

Análise da qualidade dos modelos digitais de elevação (MDE) para a área da bacia hidrográfica do rio espinharas- PB/RN

Quality analysis of digital elevation models (DEM) for the espinharas river basin area - PB/RN

Micaele de Assis da Silva 

Especialista em Direito Ambiental
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
e-mail, assismicaele@gmail.com

Jonas Otaviano Praça de Souza 

Doutor em Geografia
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
e-mail, jonas.souza@academico.ufpb.br

Resumo

O semiárido brasileiro, apesar de suas características únicas, ainda carece de informações detalhadas sobre a formação das estruturas geomorfológicas da paisagem. O sensoriamento remoto e o uso de Modelos Digitais de Elevação emergem como ferramentas cada dia mais importantes para apoiar pesquisas nesse contexto. A partir disso essa pesquisa tem com objetivo de analisar a qualidade dos modelos SRTM90, NASADEM, ASTER GDEM, da Embrapa, INPE/TOPODATA e GLO30 a partir da comparação das informações geradas a partir de seus MDEs e os dados altimétricos disponibilizados pelo IBGE a partir do Sistema Brasileiro Geodésico para a área da Bacia do Rio Espinharas. Ao correlacionarmos estes dados e informações dos sete modelos, o modelo GLO30 foi o que demonstrou o melhor desempenho referente aos dados hidrológicos e altimétricos para a bacia, e com os piores resultados o modelo Brasil em Relevo da Embrapa, respectivamente, obtiveram de resultado 3,28 e 5,76 de Erro Quadrático Médio (EMQ) entre as altitudes registradas pelos pontos de controles e os mesmos pontos sobrepostos em cada modelo. Portanto, para futuros estudos sobre a bacia e áreas adjacentes no semiárido é indicado o uso do modelo Copernicus DEM para conseguir desenvolver tanto uma análise quanto resultados mais próximos a realidade.

Palavras-chave: Escala Cartográfica; Precisão Vertical; RMSE; Bacia Hidrográfica.



<https://doi.org/10.28998/contegeo.10i.24.17745>

Artigo publicado sob a Licença Creative Commons 4.0

Submetido em: 21/05/2024

Aceito em: 29/07/2025

Publicado: 05/09/2025

e-Location: 17745

Abstract

Despite its unique characteristics, the Brazilian semi-arid region still lacks detailed information on the formation of the landscape's geomorphological structures. Remote sensing and the use of Digital Elevation Models are emerging as increasingly important tools to support research in this context. The aim of this research is to analyze the quality of Embrapa's SRTM90, NASADEM, ASTER GDEM, INPE/TOPODATA and GLO30 models by comparing the information generated from their DEMs and the altimetric data provided by the IBGE from the Brazilian Geodetic System for the Espinharas River Basin area. When we correlated this data and the information from the seven models, the GLO30 model was the one that showed the best performance in terms of hydrological and altimetric data for the basin, and Embrapa's Brasil em Relief model had the worst results, with 3.28 and 5.76 Mean Square Errors (MSE) respectively between the altitudes recorded by the control points and the same points superimposed on each model. Therefore, for future studies of the basin and adjacent areas in the semi-arid region, the use of the Copernicus DEM model is recommended in order to develop an analysis and results that are closer to reality.

Keywords: Cartographic Scale; Vertical Accuracy; RMSE; Watershed..

INTRODUÇÃO

Os primeiros mapeamentos altimétricos eram realizados a partir do uso de curvas de nível, pontos cotados para gerar mapas topográficos elaborados a mão, posteriormente foram digitalizados e interpolados em programas de espacialização de auxílio a desenho formando matrizes de elevação com informações X/Y/Z que permitiam estudar a paisagem. E é a partir dos anos 1960, com base nas imagens de satélite que os primeiros estudos utilizando Modelos Digitais de Elevação começam a substituir estes trabalhos (Souza e Almeida, 2014).

Para o estudo da superfície terrestre temos duas opções: o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Elevação (MDE), o primeiro incorpora os valores de elevação das feições naturais e artificiais situadas acima da superfície terrestre, e o segundo incorpora apenas as cotas de elevação que provêm de pontos localizados na superfície nua do terreno sem levar em consideração os elementos acima dela (PEREIRA et. al. 2019).

Para atingir o objetivo deste trabalho iremos utilizar o MDE para analisar a qualidade dos dados topográficos dos Modelos Digitais de Elevação para a área da bacia hidrográfica do Rio Espinharas e apontar o Modelo que melhor representa esta

área e regiões vizinhas do sertão paraibano, assim gerando um banco de dados para futuros estudos.

A partir dos dados extraídos desses modelos será possível verificar a qualidade de representação dos elementos constituintes da paisagem além da caracterização e conhecimento das bacias hidrográficas que no Brasil são consideradas a unidade básica para planejar e gerir de acordo com a Lei nº 69433 da Política Nacional de Recursos Naturais (Brasil, 1997). Pois, a falta de mapeamentos planialtimétricos e consequentemente dados morfométricos em diferentes escalas dificulta os estudos com maior acurácia para o território brasileiro.

