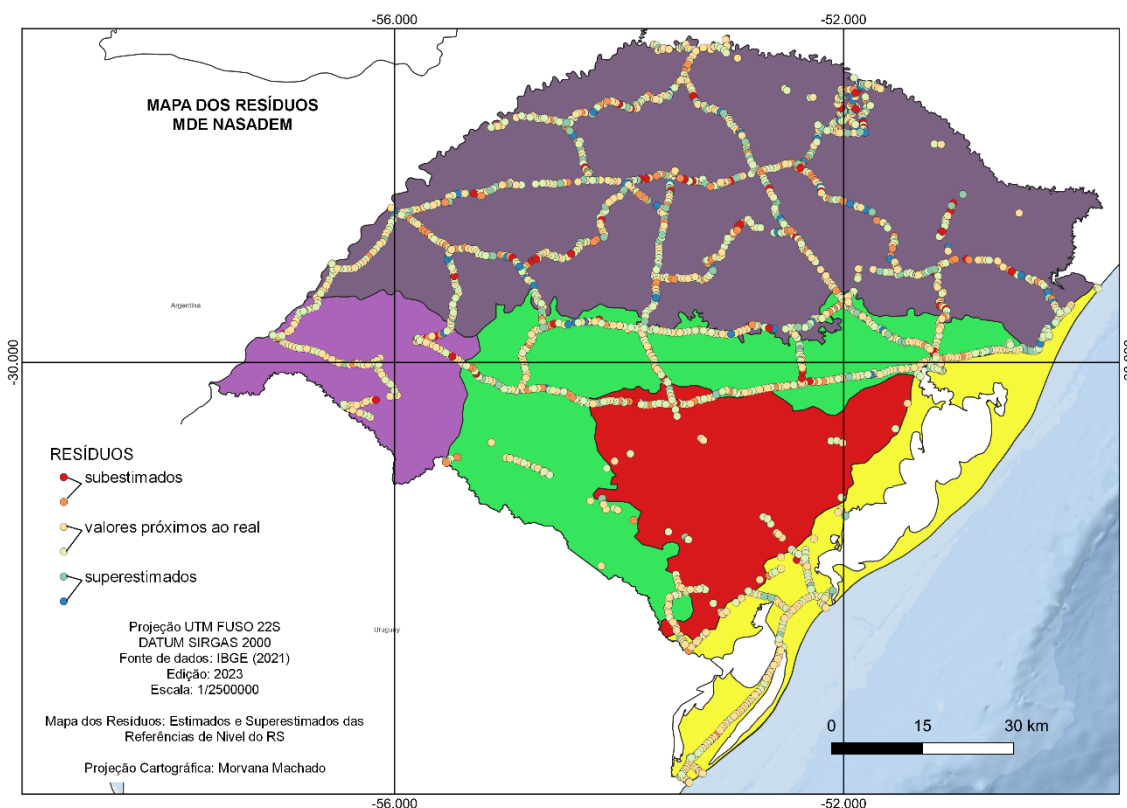
PROVÍNCIA	PONTOS	EQM	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	PEC (Calculada)	ESCALA / CLASSE
PLANALTO	994	6,8	6,7	5,1	11,2	1:50.000 Classe C
CUESTA DO HAEDO	121	4,6	4,6	2,7	7,6	1:50.000 Classe B
PLANÍCIE COSTEIRA	212	3,9	3,8	2,7	6,5	1:25.000 Classe D
ESCUDO_SRG	92	4,4	4,4	3,2	7,3	1:25.000 Classe D
DEPRESSÃO CENTRAL	381	5,2	5,2	3,7	8,6	1:50.000 Classe B
TOTAL	1800	5,0	4,9	6,01	-	-

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A (Figura 22) apresenta um mapa referente aos resíduos dos pontos os quais em vermelho estão os pontos subestimados, nas cores em amarelo estão os resíduos próximos a zero e na cor azul estão os valores superestimados.

Para efeito de comparação a Planície Costeira teve pontos com tonalidades próximas a cor amarela, ou seja, com valores próximos ao real, como o EQM foi de 3,9 m sendo este o menor valor em comparação com as outras províncias.

Figura 22 - Resultados dos resíduos no MDE NASADEM



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

De forma semelhante, a Planície Costeira foi a província que obteve o menor desvio padrão, com valor de 3,8 m com valores próximos ao real, porém, a província do Planalto a qual possui o maior número de pontos obteve o maior desvio padrão de 6,7 m e com valores subestimados. A hipótese da divergência seria a topografia do relevo nestas províncias, já que a altimetria varia dentre as províncias citadas.

