

MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DE SENSORES ORBITAIS PARA ANÁLISE DO TERRENO

DIGITAL ELEVATION MODELS FROM ORBITAL SENSORS FOR TERRAIN ANALYSIS

**Matheus Schiavoni dos Santos, Jorge Wilson Cortez, Anamari Viegas de Araújo Motomiya,
Eber Augusto Ferreira do Prado**

Universidade Federal da Grande Dourados. Faculdade de Ciências Agrárias. Câmpus Universitário - Dourados, MS. E-mail:
matheus_schiavoni@hotmail.com; jorge.cortez@yahoo.com.br; anamarimotomyia@ufgd.edu.br; eber.prado@ifms.edu.br

Introdução
Material e métodos
Aspectos físicos da área de estudo
Aquisição das imagens
Fluxograma de trabalho e análises
Resultados e discussão
Altimetria
Declividade
Índice de rugosidade do terreno
Índice Kappa
Conclusão
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) gerados a partir de sensores orbitais desempenham um papel fundamental na análise do terreno, permitindo a coleta de informações precisas sobre a topografia da superfície terrestre. Portanto, objetivou-se avaliar os modelos digitais de elevação de sensores orbitais obtidos dos projetos SRTM, Alos Palsar, Copernicus e Nasadem para análise do terreno do Estado do Mato Grosso do Sul (MS). As imagens foram obtidas de cada projeto a partir das quatro mesorregiões do Estado do MS: Pantanal, Centro Norte, Leste e Sudoeste. A partir do processamento das imagens, foram elaborados mapas de altimetria, declividade e índice de rugosidade do terreno. Realizou-se a análise descritiva e índice Kappa dos mapas obtidos. Os dados de altimetria dos projetos SRTM, Alos Palsar, Copernicus e Nasadem apresentaram valores de Kappa e exatidão global próximos, indicando que podem ser utilizados sem distinção entre os mapas. Os modelos digitais de elevação dos projetos SRTM e Nasadem são similares e apresentam maior exatidão global no cálculo de declividade e índice de rugosidade do terreno.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. QGIS. Altitude. Declividade. Topografia.

ABSTRACT - Digital Elevation Models (DEM) generated from orbital sensors play a fundamental role in terrain analysis, allowing the collection of accurate information about the topography of the Earth's surface. Therefore, the objective of this study was to evaluate the digital elevation models of orbital sensors obtained from the SRTM, Alos Palsar, Copernicus and Nasadem projects for terrain analysis in the State of Mato Grosso do Sul (MS). The images were obtained from each project from the four mesoregions of the State of MS: Pantanal, Central North, East and Southwest. From the image processing, maps of altimetry, slope and terrain roughness index were prepared. Descriptive analysis and Kappa index of the maps obtained were performed. The altimetry data from the SRTM, Alos Palsar, Copernicus and Nasadem projects presented similar Kappa values and overall accuracy, indicating that they can be used without distinction between the maps. The digital elevation models of the SRTM and Nasadem projects are similar and present greater overall accuracy in calculating the slope and roughness index of the terrain.

Keywords: Remote Sensing. QGIS. Landsat. Agriculture. Altitude. Slope. Topography.

INTRODUÇÃO

O processo de identificação e caracterização da topografia é realizado através da medição de diversos parâmetros, como direção da declividade, altitude e rede hidrológica. O imageamento orbital e o geoprocessamento podem auxiliar a elaboração de modelos topográficos com um custo mais acessível (Valeriano, 2004).

A melhor forma de representação da superfície terrestre é por meio do MDE – Modelo Digital de Elevação. O MDE é uma base de informações que apresenta os valores de altitude do solo em um conjunto de números coordenados que variam em diversos aspectos, como a distribuição

espacial dos dados e a resolução da área que será mostrada em um pixel (Macedo & Surya, 2018).

Os dados de altimetria de um MDE podem ser obtidos de um mapa topográfico ou por imagens de satélite, avião ou drone e gerados com o processamento digital de imagem. A partir deles, é possível realizar diversas análises do relevo, como a declividade, curvaturas verticais e horizontais e mapas de relevo sombreado (Reis & Polidori, 2024).

O projeto SRTM - Shuttle Radar Topography Mission do USGS - *United States Geological Survey*, liderado pelo *National Geospatial-*

Intelligence Agency (NGA) e pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), consistiu de um radar que voou a bordo do Ônibus Espacial Endeavour durante uma missão de 11 dias em fevereiro de 2000 (SRTM, 2024).

O sensor da missão SRTM tem sido o mais confiável na disponibilização de imagens para análise digital do terreno (Macedo & Surya, 2018). Além disso, foi o primeiro e mais completo mapeamento da superfície terrestre já realizado (Farr et al., 2007).

O conjunto de dados de radar denominados como ALOS é originário da *Japan Aerospace Exploration Agency* – também conhecida como JAXA (ALOS, 2024). O sensor Palsar está a bordo do satélite Alos (*Advanced Land Observing Satellite*) (Macedo & Surya, 2018). Este fornece um conjunto de dados do modelo de superfície digital global (DSM) com uma resolução horizontal de aproximadamente 30 m de maneira gratuita. A coleta de imagens foi realizada usando o *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) a bordo do ALOS de 2006 a 2011 (ALOS, 2024).

O produto originário do Copernicus DEM é um Modelo Digital de Superfície (DSM). Os dados de radar são originários da missão TanDEM-X entre 2011 e 2015 (COPERNICUS, 2024).

Os produtos do NASADEM (NASA, 2021) são produtos originados do programa SRTM que

passaram por reproprocessamento o que permitiu a minimização de vazios, estendeu a cobertura espacial, melhorou ajustes verticais e de inclinação, sendo os produtos disponíveis gratuitamente por meio do *Land Processes Distributed Active Archive Center* - LP DAAC (NASADEM, 2024).