Contudo, existem atualmente diferentes Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e bases de dados altimétricos gratuitos, tais como os disponibilizados pelo projeto Brasil em Relevo da Embrapa, pelo INPE/TOPODATA, AW3D30 (ALOS World 3D), e ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radionmeter Global Elevation Model).

Porém, esses modelos digitais de elevação muitas vezes não alcançam a precisão necessária para os estudos em grandes, médias e pequenas escalas. Algumas vezes devido a limitação das informações, erros aleatórios, erros no preenchimento de depressões e suavização do relevo podem diminuir a quantidade erros nesses modelos ou criar novos, diminuindo a precisão desses MDEs em representar a realidade (Souza, 2015). Deste modo, faz-se necessário a utilização de técnicas de geoprocessamento, geotecnologias e SIG para comparar os respectivos bancos de dados para definir o que melhor representa área do sertão paraibano.

FUNDAMENTAÇÃO

Os dados fontes de formação dos MDEs têm origem atualmente da captura de imagens por sensores remotos atuantes no espectro óptico, pelo princípio da estereoscopia, que é uma forma de obtenção de dados tridimensionais por meio da observação de pares de imagens planas ou estereopares de um mesmo lugar em ângulos diferentes (Luiz, Santos e Brenner, 2007). Antes deste método os MDEs derivavam da interpolação de dados de cartas topográficas, de ortofotocartas, e pontos cotados, depois dos anos 1960, os primeiros modelos digitais de superfície e de elevação começaram a ser disponibilizados pelo United States Geological Survey

(USGS) por meio de imagens de satélite do território dos Estados Unidos da América, com escalas de 1:250.000 depois 1:24.000 em 1982 (Souza e Almeida, 2014).

Nas décadas recentes os dados da superfície da Terra passaram a ser produzidos com métodos e equipamentos mais precisos, como por exemplo o Sistema de Posicionamento Global- GPS, O Light Detection and Ranging- LIDAR, Radio Detection and Ranging- RADAR, Light Amplification by Simulated Emission of Radiation- LASER, aerofotogrametria e veículos aéreos remotamente pilotados- conhecidos por drone (Souza e Almeida, 2014; Pereira e Caten, 2019).

No entanto, todos os modelos digitais apresentam algum tipo de erro, podem ser erros na forma de extração das informações, erro sistemático, no mapeamento de picos e depressões, erros randômicos, de interpolação, de escala ou ainda no tamanho do pixel; esses erros causam prejuízo na qualidade dos trabalhos geomorfológicos e hidrológicos gerados a partir deles. Mesmo alguns modelos passando por refinamento como no caso do INPE/TOPODATA que possui resolução melhorada para o território brasileiro, pode apresentar determinados erros como a suavização do relevo de alguma forma o MDE irá sofrer mudança de precisão oriundos da diminuição ou aumento de erros (Valeriano e Rosseti, 2011; Souza, 2015).

A produção de modelos digitais de elevação a nível de país ainda não aconteceu, no entanto, tem-se o desenvolvimento simultâneo em alguns estados e órgãos a criação de MDEs em escalas menores, com maior nível de detalhamento, principalmente para estados de maiores fluxos industriais. Em Pernambuco há o projeto Pernambuco Tridimensional ou PE3D (disponível no site <http://www.pe3d.pe.gov.br/>), para os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Goiás e Santa Catarina foi elaborado modelos digitais de elevação pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (disponível no site <https://www.ibge.gov.br/geociencias/>).

O projeto PE3D gerou diversos produtos, com um recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortofotos na escala 1:5.000 e perfilamento a laser com precisão altimétrica melhor que 25 cm, e geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação (MDE) e imagens de Intensidade Hipsométrica, para isso foram utilizados cerca de 75 bilhões de pontos, ou seja, um ponto a cada 1,3 m² de todo o território pernambucano.

MATERIAL E MÉTODO

O modelo ALOS World 3D disponibilizado gratuitamente pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) (disponível em <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm>) foi gerado a partir de uma missão que teve a duração de 9 anos, iniciando em 2005 e terminando em 2014, sendo seus dados disponibilizados ainda no ano de 2014. Os dados deste modelo foram gerados a partir do sensor PRISM (Panchromatic Remotesensing Instrument for Stereo Mapping) a bordo do satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite).

O Projeto Brasil em Relevo é disponibilizado pela Embrapa (disponível em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>). Os dados foram obtidos a partir de dados de radar, de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, do projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA, passando por um processo de correção: Identificação de áreas sem informação; Preenchimento de grandes depressões espúrias; Remoção de picos; Geração de curvas de nível; Interpolação por meio do SIG ArcInfo, com o módulo Topogrid; Substituição das áreas vazias pelos dados interpolados para o território brasileiro.