5.2.2. Resultados - MDE SRTM

A partir dos processamentos dos dados do MDE SRTM e as referências de nível observou-se a aderência do modelo, assim, foi possível notar a qualidade posicional da acurácia vertical. Para o estudo, concluiu-se que o MDE SRTM para o Estado do Rio Grande do Sul cumpriu os requisitos das normas brasileiras no PEC/PCD e aderiu as RRNN. Para visualizar a distribuição das RRNN no Estado do RS perante as províncias geomorfológicas observe a tabela

abaixo (Tabela 7), a qual apresenta a área de cada província bem como a quantidade de pontos trabalhados dentro delas.

De forma, a facilitar a distribuição dos pontos inseridos em cada uma das cinco províncias, nota-se a quantidade elevada de pontos na província Planalto em comparação com as demais, a qual, obteve 46,82% de pontos sobre o seu território.

Tabela 7 - Áreas geomorfológicas que compõem a região do estudo

PROVÍNCIA	PONTOS	ÁREA km ²	% ÁREA TOTAL DO ESTADO	% TOTAL PTS P/ TERRITÓRIO
PLANALTO	537	131884,37	49,26%	46,82%
CUESTA DO HAEDO	100	21499,75	8,03%	8,73%
PLANÍCIE COSTEIRA	175	24869,89	9,29%	15,27%
ESCUDO SRG	64	37327,93	13,94%	5,58%
DEPRESSAO CENTRAL	271	52148,40	19,48%	23,65%
TOTAL	1147	267730,34	100,00%	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na Província Escudo_SRG trabalhou-se 64 pontos os quais tiveram uma média de erro 1,6 m em comparação com o Planalto o qual teve 537 pontos trabalhados que obteve um erro médio 1,9 m, esses valores podem ser observados na (Tabela 8). A topografia do relevo expôs as condições, pois como já mencionado o Planalto tem valores de altitude até 1000 m, enquanto o Escudo_SRG tem valores de altitudes de 100 a 500 m.

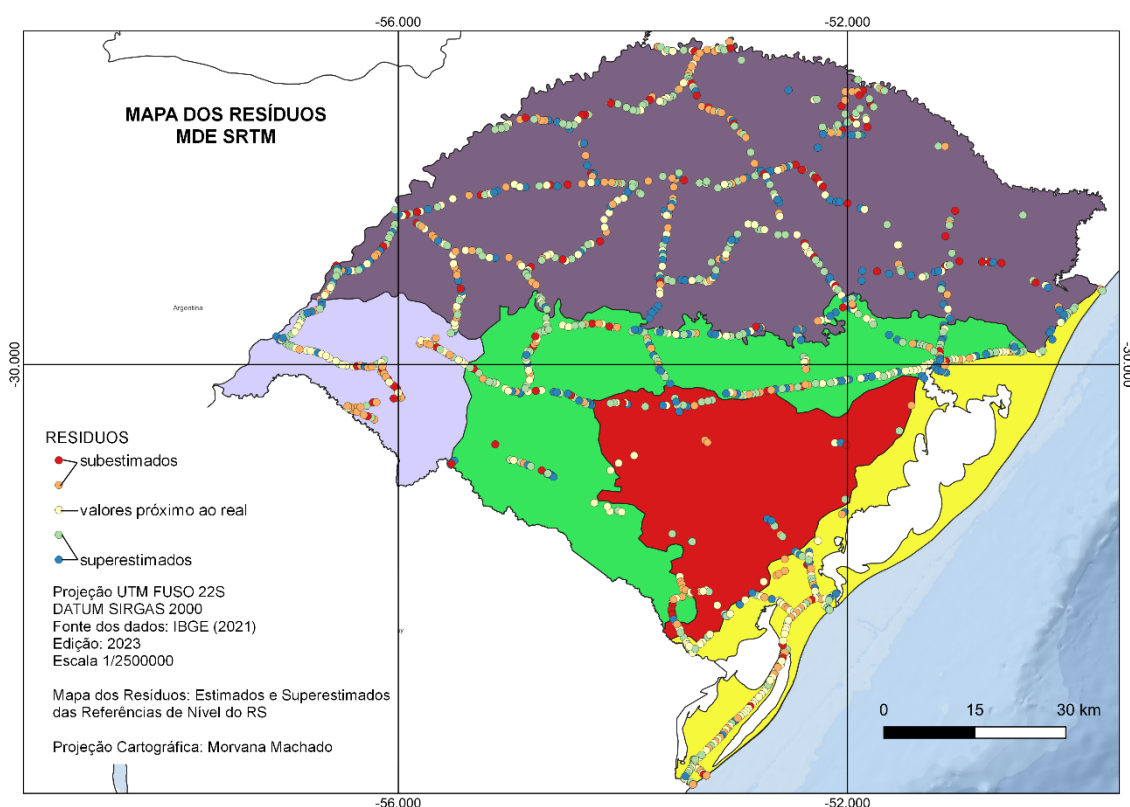
Tabela 8 - Visualização da distribuição estatística do erro entre o MDE SRTM e os dados de referência do IBGE por província