Os processos de automação e sistematização de dados tornam-se uma alternativa para a elaboração e desenvolvimento de informações de interesse, em especial, com o uso de geoprocessamento e imagens de satélite, vêm se demonstrando ter enorme capacidade de substituir os métodos tradicionais, trazendo alto grau de confiabilidade nos resultados e otimização dos custos (Valeriano, 2004). Assim, o MDE apresenta outra vantagem, pois, não é preciso fazer grandes gastos em hardware e software, devido à variedade de ferramentas de código aberto, como o QGIS (Macedo & Surya, 2018) para fazer sua análise.

Pressupõe-se que os sensores de radar para capturar as informações da superfície terrestre, devido suas diferentes resoluções e épocas de coleta, podem gerar modelos digitais de elevação diferentes.

Portanto, objetivou-se avaliar os modelos digitais de elevação dos sensores orbitais dos projetos SRTM, Alos Palsar, Copernicus e Nasadem para análise do terreno do Estado do Mato Grosso do Sul (MS), por meio da altimetria, declividade e índice de rugosidade do terreno.

MATERIAL E MÉTODOS

Aspectos físicos da área de estudo

A área de estudo foi o Estado de Mato Grosso do Sul (MS), que está na região Centro-Oeste do Brasil (Figura 1). O MS é formado principalmente por planícies e por diversos tipos de ambientes, que vão desde planaltos compostos preferencialmente por formações de grande altitude até planícies úmidas, consideradas a maior área de várzea do Brasil.

O Mato Grosso do Sul tem superfície de 358.159 km² distribuídos em três biomas brasileiros, o Cerrado, o Pantanal e Mata Atlântica, além de possui também duas grandes bacias hidrográficas, do Alto Paraguai e do Rio Paraná.

No MS, predomina o clima tropical, com uma estação chuvosa durante o verão e estação seca no inverno, que resulta em um índice pluviométrico médio de 1.500 mm.

Aquisição das imagens

As imagens de radar foram obtidas a partir do plugin “*OpenTopography DEM Downloader*”

(McMahon, 2022) no software QGIS (2022) com dados dos projetos: *SRTM*; *Alos World*; *Copernicus Global DSM*; *Nasadem Global DEM*.

As imagens foram obtidas considerando as quatro mesorregiões do Estado do MS que são: Pantanal, Centro Norte, Leste e Sudoeste. Assim, foram obtidas quatro imagens de cada projeto, por meio dos limites das mesorregiões, uma vez que não foi possível, baixar a imagem do Estado de MS como um todo por meio do complemento “*OpenTopography DEM Downloader*”, e por isso optou-se, apenas para fins de *download*, proceder por meio das quatro mesorregiões.

Fluxograma de trabalho e análises

Foram utilizados arquivos vetoriais dos limites territoriais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE, 2023), sendo limites do MS, das mesorregiões e dos Estados da Federação, além do mapa de solos (IBGE, 2001).