O modelo ASTER GDEM foi lançado em 2011, em cooperação entre a NASA e o Ministério da Economia Indústria e Trabalho japonês (disponível em <https://search.earthdata.nasa.gov/>). ASTER é um sensor radiométrico de emissão e reflexão térmica espacial a bordo do satélite Terra que usa câmeras no comprimento infravermelho.

O modelo INPE/TOPODATA é disponibilizado pelo INPE (disponível em <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>) e uma reamostragem com correções no processamento geomorfométrico de declividade, orientação de vertente, curvatura vertical entre outros a partir das imagens do projeto SRTM.

O MDE SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) é uma fonte de dados como mencionado acima foi e ainda é muito difundida por ser a primeira missão a mapear a topografia da Terra com a maior amplitude de cobertura, em torno de 80% da superfície terrestre, disponibilizando dados entre as latitudes 60°N e 56°S. Para o Brasil os dados são disponibilizados desde o ano de 2005, na resolução de 90 metros

(3 arco-segundos). Posteriormente, a partir de 2014, passaram a ser fornecidos na resolução de 30 metros (1 arco-segundo.) também chamado de NASADEM.

O modelo Copernicus DEM é derivado de um MDS editado e denominado de WorldDEM, esse produto é baseado em dados de satélite de radar adquiridos durante a missão TanDEM-X (Laipelt et. al., 2024), que é financiada por uma parceria público-privada entre o Estado alemão, representado pelo Centro Aeroespacial Alemão (DLR) e a Airbus Defence and Space disponibilizados desde abril de 2021 nas resoluções 30 m (GLO-30) e 90 m (GLO-90).

A forma de aquisição do ASTER GDEM e AW3D30 se deram por fotogrametria orbital, sendo ambas disponibilizadas com resolução de trinta metros (30 m). Já os modelos da Embrapa e TOPODOTA por serem reamostragem do SRTM, sua forma de aquisição se deu por interferometria (INSAR) disponibilizado com 1 arco-segundo (30 m) e 3 arcos-segundos (90 m). Aqui também serão utilizados os modelos SRTM originais para análise e identificação das distorções e qualidade morfométrica para a área estudada. Foi organizado em forma de quadro (Quadro 1) algumas características dos modelos e seus respectivos RMSE segundo a literatura.

Quadro 1 – Síntese das características dos MDEs

NOME	DATA DE AQUISIÇÃO	MÉTODO	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RMSE
Alos World 3D (AW3D)	2005-2014	Sensor PRISM	30 m	2,59 m (Santilan et. al, 2016)
Projeto Brasil em Relevo (EMBRAPA)	reprocessamento	Interferometria	90 m	-
ASTER GDEM	2011	Sensor radiométrico	30 m	<14 m (M.E.T. I*)
INPE/TOPODATA	reprocessamento	Interferometria	30 m	3,64 m (Marini,2017)
SRTM (90m)	2000	Interferometria	90 m	7,6 m (Lousa e Fernandes,2017)
SRTM (30m)	2014	Interferometria	30 m	<10 m (Pereira et. al,2019)
GLO-30 ou GLO30	2015	Sensor SAR	30 m	< 6 m (European Space Agency)

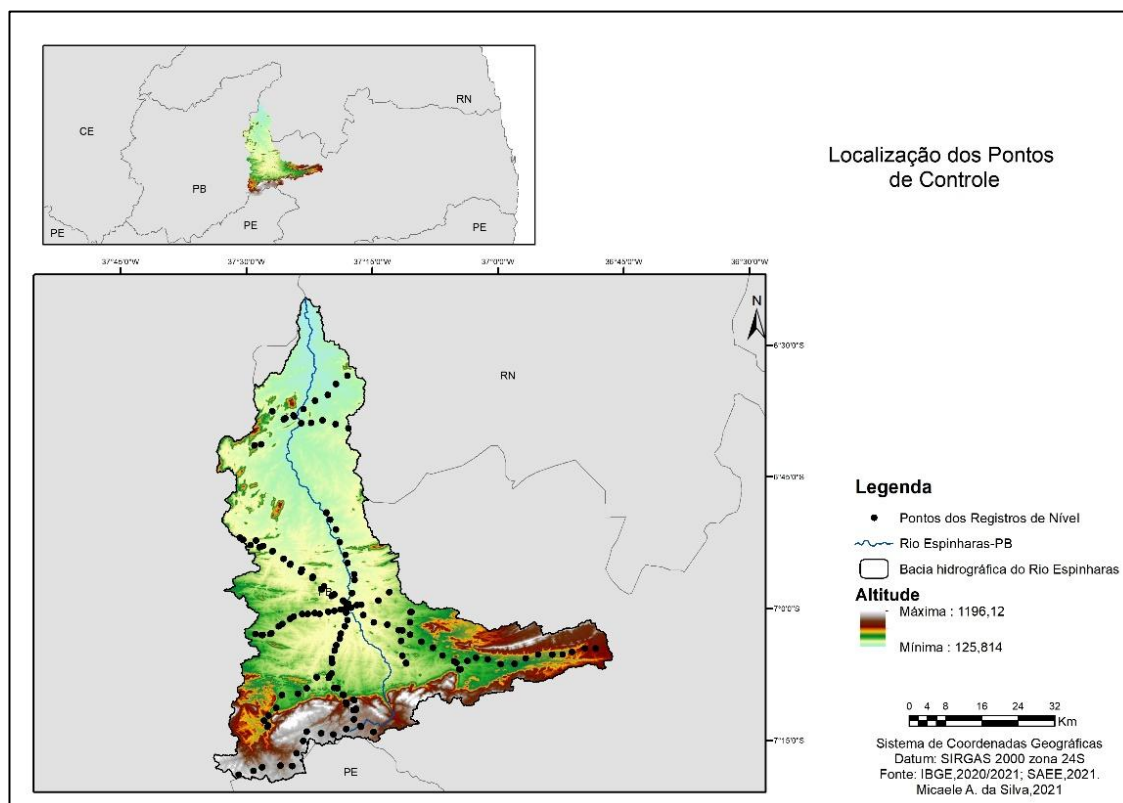
* M.E.T.I.- Ministério da Economia Comercio e Industria do Japão. (-) sem informações.