PROVÍNCIA	PONTOS	EQM	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	PEC (Calculada)	ESCALA / CLASSE
PLANALTO	537	2,3	1,9	1,9	3,8	1:25.000 Classe B
CUESTA DO HAEDO	100	2,0	2,0	1,7	3,3	1:25.000 Classe B
PLANÍCIE COSTEIRA	175	2,0	1,9	1,6	3,3	1:25.000 Classe B
ESCUDO_SRG	64	2,0	1,9	1,6	3,3	1:25.000 Classe B
DEPRESSÃO CENTRAL	271	2,4	2,1	2,0	3,9	1:25.000 Classe B
TOTAL	1147	2,1	2,0	1,8	-	Classes inferiores

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A (Figura 23) apresenta um mapa referente aos resíduos dos pontos os em vermelho estão os pontos subestimados, nas cores em amarelo estão os resíduos próximos ao real, e na cor azul estão os valores superestimados. Diante disso, a Depressão Central obteve EMQ no valor de 2,4 m, as quais estão os pontos superestimados, ou seja, na tonalidade de azul.

Figura 23 - Resultados dos resíduos no MDE SRTM



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A observação de que a província de Planície Costeira, o Escudo_SRG e o Planalto Meridional, obtiveram os menores valores próximos a 1,9 m. Entretanto, a Depressão Central obteve o maior desvio padrão de 2,1 m, a hipótese da divergência seria a topografia do relevo nestas províncias, já que a altimetria varia dentre estas quatro províncias citadas.

5.2.3. Resultados - MDE AW3D30

Os resultados encontrados neste modelo digital de elevação, obteve na maioria das províncias geomorfológicas a aderência junto as referências de nível. Ressalve-se que, para a região do Planalto Meridional (Tabela 9) com 48,06% dos pontos no seu território, onde as RRNN em sua maioria encontram-se ao lado nordeste do Estado não estão distribuídas de forma homogênea.

Tabela 9 - Áreas geomorfológicas que compõem a região do estudo

PROVÍNCIA	PONTOS	ÁREA km ²	% ÁREA TOTAL DO ESTADO	% TOTAL PTS P/ TERRITÓRIO
PLANALTO	532	131884,37	49,26%	48,06%
CUESTA DO HAEDO	86	21499,75	8,03%	7,75%
PLANÍCIE COSTEIRA	170	24869,89	9,29%	15,33%
ESCUDO SRG	67	37327,93	13,94%	6,04%
DEPRESSAO CENTRAL	253	52148,40	19,48%	22,81%
TOTAL	1108	267730,34	100,00%	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na Província Depressão Central trabalhou-se 253 pontos os quais tiveram uma média de erro 0,1 m em comparação com o Planalto o qual teve 532 pontos trabalhados e um erro médio 3,2 m, esses valores podem ser observados na (Tabela 10). A hipótese seria pela topografia do relevo, pois como já mencionado o Planalto tem valores de altitude até 1000 m, e as RRNN em discrepâncias encontram-se no lado Oeste do Planalto, enquanto a topografia do Escudo_SRG tem valores de altitudes de 100 a 500 m.

Os dados altimétricos do MDE AW3D30 mostraram ser uma alternativa para programas de mapeamento topográfico, a qual a informação altimétrica está disponível ou apresenta baixa qualidade. Deste modo, o modelo avaliado cumpriu os requisitos das normas brasileiras do PEC/PCD e obteve aderência junto as RRNN.