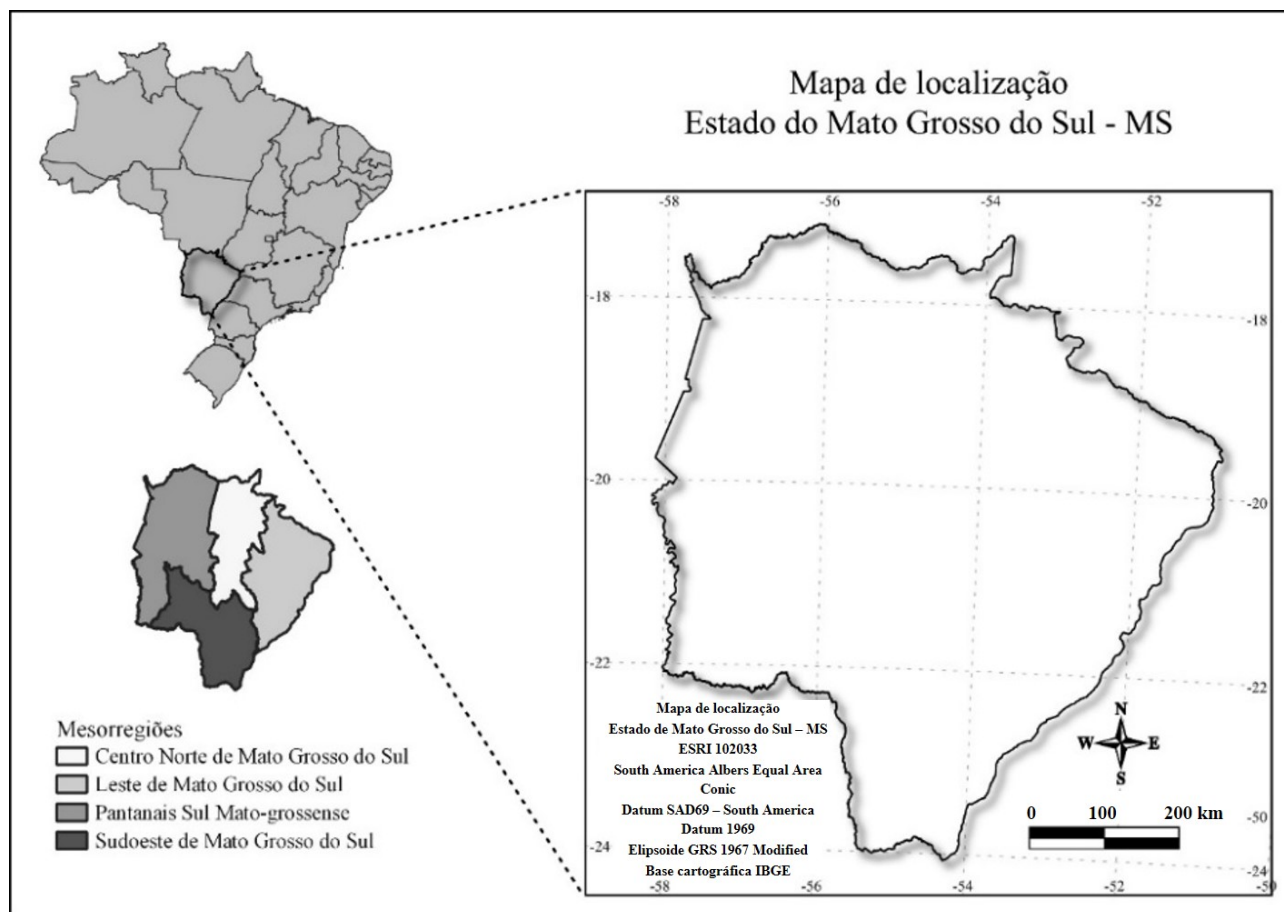








Figura 1 – Mapa de localização do Estado do Mato Grosso do Sul.

A partir do complemento disponível gratuitamente para uso no QGIS, o *OpenTopography DEM* (McMahon, 2022), foi possível baixar as imagens das mesorregiões.

Com as camadas adicionadas ao QGIS (QGIS, 2023), iniciou-se o processo do mosaico das imagens das mesorregiões para uma única camada (Raster – Miscelânea – Mesclar). Após, as imagens foram reprojetadas para o sistema de projeção

ESRI:102033, *South America Albers Equal Area Conic*, com Datum SAD69 - *South American Datum 1969*, com elipsóide GRS 1967 *Modified*. A camada do limite do MS também foi reprojetada para ESRI:102033 para ser feito o recorte das imagens (Raster – Extrair – Recortar raster pela camada de máscara). Os mapas de altitude e declividade foram reclassificados com o comando “Reclassificar por tabela” com base nas classes da tabela 1.

Tabela 1 - Classes e número *hexacode* utilizados.

Cor	Classes altimetria (m)	Classes declividade (Santos et al., 2018)	Número <i>hexacode</i>
	<50	Plano 0 a 3%	#30b000
	50-150	Suave ondulado 3 a 8%	#a5ff00
	150-300	Ondulado 8 a 20%	#ffff63
	300-450	Forte ondulado 20 a 45%	#fea700
	450-750	Montanhoso 45 a 75%	#ff4c00
	>750	Escarpado >75%	#b40000

Realizou-se cálculo de declividade expresso em porcentagem com o comando “Declive” do GDAL do QGIS. Os mapas de declividade foram reclassificados (Santos et al., 2018 e Santos, 2024) com o comando “Reclassificar por tabela”.

O índice de rugosidade TRI proposto por Riley et al. (1999) foi calculado pelo comando “Índice de Rugosidade” no QGIS. Os mapas de

TRI foram reclassificados (Silva & Mutre, 2018) sendo: 1) TRI < 1,9: Terreno plano; 2) TRI 1,91 a 3,9: Terreno quase plano; 3) TRI 3,91 a 5,9: Rugosidade baixa; 4) TRI 5,91 a 8,4: Rugosidade intermediária; 5) TRI 8,41 a 11,4: Rugosidade moderada; 6) TRI 11,41 a 15,6: Rugosidade elevada; 7) TRI 15,61 a 36,9: Rugosidade extrema, com o comando “Reclassificar por

tabela”. Posteriormente, foi aplicado o comando “*r.report*” nos mapas reclassificados para calcular a área de cada classe de altitude e declividade em hectares (ha).

Os dados descritivos foram obtidos da ferramenta “Estatística da camada raster” no

QGIS. Com os mapas reclassificados, foi realizado o cálculo do índice Kappa (comando “*r.kappa*”) conforme Cohen (1960) para fazer a comparação entre os dados de cada radar. O resumo das fases de trabalho está descrito no fluxograma da Figura 2.

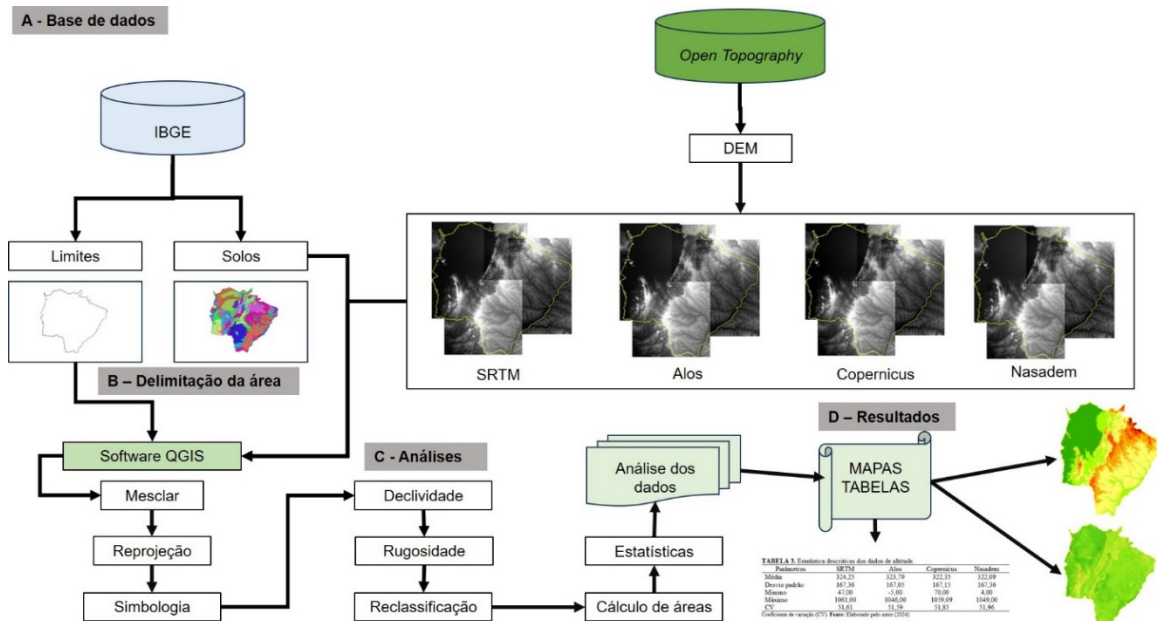


Figura 2 - Fluxograma de trabalho para processamento e análise das imagens.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altimetria