Os MDES foram comparados com dados da a Rede Geodésica Brasileira (BDG) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para testar a qualidade dos MDEs para a área serão realizadas avaliações segundo o Decreto 89.817 de 20 de julho de 1984, sobre a tolerância vertical será calculada a partir da porcentagem residual entre as altitudes dos pontos de controle e a altitude destes pontos quando colocados sobre os modelos escolhidos, estes foram escolhidos a partir do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) disponibilizado pelo IBGE da camada -Rede Altimétrica que determina através de estações a Referência de Nível (RN) (VIEL et al,2020; IBGE, 2021).

Para atingir objetivo de identificar qual melhor MDE poderá subsidiar estudos com maior precisão na área da Bacia do Rio Espinharas foi realizado rotinas geoprocessamento no ArcMap 10.5 a partir das ferramentas voltadas a análise hidrologia (Fill-Flow Accumulation-Flow Direct-Watershed) e topografia (Slope) para gerar produtos tanto cartográficos quanto quantitativos- grau de declividade, área da bacia, altitude- passíveis de comparação com os Registros de Nível (RN) adquiridos a partir dos SGB (figura 01) que forneceram informações altimétricas para 156 pontos.

Figura 1 - Mapa de Localização dos Pontos de Controle dentro da Bacia do Rio Espinharas



A partir destas informações obter e comparar o Erro Médio Quadrático (EMQ) dos MDEs e os pontos de controle comparando-os com os limites de tolerância determinados pela Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (Tabela1).

Tabela 1 - Limite de Tolerância do Erro Médio Quadrático

Classes e escalas	Erro Médio Quadrático
Classe A de 1:25.000	3,3 metros
Classe B de 1:25.000	4 metros
Classe C de 1:25.000	5 metros
Classe A de 1:50.000	6 metros
Classe B de 1:50.000	8 metros
Classe C de 1:50.000	10 metros
Classe A de 1:100.000	16,6 metros
Classe B de 1:100.000	20 metros
Classe C de 1:100.000	25 metros

Utilizando a equação de estimativa de erro médio quadrático da população de erros:

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

Onde:

Z_i = o valor altimétrico do MDE;

Z_t = o valor altimétrico do ponto de controle;

n = número total de pontos de controle.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir do processamento dos MDEs e dos valores encontrados comparados com os dados do SGB os valores encontrados para entender e analisar cada modelo foram organizados na Tabela 02, onde os respectivos modelos de elevação estudados têm atribuídos o tamanho da área da bacia do Rio Espinharas gerado segundo o processamento do ArcMap, declividade média, declividade máxima, altitude máxima, altitude mínima e média e os EMQ dos pontos.

Para a Classe A de 1:25.000 apenas o modelo Copernicus DEM com resolução de 30 m obteve resultado satisfatório, por este motivo é o único MDE com qualidade para

estudos nesta escala por ter registrado uma diferença de 3,28 m entre as altitudes registradas pelos RN e as altitudes da imagem de satélite para a área da bacia. Na Classe B de 1:25.000, os modelos digitais que tiveram resultados satisfatórios para área foram o GLO30 e o NASADEM ou SRTM 30 m, ele registrou uma diferença de 3,52 m entre os pontos de nível e mesmos pontos no MDE.