Tabela 10 - Visualização da distribuição estatística do erro entre o MDE AW3D30 e os dados de referência do IBGE por província

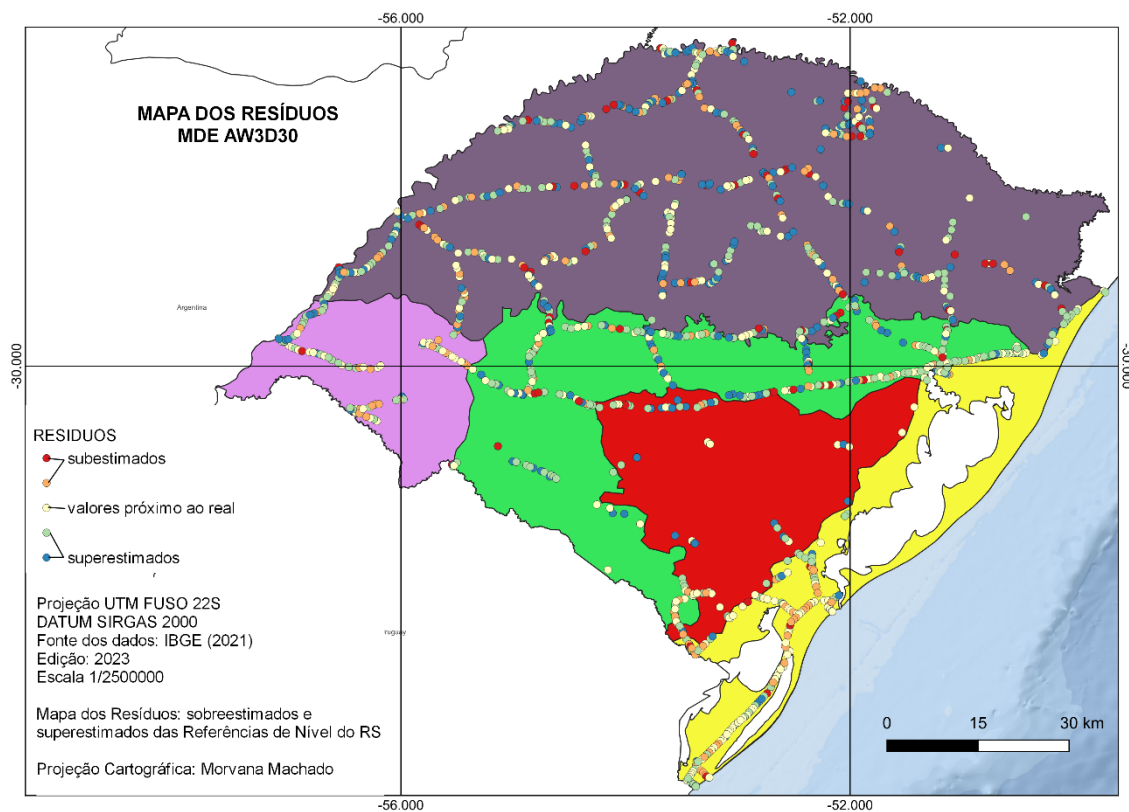
PROVÍNCIA	PONTOS	EQM	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	PEC (Calculada)	ESCALA / CLASSE
PLANALTO	532	8,6	8,3	3,2	14,2	1:50.000 Classe D
CUESTA DO HAEDO	86	1,8	1,7	1,5	3,0	1:25.000 Classe B
PLANÍCIE COSTEIRA	170	1,7	1,7	1,3	2,8	1:25.000 Classe B
ESCUDO_SRG	67	2,2	1,8	0,2	3,6	1:25.000 Classe B
DEPRESSÃO CENTRAL	253	2,2	2,0	0,1	3,7	1:25.000 Classe B
TOTAL	1108	3,3	3,1	1,3	-	-

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A (Figura 24) apresenta um mapa referente aos resíduos dos pontos em que todas as províncias obtiveram em sua distribuição valores sobrestimados e superestimados e valores próximos ao real.

A distribuição contendo o desvio padrão em cada província geomorfológica, e observando que, o Planalto Meridional resultou em um valor de 8,3 m enquanto que, tendo um descolamento junto as RRNN, os restantes das províncias se aderiram ao MDE AW3D30 com valores que variaram entre 1,7 m à 2,0 m.

Figura 24 - Resultados dos resíduos no MDE AW3D30



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os resultados permitiram avaliar quantitativamente e qualitativamente os MDEs, por conseguinte, os MDEs que apresentaram maior proximidade com as referências de nível foram, o MDE SRTM e o MDE AW3D30. Para as análises do erro médio quadrático esses modelos apresentaram melhor resultado, tanto estatístico quanto morfológico. Além disso, os resultados podem estar relacionados ao método de aquisição dos MDEs classificados (p.e., JPL, 2018, Crippen et al., 2016, Tadono et al., 2016) porém a ressalva de que, para as RRNN fornecidas pelo IBGE, a sua distribuição não é homogênea geograficamente no Estado do Rio Grande do Sul havendo discrepância considerável.