Os dados do modelo digital de elevação - MDE (Tabela 2) indicaram diferenças suaves entre os sensores. Essas pequenas diferenças podem ser confirmadas pela proximidade do desvio padrão e do coeficiente de variação (CV). Diferenças entre os sensores são observados junto aos valores de mínimo e máximo, sendo que o Alos foi o único que apresentou valores negativos. O maior valor de elevação foi

verificado para o SRTM, mas com pequenas diferenças dos demais.

A variação dos valores de elevação também é similar para SRTM e Nasadem e diferem do Alos e Copernicus, principalmente na região de menores valores de elevação. Sendo que essa diferença nos valores mais baixos de elevação é mais visível no Alos (Tabela 2). Hengl (2006) explica que com baixa resolução algumas elevações podem desaparecer.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de altitude.

Parâmetros	SRTM	Alos	Copernicus	Nasadem
Média	324,25	323,79	322,35	322,09
Desvio padrão	167,36	167,05	167,15	167,36
Mínimo	47,00	-5,00	70,00	4,00
Máximo	1061,00	1046,00	1059,09	1049,00
CV	51,61	51,59	51,85	51,96

Coeficiente de variação (CV).

Os dados da distribuição da altimetria do MS (Figura 3) para os projetos SRTM, Nasadem, Alos e Copernicus não apresentaram distinção visual, apesar das imagens serem geradas com a mesma resolução espacial.

Macedo & Surya, (2018), ao comparar dados

do Alos (resolução espacial de 12,5 m) e SRTM (resolução espacial de 30 m), observaram que apenas havia diferenças entre as altitudes obtidas com estes sensores com a aproximação a uma área de interesse específica.

Os dados da distribuição da área e porcen-

tagem de área nas classes de altimetria do MS (Tabela 3) para os projetos SRTM, Nasadem, Alos e Copernicus indicaram algumas diferenças entre os projetos.

As diferenças evidentes estão nos valores mínimos para o Copernicus, que não apresentou

nenhuma área com altitude abaixo de 50 m. Esse resultado também é próximo ao do Nasadem, que apresentou apenas 3,0 ha na classe abaixo de 50m. Para as demais classes de altimetria, verificou-se similaridade entre as áreas e porcentagem para todos os sensores.

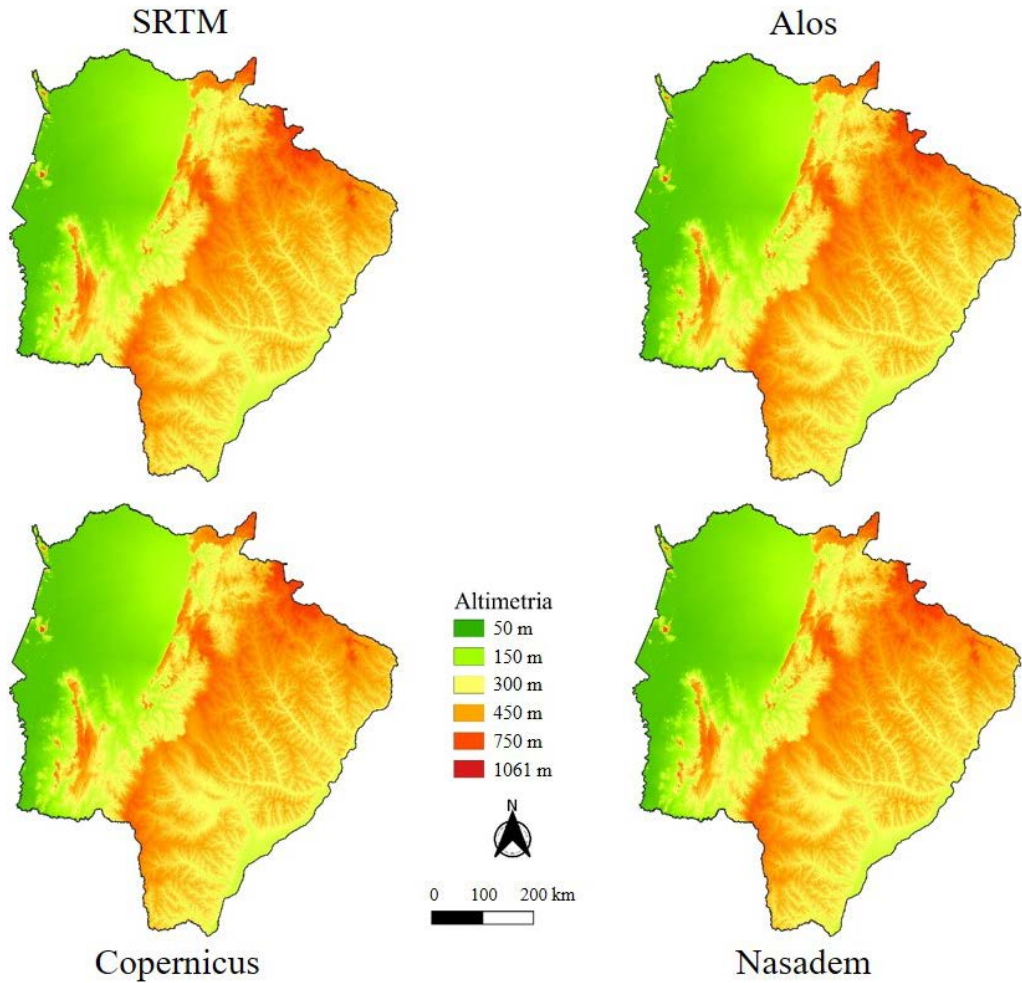


Figura 3 - Representação espacial da elevação topográfica no estado do Mato Grosso do Sul.