Já na Classe C de 1:25:000, tanto o GLO30, SRTM30 estão aptos para esta escala, mas também os modelos digitais AW3D30 com 4,45 m de EMQ, o SRTM de 90 m com EMQ de 4,73 m, e o modelo INPE/TOPODATA com 4,87 m, ou seja, todos abaixo do limite tolerado que é de 5 m.

A partir da Classe A de 1:50:000, com único critério do limiar dos EMQ todos os MDEs estudados tem qualidade satisfatória para estudos desta escala e acima dela, pois terão resultados pouco discrepantes ou mais próximos da realidade.

Todos os dados hidrológicos e topográficos coletados a partir de cada MDE está disposto na Tabela 02 (está destacado o menor e maior EMQ encontrados).

Tabela 2 - Comparação dos parâmetros topográficos e hidrográficos

	GLO30	NASADEM	AW3D30	ASTER	SRTM90	TOPODATA	Embrapa
EMQ	3,28 m*	3,52 m	4,45 m	5,49 m	4,73 m	4,87 m	5,76 m**
Altitude máxima (m)	1.196,12	1.192,00	1.196,00	1.190,00	1.187,00	1.087	1.186,00
Altitude Mínima (m)	125,81	129	129	126	134	134	134
Altitude Média	360,86	364,15	365,7	361,58	367,06	367,27	367
Amplitude Altimétrica	1.070,31	1.063,00	1.067,00	1.064,00	1.053,00	953	1.052,00
Declividade Máxima	65,92°	68,1°	63,64°	63,51°	51,24°	61,97°	60,46°
Declividade Média	6,47°	6,27°	6,42°	6,89°	4,91°	5,63°	4,88°
Área da Bacia (Km²)	3.284,46	3.288,77	3.286,79	3.294,73	3.289,38	3.290,71	3.291,03

*Menor valor do erro. **Maior valor do erro

A partir da tabela podemos analisar as informações entre os MDEs. O modelo GLO30 mesmo obtendo o menor EMQ entre todos, possui a maior amplitude altimétrica

entre sua altitude máxima e mínima, já o modelo com resultado oposto, com maior EMQ, que é o modelo do Projeto Brasil em Relevo da Embrapa, tem amplitude igual 1.052 m a menor entre todos os modelos.

Com relação as altitudes mínimas o modelo que apresentou o menor valor foi o GLO30 com 125,81 m de altitude com os maiores valores nas altitudes mínimas temos o SRTM90, TOPODATA e Embrapa ambos registraram 134 m, enquanto NASADEM como modelo reprocessado do SRTM90 registrou 129 m. Já nos valores das altitudes máximas o da Embrapa registrou a menor altitude, no valor de 1.186 m o ponto mais alto no MDE, como mostra a Figura 2 abaixo.

SRTM90. Quanto a declividade média, o modelo ASTER foi o que registrou a maior média (6,89°).

Área da bacia foi calculada para cada MDE e comparando os resultados podemos organizar os modelos da seguinte forma a partir do menor valor de área: em primeiro lugar está o GLO30 com 3.284,46 km², em segundo lugar está no AW3D30, em terceiro lugar estão NASADEM, em quarto lugar o SRTM90, em quinto lugar está o TOPODATA, em sexto lugar está da Embrapa, e no sétimo lugar o modelo ASTER GDEM foi o que gerou a maior bacia hidrográfica com uma área igual a 3.294,73 km², a diferença entre a bacia gerada a partir do modelo GLO30 e o ASTER é de 10,27 km².

Para identificar os pontos que apresentaram os menores e maiores níveis de erros dentro dos MDEs que apresentaram a discrepância entre seus valores, GLO 30 e Brasil em Relevo, foi usado o recurso de distribuição gradual de símbolos (graduated symbols) do ArcMap 10.5, como mostra a Figura 03 abaixo, pode-se notar que há diferentes há pontos ou círculos de diferentes tamanhos, a gradação de tamanhos destes círculos equivale a diferença do nível de erro com base no limite de tolerância do Erro Médio Quadrático estabelecido pelo PEC-PCD.

Logo, os menores círculos ou pontos estão dentro do limite da Classe A da escala 1:25.000, ou ainda na Classe B de 1:25.000 os pontos abaixo de 4 metros, e os pontos abaixo de 5 metros estão dentro da Classe C da escala 1:25.000; e os maiores círculos exprimem os pontos com valores iguais ou acima de 10 metros, consequentemente, enquadraram-se na Classe C da escala 1:50.000 ou em classe de escalas menores.