Quanto a ressalva descrita, e ainda que, para o MDE NASADEM é um modelo digital de elevação quase global e seu reprocessamento completo dos dados de radar do (SRTM), foi detectado efeitos de viés para o produto, expressos pela distribuição não normal dos dados altimétricos do modelo. Assim, o MDE NASADEM não obteve um resultado esperado quanto a sua aderência

junto as RRNN, e a geomorfologia do terreno influenciou no erro altimétrico do modelo na área de estudo.

6. CONCLUSÃO

As análises estatísticas permitiram avaliar quantitativamente e qualitativamente os modelos que melhor se aderiram as RRNN, modelos estes que são utilizados para realização de diversos estudos, a sua gratuidade e a cobertura são quase o total da superfície terrestre.

Estatisticamente, o modelo digital que apresentou melhor aderência com as referências de nível foi o MDE SRTM e o MDE AW3D30, pois as elevações médias foram próximas às das RRNN. A análise do teste ANOVA e da correlação linear de Pearson, comprovou que esses modelos não apresentaram ter diferença significativa.

Para as análises do Decreto Federal nº 89.817/84 que regulamenta o PEC/PCD altimétrico, conclui-se que os modelos podem ser utilizados para as escalas maiores 1:25.000 a inferiores 1:50.000 e os mesmos enquadram-se nas Classes A, B, C, e D, com ressalvas para o modelo NASADEM que se enquadra somente a partir da Classe C para a escala 1:50.000.

Quanto as análises das unidades geomorfológicas, para cada província os modelos se comportaram conforme o terreno e a distribuição das RRNN. Para a escala 1:50.000 do MDE NASADEM as províncias se enquadraram na Classe C e na escala 1:25.000 enquadraram somente na Classe D.

Para a escala 1:25.000, as províncias analisadas do modelo SRTM foram compatíveis assim como para as escalas inferiores. Para o modelo AW3D30, as análises mostraram a compatibilidade para a escala 1:25.000 e escalas inferiores.

Conclui-se que, os resultados demonstraram que são vários os fatores que afetaram a acurácia vertical dos modelos digitais de elevação analisados. A ressalva dessa pesquisa, foi a discrepância nas altitudes dos modelos em

relação as referências de nível, pois, o relevo do Estado do Rio Grande do Sul tem uma geomorfologia variada, há vales, drenagens, escapas, e como já citado, as áreas de grande amplitude varia em poucas distâncias no plano horizontal. Sendo assim, para os MDEs, os erros sistemáticos foram subestimados e superestimados, demonstrando uma diferença maior em relação aos modelos que se aderiram as RRNN.

Os resultados permitiram avaliar os modelos na forma global e por feições em unidades geomorfológicas, pois todos os modelos digitais de elevação estão adequados para utilização, porém, embora todos possam ser utilizados nas referidas escalas em que foram abordados. E com este estudo e para estudos futuros, o usuário pode escolher qual tem a melhor compatibilidade e condição de ser empregado para o Estado do Rio Grande do Sul e o mesmo procedimento pode ser aplicado.

Visto que todos os MDEs passaram pelo crivo de parâmetros e definição de qualidade de acurácia posicional vertical, todavia, houver incerteza pelo usuário qual dos MDEs empregar, a pesquisa dá subsídio dentro das condições de cada relevo, a escolha daquele que obteve maior acurácia.

7. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamentos topográficos**. Rio de Janeiro, p.02. 1994. <<http://www.carto.eng.uerj.br/cdecart/download/NBR13133.pdf>>

ALVES L. N., *et al.* Fundamentos do processamento interferométrico de dados de radar de abertura sintética. Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP. **Anais XIV. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7227-7234. <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.06/doc/7227-7234.pdf>

ANDERSON, P. S. **Princípios de Cartografia Básica**. Normal, IL, EUA: Illinois State University, 1982.

ARAÚJO, P. V. *et al.*, 2019. **Acurácia Vertical e Calibração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para a Bacia Hidrográfica Piranhas-Açú, Rio Grande do Norte**. Brasil. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 351 – 364. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_351_364
Brasil, 1984. Decreto Federal nº 89.817, de 20 de junho.

ARCGIS [GIS software]. Version 10.0. Redlands, CA: **Environmental Systems Research Institute**, Inc., 2010. Crippen, R., Buckley, S., Agram, P., Belz, E., Gurrola, E., Hensley, S., Kobrick, M., Lavallo, M., Martin, J., Neumann, M., Nguyen, Q., Rosen, P., Shimada, J., Simard, M., and Tung, W. (2016).