Tabela 3 - Classes de altitude com área e porcentagem.

Classes	SRTM	Alos	Copernicus	Nasadem
Área (ha)				
<50	78	78	0	3
50-150	8745038	8745038	8867227	8909639
150-300	6167713	6167713	6064877	6080585
300-450	13161813	13161813	13199150	13170585
450-750	7366293	7366293	7314528	7285444
>750	273495	273495	268651	268181
Porcentagem (%)				
<50	0,22	0,22	0,00	0,01
50-150	24,43	24,43	24,83	24,94
150-300	17,23	17,23	16,98	17,02
300-450	36,77	36,77	36,96	36,87
450-750	20,58	20,58	20,48	20,40
>750	0,76	0,76	0,75	0,75

Reis & Polidori (2024) explicam que os principais MDEs são gerados a partir de radar de comprimento de onda curto e não conseguem penetrar no dossel da floresta, isso resulta em erros da morfometria do terreno. Em planícies, isto ocasiona uma amplitude altimétrica reduzida, pois as variações na altura podem simplesmente ser uma diferença da cobertura vegetal. Isto pode ser a causa das diferenças entre os projetos e produtos na menor altitude, considerando que o MS possui grande extensão de planícies e a maior área de várzea do Brasil.

Tanto os dados e produtos do Copernicus, o mais recente, como do Nasadem com as correções de erro, pode ser considerados os mais próximos do real.

Tran et al. (2024) verificaram que o Nasadem

demonstrou boa correlação com o MDE de 10 m utilizado como referência, tendo a menor diferença de altitude e a maior proximidade na avaliação da porcentagem de área.

Declividade

Os dados médios de declividade ficaram próximos a 5% (Tabela 4), somente o Copernicus que apresentou valor médio de declividade abaixo de 5%. Como o cálculo de declividade é feito pixel a pixel, verifica-se valor elevado do coeficiente de variação.

A análise da declividade de uma área é importante para ajudar a entender o comportamento do escoamento da água que pode levar à perda de solo, erosão, devido a maior velocidade de escoamento e menor taxa de infiltração (Oliveira et al., 2007).

Tabela 4 - Estatísticas descritivas da declividade (%) para diferentes sensores.

Parâmetros	SRTM	Alos	Copernicus	Nasadem
Média	5,23	5,17	4,71	5,19
Desvio padrão	5,52	6,13	6,04	5,43
CV	105,54	118,57	128,24	104,62

Na representação espacial da declividade do MS (Figura 4), é possível identificar visualmente algumas alterações para o Alos e Copernicus na região do Pantanal. A representação espacial do SRTM e Nasadem são muito similares. Essa similaridade é comprovada com os dados de porcentagem de área (Tabela 5) muito próximos do SRTM e Nasadem. A distribuição da declividade reclassificada, conforme Santos et al. (2018), indica maiores valores da classe 1 (Plano 0 a 3%) do Alos e Copernicus, sendo que no Copernicus a quantidade de pontos na classe 1 foi maior que a classe 2 (Suave ondulado 3 a 8%).

A porcentagem de área da declividade do MS (Tabela 5) tem maior variação para o Alos e Copernicus. Observou-se maior porcentagem de área com valores da classe 1 (0 a 3%) com dados obtidos do Copernicus. SRTM, Alos e Nasadem, por outro lado, apresentaram maior porcentagem de área na Classe 2 (3 a 8 %), com maior similaridade entre SRTM e Nasadem. Reis & Polidori (2024) salientam que o Copernicus registra menor presença de obstáculos nas áreas de várzea, o que pode resultar em maior quantidade de área na menor classe de declividade.

Tabela 5. Classes de declividade e porcentagem da área.

Classes	SRTM	Alos	Copernicus	Nasadem
	Porcentagem (%)			
1 - 0 a 3%	34,53	40,14	46,37	34,34
2 - 3 a 8%	50,48	44,56	39,76	50,91
3 - 8 a 20%	12,99	12,81	11,56	12,83
4 - 20 a 45%	1,70	2,07	1,92	1,61
5 - 45 a 75%	0,27	0,37	0,35	0,27
6 - >75%	0,03	0,05	0,04	0,03

Índice de rugosidade do terreno

O índice de rugosidade - TRI (Tabela 6) proposto por Riley et al. (1999) foi reclassificado

conforme Silva & Mutre (2018) que dividiram em 7 classes, desde terreno plano até rugosidade extrema.

Observou-se que no MS, os dados médios de TRI enquadram-se na Classe 3, considerada rugosidade baixa. Os dados provenientes da análise pixel a pixel resultaram em valores elevados de CV, ainda maiores que o da declividade.