Figura 2 - MDE de cada modelo testado

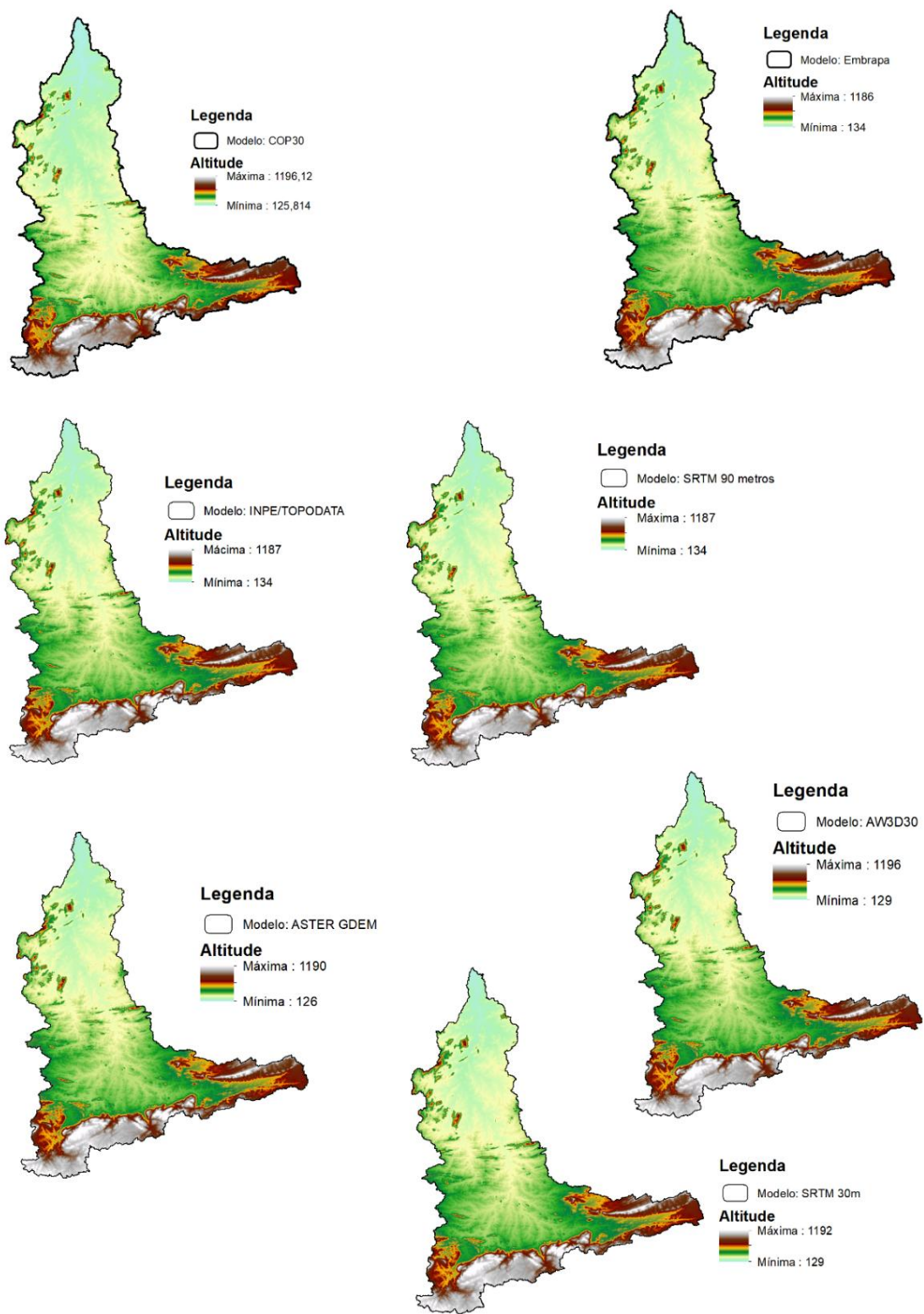
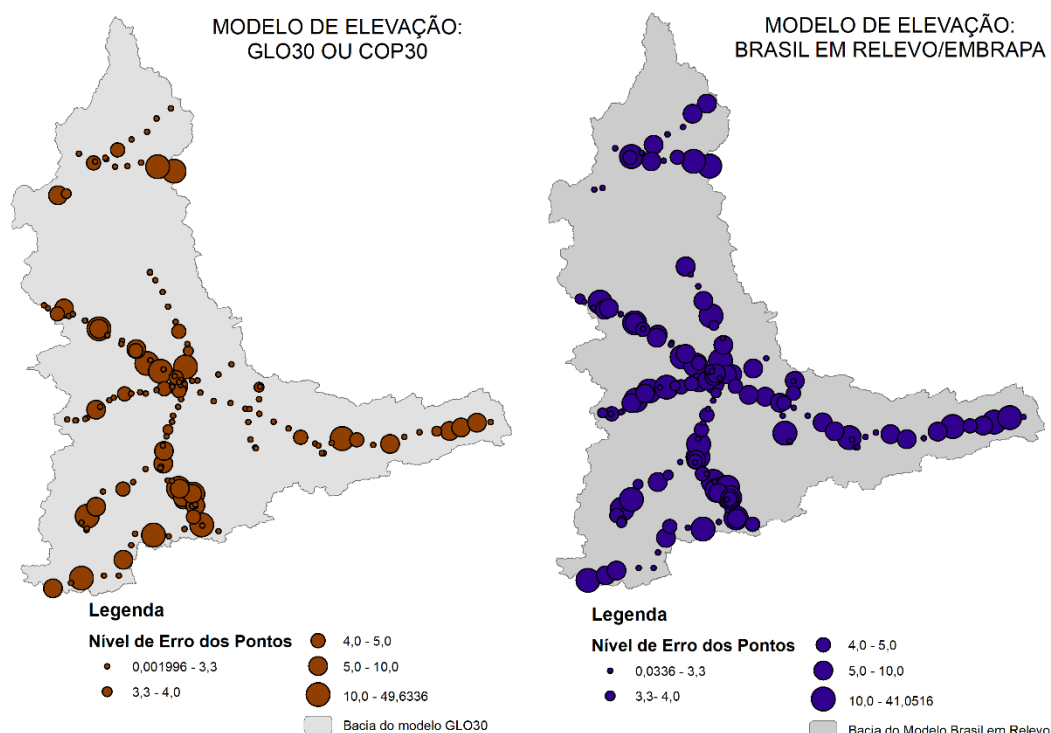