BETTIAL, G. M. **Conformidade entre dados biofísicos orbitais e terrestres para o zoneamento agroclimático, identificação espaço-temporal de tendências de precipitação e suas relações com uso e cobertura da terra no bioma cerrado**. UFG, Universidade Federal de Goiás Campus Samambaia. Repositório da biblioteca digital de Teses e Dissertações (BDTD). Acessado: 07/12/2022 <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11777>

CASTROGIOVANNI, A. C. **Apreensão e Compreensão do Espaço Geográfico**. In:

CASTROGIOVANNI, A. C (Org.). **Ensino da Geografia: práticas e textualizações do cotidiano**. Porto Alegre: Mediação, 2000.

COSTA, A. C., *et al.* Resultados: Preliminares da Campanha SIRGAS 2000. Centro de análises do IBGE. DOI: 10.1007/978-3-662-04683-8_57. |

CREMON, *et al.* Avaliação altimétrica do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. ISSN 1808-0936 | <https://doi.org/10.14393/revbrascartogr>. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.

CRIPPEN R.*. *et al.* **NASADEM Global Elevation Model: Methods and Progress**. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLI-B4, 125-128. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-125-2016.

CROSBY, C.J., *et al.* 2020. Zero to a trillion: advancing earth surface process studies with open access to high-resolution topography. In *Developments in Earth Surface Processes* (Vol. 23, pp. 317-338). Elsevier.

CRUZ, O. **Alguns conhecimentos básicos para a fotointerpretação**. In: Aerofotogeografia, (25), São Paulo, IGEOG/USP, 1981.

DEVYS, E. **Consórcio Geoespacial Aberto**. Padrão OGC GeoTIFF. 2019, pág 63 Disponívelonline: http://docs.opengeoespacial.org/is/19-008r4/19-008r4.html# raster_space (acessado em 15 de Março de 2023, pág. 63).

DIAS, F. *et al.* 2011. Avaliação Vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em Diferentes Configurações Topográficas para Médias e Pequenas Escalas. **Revista Brasileira de Cartografia**, 63/1, 191- 201

DSG. Diretoria de Serviço Geográfico. 2011. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais** - ET-ADGV. 2 ed. 295p. Disponível em: https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/edqv/EDGV_DEFESA_F_Ter_2a_Edicao_2016_A_provada_Publicada_BE_7_16.pdf Acessado em 02 Nov 2022.

EB. Exército Brasileiro. Departamento de Ciência e Tecnologia. Diretoria de Serviço Geográfico, 2016. Especificação: **Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais**, 2 ed. Brasília.

_____. Departamento de Ciência e Tecnologia. Diretoria de Serviço Geográfico. 2016. **Norma da especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais de defesa da força terrestre**. 2 ed. Brasília.

_____. Departamento de Ciência e Tecnologia. Diretoria de Serviço Geográfico. Especificação: **Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGB)**. Editoração e impressão pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2º Edição, 9 de Agosto de 2011.

EDEMAR, V. S. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. – 3ed., rev. e ampl. – Porto Alegre/RS – Emater/RS. Ascar, 2018. 140-153, 2018

ESA. AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA, Sinergise (2021). **Copernicus Global Digital Elevation Model**. Distribuído pela OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics* 45. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>

FEIJOO, A. M. L. C. 2010. **Correlação: A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação**. Rio de Janeiro, Centro Edelstein de Pesquisa Sociais, 70-77.

FARR, T. G. *et al.* **The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics**. [S.l.], v. 45, p. 1-33. Março 2023.

FRANKLIN, S. *et al.* **Texture analysis of digital image data using spatial co-occurrence**. *Computers & Geosciences*, 13(3): 293-311p., 1987.

GAIDA, W., *et al.* 2016. **Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo**. Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 1–19. DOI: <https://doi.org/10.14350/riq.52159>.

GEMAE, C. **Introdução à geodésia física**. Curitiba: Editora UFPR, 1999.

GIOVANINI, A.. **Sirgas2000** – O que é, História e Objetivos. | <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/sirgas-2000/> |

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Sócio Econômico**. Secretaria de Planejamento. <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/caracteristicas-gerais#:~:text=O%20Rio%20Grande%20do%20Sul%20est%C3%A1%20localizado%20no%20extremo%20sul,estado%20mais%20populoso%20do%20Brasil>

GUTH P.L. *et al.* Publicado: 8 de setembro de 2021. Reuter, HI; Herrera-Cruz, V.; ações. Editor Acadêmico: Tomaž Podobnikar Remote Sens. 2021, 13, 3581.