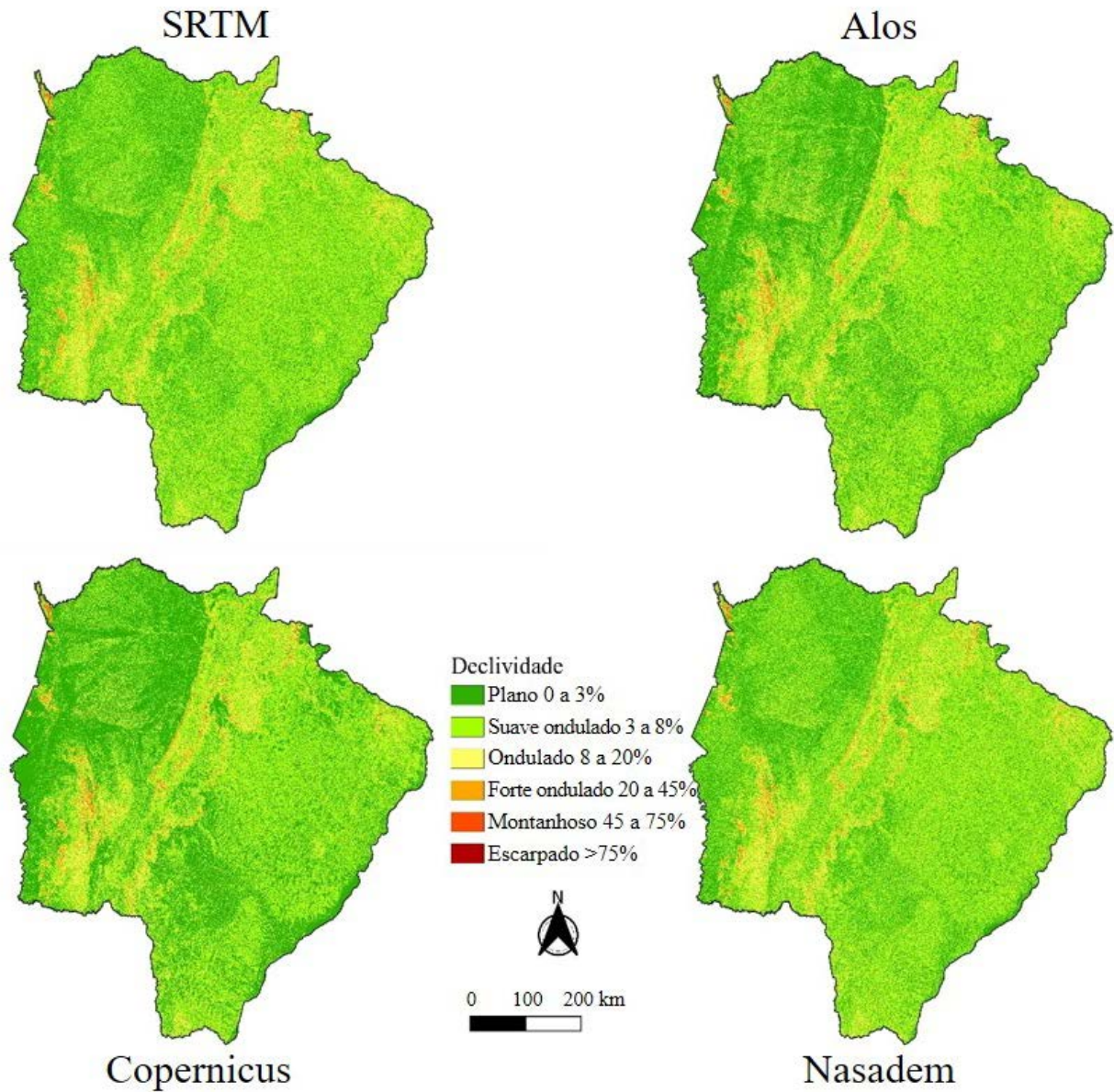


Figura 4 - Representação espacial da declividade no estado do Mato Grosso do Sul.

Tabela 6 - Estatísticas descritivas do índice de rugosidade do terreno (%).

Parâmetros	SRTM	Alos	Copernicus	Nasadem
Média	5,20	5,47	4,64	5,12
Desvio padrão	16,34	16,54	16,45	16,25
CV	314,23	302,38	354,53	317,38

A representação espacial do índice de rugosidade – TRI (Figura 5) acompanha as diferenças visuais apresentadas na declividade, sendo possível identificar visualmente algumas alterações para o Alos e Copernicus na região do Pantanal, como também em algumas regiões mais ao sul do Estado.

Conforme destacaram Reis & Polidori (2024), o Copernicus registra menor presença de obstáculos nas áreas de várzea e de pouca cobertura vegetal. Este sensor é o melhor para representar os cursos d’água, e por ser o mais recente, espera-se que os dados sejam mais precisos.