Figura 3 - Mapa sobre o nível de erro dos pontos

Os modelos TOPODATA e Brasil em Relevo foram os que obtiveram os maiores erros, mesmo sendo modelos tecnicamente processados para melhorar a qualidade para o território brasileiro. Este fato pode ter várias razões, inclusive nos cálculos de processamentos destes modelos, não esquecendo que são produtos derivados do primeiro projeto SRTM, desde essa versão surgiram outros reproprocessamentos como o NASADEM. Também é importante elencar as especificidades da superfície terrestre, e que os modelos ideias realmente vão se dar em escalas a nível regional a local.

Como visto no primeiro quadro, que elenca os valores de EMQ em diferentes estudos para cada modelo, encontramos disparidades entre tais resultados e os valores encontrados aqui, o Quadro 02 mostra que o modelo Alos Word 3D em um estudo em 2016 obteve EMQ de 2,59 m para a área estudada, para a bacia do Rio Espinhaças no semiárido da Paraíba obteve 4,45 m de EMQ, uma diferença de quase 2 metros; o modelo Brasil em Relevo não foi encontrado estudos que fizessem referência a análise de acurácia dele para nenhuma área, mas para a área aqui estudada obteve 5,76 m de EMQ; o ASTER GDEM, de acordo com seus desenvolvedores todos os EMQ para qualquer área seria inferior a 14 m e para essa área o resultado foi 5,49 m, ou seja, dentro dos parâmetros de erros para o modelo.

O modelo INPE/TOPODATA obteve neste trabalho o valor de 4,87 m de EMQ, em estudos anteriores o resultado foi de 3,64 m, ou seja para a área em estudo o erro foi maior, com mais de 1 metro de diferença; o modelo SRTM de 90 m, em 2017, chegou ao resultado de 7,6 m de EMQ, para a bacia do Rio Espinharas o erro foi de 4,73 m, uma diferença de quase 3 metros; o SRTM de 30 m apresentou em estudos anteriores um erro menor do que 10 m, aqui o EMQ foi de 3,53 m, uma diferença de quase 7 metros; já o GLO30, segundos seus desenvolvedores o erros para este modelo não seriam superiores a 6 m, e para esta área de estudo o valor foi de 3,53 m, ou seja, dentro dos parâmetros estabelecidos para esse modelo

Quadro 2 - Comparação dos resultados com a literatura

Modelos	Literatura	EMQ
Alos World 3D (AW3D)	2,59 m (Santillan e Makinano, 2016)	4,45 m
Projeto Brasil em Relevo (EMBRAPA)	-	5,76 m
ASTER GDEM	<14 m (M.E.T. I*)	5,49 m
INPE/TOPODATA	3,64 m (Marini,2017)	4,87 m
SRTM (90m)	7,6m (Lousa e Fernandes,2017)	4,73 m
SRTM (30m)	<10m (Pereira et. al,2019)	3,53 m
GLO-30 ou GLO30	< 6m (European Space Agency)	3,28 m

A diferença entre os valores dos erros de referência e dos analisados nesse estudo indicam as desconformidades entre os modelos e entre os processamentos de cada um para a superfície do globo, de forma a induzir que mais estudos sobre a exatidão de Modelos Digitais de Elevação sejam testados para cada área a ser estudada, dado que estudos por Sensoriamento Remoto devem transmitir resultados mais próximos da realidade com qualidade.