<https://doi.org/10.3390/rs13183581>

Licenciado MDPI, Basel, Suíça. Riazanoff, S.; e outros **Modelos Digitais de Elevação: Terminologia e Definições**. Direitos autorais: © 2021 pelos autores. Citação: G

HOFF, R. *et al.*, 2015. **Geologia, geomorfologia, sensoriamento remoto e SIG como suporte à caracterização da indicação geográfica Campanha para vinhos de qualidade**. RS, Brasil. Feira de Santana, Universidade Estadual de Feira de Santana, 175–178.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **MAPGEO: Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal**. Versão 1.0, Brasil: IBGE, 2022.

_____. Cidades.. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs>. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

_____. Resolução da Presidência. | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf |

JARVIS, A. *et al.* 2008. Hole-Filled SRTM For The Globe Version 4. **Cgiar-Csi SRTM 90m Database**. Disponível em: <<http://SRTM.csi.cgiar.org>>.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. São José Dos Campos: Parentese, 2009.

JPL – Jet Propulsion Laboratory. **ASTER Global Digital Elevation Model Version 2**. Summary of Validation Results. Disponível em. Acesso em: 08 de Março de 2023

JPL – Jet Propulsion Laboratory. U.S. **Releases Enhanced Shuttle Land Elevation**. Data. Disponível em: Acesso em: 08 de Março de 2023.

JÚNIOR, M. A. **RBMC**. Acesso: 21 de abril de 2021. | <https://www.mensurarjunior.com/post/rbmc-o-que-%C3%A9-e-qual-a-sua-utilidade#:~:text=RBMC%20significa%20Rede%20Brasileira%20de,o%20Sistema%20de%20Refer%C3%Aancia%20SIRGAS2000.> |

MAILING, D.H. **Coordinate Systems and Map Projection**. 2a. ed. Pergamon Press. Oxford. Gra-Bretanha. 1992

MASOUD, A.; KOIKE, K. Tectonic architecture through Landsat-7ETM/SRTMDEM derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt. *J. Afr. Earth Sci.* 45:467–477, 2006.

MELGAÇO, L. M., *et al.* Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. **Anais XII**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1215-1220.

<http://mar.te.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.23.00.56/doc/1215.pdf>

MICELI, S. B. *et al.* Avaliação Vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em Diferentes Configurações Topográficas para Médias e Pequenas Escalas. **Revista Brasileira de Cartografia**. n.63/01, p.191-201, 2011.

MILANI, E. J. *et al.* França, A. B. 2007. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobrás, 15(2): 265-287.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. – 4ed. atual. e ampl. – Viçosa, MG : Ed. UFV, 2011, 136-137.

MOURA, L. Z. *et al.* Avaliação MG: da Acurácia Vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDES) nas bacias do Paranoá e São Bartolomeu. **Revista Brasileira de Cartografia**. n.66/01, p.1-14, 201

OPENTOPOGRAPHY. **Points2Grid: um método de grade local para geração de DEM a partir de dados de nuvem de pontos lidar**. Disponível:

<https://opentopography.org/otsoftware/points2grid> (acessado em 3 de Março de 2023).

PEARSON II, F. 1990. **Map Projections: Theory and Applications**. CRC Press, Inc. EUA

REUTER, H. I. *et al.* An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. **International Journal of Geographic Information Science**, v. 21, n. 9, p. 983-1008, 2007. DOI: 10.1080/13658810601169899.

RICHARDUS, P. e ADLER, R.K. Map projections for geodesists, cartographers and geographers. **Elsevier Science Publishing Co Inc**. EUA, 1972.

SANTOS, A. R. P. *et al.* Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.58/01, p.101-107, 2006.

SLUTER, R. C. V. *et al.* **Cartografia**. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Acesso: 19 de março de 2023. https://docs.ufpr.br/~aberutti/recursos_didaticos/textos/cartografia_apostila.pdf

SMITH, M. J.; WISEB, S. M. **Problems of bias in mapping linear landforms from satellite imagery**. *Int. J. Appl. EarthObs. Geoinf.* 9,65–78, 2007.

SOUZA, M. R. *et al.* **Análise da Acurácia Altimétrica do Modelo Digital de Superfície ALOS AW3D30 para o Mato Grosso do Sul**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. ISSN: 0101-9759 e ISSN: 1982-3908 Vol. 42 – 3/2019 p. 333-338. <http://www.anuario.igeo.ufrj.br>

STEINKE, V. A., Sano, E. E, 2011. Semi-Automatic Identification Gis-Based Morphometry of Geomorphic Features of Federal District of Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, 3–9.