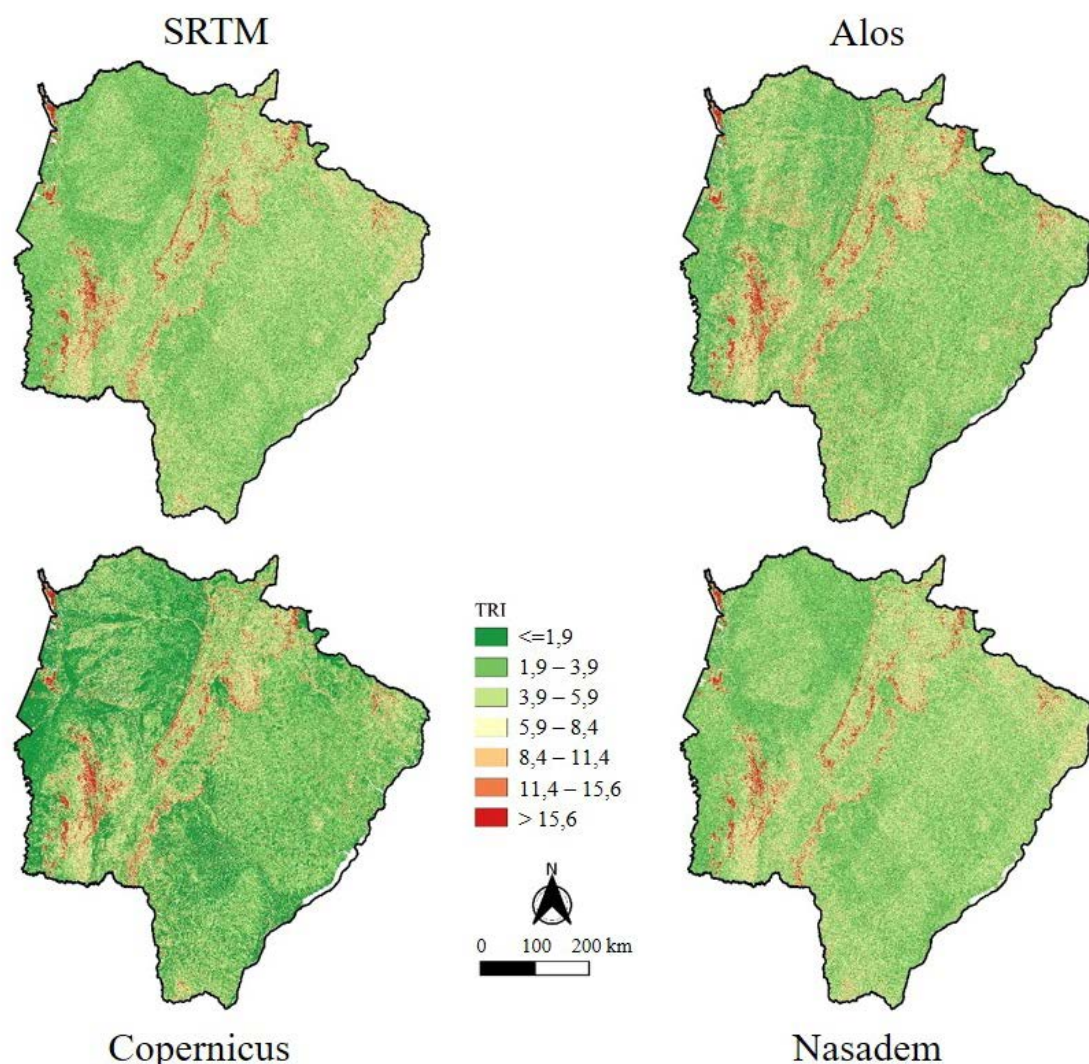


Figura 5 - Representação espacial da declividade no estado do Mato Grosso do Sul.

Os dados do TRI indicam que a maior parte das áreas do MS estão classificadas nas classes 2 e 3 (Tabela 7), conforme Silva & Mutre, (2018), que seriam terrenos quase plano e rugosidade baixa, respectivamente. Somente no Copernicus

identifica uma área mais acentuada na Classe 1, com terreno plano, o que difere dos demais sensores, como já explicado anteriormente por Reis & Polidori (2024) sobre a melhor captação do Copernicus nas áreas de várzea.

Tabela 7. Classes do índice de rugosidade do terreno (TRI) e porcentagem da área.

TRI	Classes	SRTM	Alos	Copernicus	Nasadem
Porcentagem (%)					
< 1,9	1 - Terreno plano	7,12	9,48	28,64	7,18
1,91 a 3,9	2 - Terreno quase plano	43,76	42,55	34,43	43,90
3,91 a 5,9	3 - Rugosidade baixa	27,04	23,39	16,92	27,68
5,91 a 8,4	4 - Rugosidade intermediária	13,01	12,29	9,51	13,15
8,41 a 11,4	5 - Rugosidade moderada	4,76	5,81	4,99	4,28
11,41 a 15,6	6 - Rugosidade elevada	2,07	3,25	2,70	1,72
>15,6	7 - Rugosidade extrema	2,24	3,24	2,82	2,10

Índice Kappa

O índice Kappa para a altimetria (Tabela 8) apresentou uma classificação quase perfeita para todos os projetos, conforme interpretação de Landis & Koch (1997), que sugerem que valores

do coeficiente de Kappa maiores do que 0,80 representam concordância “quase perfeita”; entre 0,60 e 0,80, “substancial”; entre 0,40 e 0,60, “moderada”; e abaixo de 0,40 representam concordância “fraca”.

Tabela 8 - Cálculo do Kappa para a relação do SRTM versus Alos, Copernicus e Nasadem.

Projetos	Parâmetros	
	Kappa	Exatidão Global (%)
Altitude		
SRTM x Alos	0,98	98,85
SRTM x Copernicus	0,98	98,68
SRTM x Nasadem	0,98	98,79
Declividade		
SRTM x Alos	0,29	55,98
SRTM x Copernicus	0,34	59,23
SRTM x Nasadem	0,78	86,70
Índice de rugosidade do terreno		
SRTM x Alos	0,17	40,07
SRTM x Copernicus	0,15	35,18
SRTM x Nasadem	0,62	72,88

De acordo com Stehman & Foody (2019), o limite de 85% para a qualidade da classificação não é universalmente válido, apesar de ser amplamente utilizado para grandes áreas, porque as métricas de precisão e os alvos devem ser identificados antes da análise e devem ser específicos, para poder identificar a adequação.

Os autores salientam que este parâmetro fornece apenas uma ideia da precisão do mapa. Outros trabalhos, como o de Francisco & Almeida (2012) verificaram valores de Kappa de 85% nos dados dos projetos testados e ressaltaram que a avaliação da precisão desses mapeamentos é uma tarefa complexa de mensurar. Portanto, a matriz de erro e as precisões devem ser consideradas na avaliação da precisão da classificação.

Em relação aos dados de declividade (Tabela 8), verificou-se que a maior assertividade foi entre os dados SRTM e Nasadem, o que era possível de esperar, uma vez que o projeto Nasadem é uma versão melhorada dos dados do

SRTM. Mesmo resultado foi observado por Reis & Polidori (2024) mostrando correlações alta, e sendo previsto, uma vez que, os dados de entrada são os mesmos. Mesmo assim a assertividade do Kappa, ficou abaixo de 0,8, que é interpretado como “substancial” e para os dados do Alos e Copernicus a assertividade ficou entre 0,40 e 0,60, o que é considerada como “moderada” (Landis & Koch, 1997).