CONSIDERAÇÃO FINAL

No geral todos os modelos apresentaram valores aproximados, tanto altitudes quanto área da bacia, mas temos que considerar e escolher um MDE que possa

apresentar resultados mais aproximados da realidade, que subsidiarão estudos hidrológicos e topográficos principalmente por sensoriamento remoto com maior qualidade; apoiados por dados primários coletados em campo. Com base nos parâmetros estabelecidos pelo PEC-PCD e os resultados encontrados, pode-se indicar o Modelo Digital de Elevação gerador pelo modelo Copernicus DEM como melhor entre os sete analisados, ou seja, o modelo GLO30 é o MDE que terá apresentará os melhores resultados para a área da bacia e adjacentes localizadas no semiárido.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA, SINERGISE. Copernicus Global Digital Surface Model. Distribuído pela OpenTopography. 2021.

ARAÚJO, P. V. N.; AMARO, V. E.; ALCOFORADO, A. V. C.; SANTOS, A. L. S. dos. 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. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 41 - 1 / 2018 p. 351-364

DIAS, G. H.; RODRIGUES, J. P. B.; COELHO, F. S.; FILGUEIRA, R. F.; PEIXOTO, F. S. Extração de Atributos Morfométricos da Serra Mossoró (Mossoró-RN) a Partir do Modelo de Elevação Digital (MDE). Revista Brasileira de Geografia Física v.12, n.06 (2019) 2239-2248.

LAIPALT, L.; ANDRADE, B.C.C.; COLLISCHONN, W.; AMORIM, A.; PAIVA, R.C.D.; RUHOFF, A. 2024. ANADEM: A digital terrain model for South America” Submetido para publicação na Remote Sensing. Disponível para download em: <https://www.preprints.org/manuscript/202404.1305/v1>.

LUIZ, S.; SANTOS, A. R. S.; BRENNER, T. L. Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do satélite IONOS. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Florianópolis, 2017. 581-587.

MARINI L. B.; JUNIOR, J. M.; RAMOS, A. P. M.; PARANHOS FILHO, A. C.; BARROS, W. M.; HIGA, L. T. Analises of the Altimetric Accuracy of SRTM and Aster Digital Surface Models and their Application to the 3D Representation of Nhacolândia Pantanal. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 40, n. 3, p. 48- 54, set. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_48_54

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 15 fev. 2021.

MUKUL, M., SRIVASTAVA, V., Jade, S. et al. Incertezas nas alturas da missão topográfica do radar do ônibus espacial (SRTM): percepções do Himalaia e da península indianos. Sci Rep 7, 41672 (2017). <https://doi.org/10.1038/srep41672>

NASA JPL (2021). NASADEM mesclado DEM Global 1 arco segundo V001. Distribuído pela OpenTopography. <https://doi.org/10.5067/10.5069/G93T9FD9> acessado em: 2021-05-11

NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (2013). Missão de Topografia do Radar de Ônibus Espacial (SRTM) global. Distribuído pela OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9445JDF> acessado em: 2021-05-11

PEREIRA, G. E.; CATEN, A. T. Exatidão cartográfica de três MDE disponíveis para o Estado de Santa Catarina. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Lages, 2019.

PEREIRA, H. L.; CATALUNHA, M. J.; BORGES JUNIOR, C. R.; SOUSA, P. T. G. Qualidade de modelos digitais de elevação utilizando dados do SIGEF: Estudo de caso para as sub-bacias do Ribeirão dos Mangues e Rio Soninho no estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.12, n.01 (2019) 187-200.

PEREIRA, L. E.; ENCINA, C. C. C.; GUARALDO, E.; PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G. Comparação e Análise de Redes de Drenagem Geradas Através de Modelos Digitais de Superfície na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ- Vol. 42 - 3 / 2019* p. 311-320.

SANTILLAN, J. R.; MAKINANO, M., 2016. Vertical accuracy assessment of 30-m resolution ALOS, ASTER, and SRTM global DEMs over northeastern mindnao, philippines. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial. Information Sciences XLI-B4*.

SOUZA, J. O. P. de. Análise da precisão altimétrica dos modelos digitais de elevação para área semiárida do nordeste brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 30 (2015)*, p. 56 a 64.

SOUZA, J. O. P. de; ALMEIDA, J. D. M. de. Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. *Bol. geogr., Maringá*, v. 32, n. 2, p. 134-149, mai. -ago., 2014.

SOUZA, M. de; RAMOS, A. P. M; MARCATO JUNIOR, J. Análise da Acurácia Altimétrica do Modelo Digital de Superfície ALOS AW3D30 para o Mato Grosso do Sul. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 42 - 3 / 2019* p. 333-338

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography (Sevenoaks)*, v. 32, p. 300-309, 2011.

VIEL, J. A; ROSA, K. K.; MENDES JUNIOR, C. W. Avaliação da Acurácia Vertical dos Modelos Digitais de Elevação SRTM, ALOS World 3D e ASTER GDEM: Um Estudo de Caso no Vale dos Vinhedos, RS – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.05 (2020) 2255-2268.