STRECK, E. V. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3ª edição. Emater/RS.

TADONO, T. *et al.* 2016. **Initial Validation of the 30 m-mesh** Global Digital Surface Model Generated by ALOS PRISM. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B4: 157-162.

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

VIEIRA, A. J.B. *et al.* 2004. **Cartografia**. Setor de Ciências da Terra. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. https://docs.ufpr.br/~aberutti/recursos_didaticos/textos/cartografia_apostila.pdf

VIEL, J. A. *et al.* Avaliação da Acurácia Vertical dos Modelos Digitais de Elevação SRTM, ALOS WORD 3D e ASTER GDEM: Um Estudo do Caso no Vale dos Vinhedos, RS – Brasil. ISSN: 1984-2295. **Revista Brasileira de Geografia Física** V.13, n.05 (2020) 2255-2268. <http://www.periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

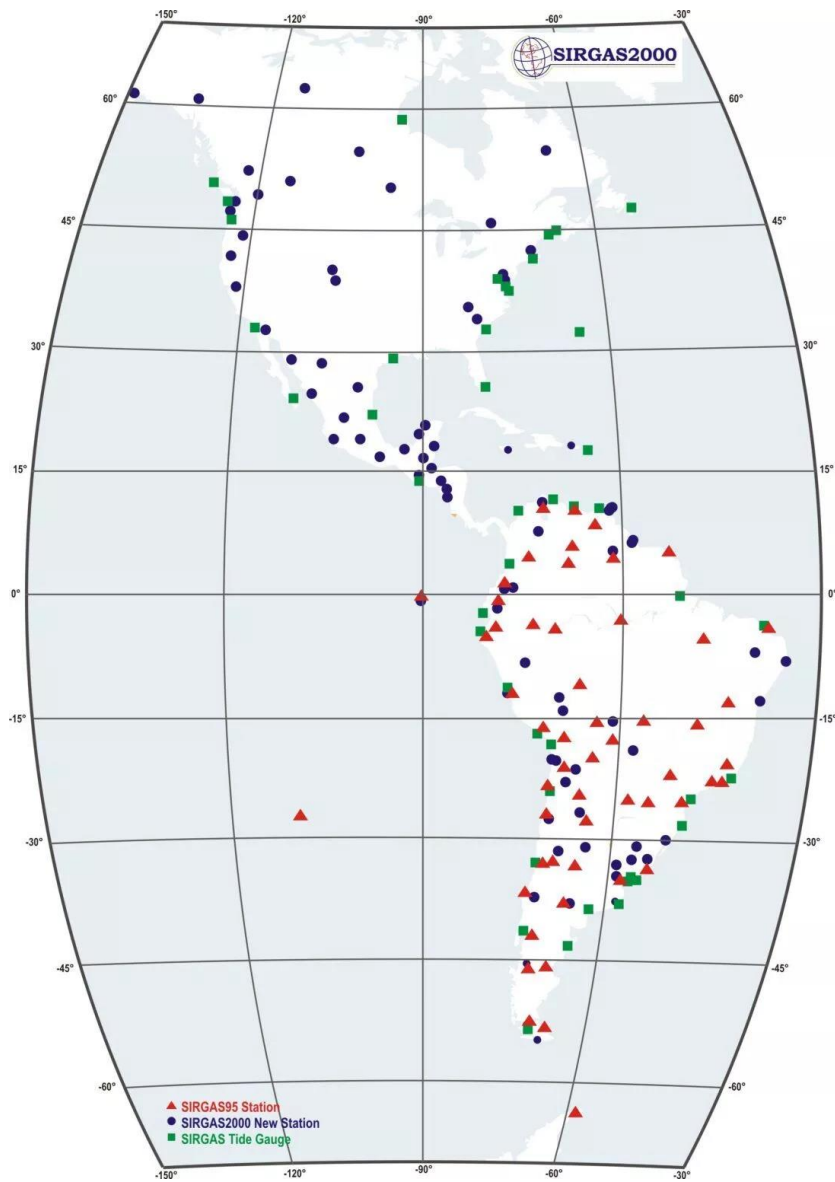
WOOD, J. **The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models**. PhD Thesis - University of Leicester. Disponível em: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>. Leicester, UK, 1996

APÊNDICE A: PICO DO MONTE NEGRO CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS AUSENTES – RS





APÊNDICE B: SIRGAS 2000 NO BRASIL



Fonte: IBGE.