A discrepância entre a taxa de acertos e o índice Kappa é comum (Mather, 2004), sendo que a primeira se baseia na matriz de erro e o segundo na média da precisão das classes (Ganem et al., 2017).

Os dados do TRI analisados pelo índice Kappa, apresentaram um baixo valor tanto do Kappa como da exatidão global. A assertividade entre SRTM e Nasadem ficou entre 0,40 e 0,60, o que é considerado como “moderada”, e para o Alos e Copernicus a assertividade ficou abaixo de 0,40 caracterizado como concordância “fraca” (Landis & Koch, 1997).

CONCLUSÕES

Os dados do Copernicus apresentam melhor representação de áreas mais baixas, como várzeas, e por serem dados mais recentes, tendem a representar de maneira mais fiel o relevo atual.

Os dados de altimetria dos projetos SRTM, Alos, Copernicus e Nasadem apresentam valores

de Kappa e exatidão global próximos, indicando que podem ser utilizados sem distinção entre os mapas. Os modelos digitais de elevação dos projetos SRTM e Nasadem são muito similares e apresentam maior exatidão global no cálculo de declividade e índice de rugosidade do terreno.

AGRADECIMENTOS

Ao plugin “*OpenTopography DEM Downloader*” pela disponibilização das imagens dos MDE.

REFERÊNCIAS

- ALOS. **ALOS World 3D - 30m**. Disp.: <https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTALOS.112016.4326.2> Acesso em: 27 de ago. de 2024.
- COHEN, J.A. Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, p. 37-46, 1960.
- COPERNICUS - **Copernicus DEM - Global and European Digital Elevation Model (COP-DEM)**. Disp.: <https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model> Acesso em: 27 de ago. de 2024.
- FARR, T.G.; ROSEN, P.A.; CARO, R.; 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.; ALSDORF, D. The shuttle radar topography mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, RG2004, 2007.
- FRANCISCO, C.N. & ALMEIDA, C.M. DE Interpretação de imagens orbitais por meio de sistema especialista para o mapeamento de cobertura da terra em região montanhosa. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 283-302, 2012.
- GANEM, K.A.; BAPTISTA, G.M.M.; DA FRANCA ROCHA, W. J.S.; VASCONCELLOS, R.N.; ROSA, M.R.; DE SOUZA, D.T.M. Comparação entre dados com e sem correção atmosférica na classificação da cobertura da terra de uma área da caatinga utilizando o Google Earth Engine. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, p.1053-1074, 2017
- HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers & Geoscience**, v. 32, p. 1283-1298, 2006
- IBGE - **EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:500.000.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências – Bases cartográficas contínuas, 2003. Disp.: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html>
- JAXA. **Estratégia de Observação Sistemática ALOS - PALSAR**. 2022. Disp.: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/obs/palsar_strat.html
- LANDIS, J.R. & KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1997.
- MACEDO, R.J.A. & SURYA, L. Comparação entre modelos digitais de elevação dos sensores SRTM e ALOS Palsar para análise digital de terreno. **Revista Contexto Geográfico**, v. 3, n. 6, p.47-55, dez. 2018.
- MATHER, P.M. **Computer processing of remotely sensed images: an introduction**. 3ª Ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 324 p.
- McMAHON, C. **Lidar Survey of the San Pedro River, AZ 2021**. National Center for Airborne Laser Mapping (NCALM). Distributed by OpenTopography, 2022. Disp.: <https://doi.org/10.5069/G98050T2> Acessado em 18 de novembro de 2022.
- NASA, J.P.L. **NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001**. 2021. Distributed by OpenTopography. Disp.: <https://doi.org/10.5069/G93T9FD9> . Acessado em: 27 de ago. de 2024.
- NASADEM. **NASADEM Merged DEM Global 1 arc second**. Acesso de 26 de agosto de 2024. Disp.: https://lpdaac.usgs.gov/products/nasadem_hgtv001/
- OLIVEIRA, A.M.M.; PINTO, S.A.F.; LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo. **Estudos Geográficos**, v. 5, p. 63-86, 2007
- QGIS.org. **QGIS Geographic Information System**. QGIS Association. Disp.: https://qgis.org/pt_BR/site/index.html . Acesso em: 10 de agosto de 2022.
- REIS, L.N. DOS. & POLIDORI, L. Challenges of relief modeling in flat areas: a case study in the Amazon coast floodplains. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 30, p. e2024009, 2024.
- RILEY, S.J.; DE GLORIA, S.D.; ELLIOT, R. A Terrain Ruggedness that Quantifies Topographic Heterogeneity. **Intermountain Journal of Science**, v. 5, n. 1-4, p. 23-27, 1999.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H. C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SANTOS, M.S. **Modelos digitais de elevação de sensores orbitais para análise do terreno**. Dourados, MS, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados.
- SILVA, J.M.F. & MUDRE, M.R. Análise da Diversidade de Rugosidade do Terreno com emprego do Índice de Shannon: Estudo aplicado na APA da Serra da Esperança (PR). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, XII, Crato, 2018. **Anais...** Crato, 2018. Disp.: <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/5/5-144-159.html>
- SRTM. **NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second**. Acesso em 27 de ago. de 2024. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003/>
- STEHRMAN, S.V. & FOODY, G.M. Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products. **Remote Sensing of Environment**. v. 231, p. e1199, 2019.
- TRAN, T.N.D.; NGUYEN, B.Q.; VO, N.D.; LE, M.H.; NGUYEN, Q.D.; LAKSHMI, V.; BOLTEN, J.D. Quantification of global Digital Elevation Model (DEM) – A case study of the newly released NASADEM for a river basin in Central Vietnam. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 45, p. E101282, 2023.
- VALERIANO, M.M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, SP: Inpe, 2004. 72 p. Disp.: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads/dados/SRTM/publicacao.pdf>

Submetido em 17 de fevereiro de 2025

Aceito para publicação em 27 de junho de 2025