



Disciplina: Introdução ao Geoprocessamento SER-300

Docentes: Dra. Silvana Amaral; Dr. Marcos Adami

Discente: Diego Pinheiro de Menezes

PROPOSTA DE MONOGRAFIA

Título provisório: Avaliação da acurácia altimétrica de Modelos Digitais de Elevação (MDE) para emprego no mapeamento de área afetadas por enchentes ordinárias do rio Paraguai em Cáceres/MT

INTRODUÇÃO

O Decreto-lei nº 9.760/1946 dispõe sobre os bens imóveis da União com destaque para os bens listados nas alíneas b) e c) do Artigo 1º, a saber:

“b) os terrenos marginais dos rios navegáveis, em Territórios Federais, se, por qualquer título legítimo, não pertencerem a particular;

c) os terrenos marginais de rios e as ilhas nestes situadas na faixa da fronteira do território nacional e nas zonas onde se faça sentir a influência das marés;”

Estes bens foram recepcionados pelo Artigo 20 da Constituição Brasileira de 1988 e compete à Secretaria do Patrimônio da União (SPU) a gestão patrimonial destes imóveis. Como gestão patrimonial considera-se a demarcação, incorporação e registro imobiliário, regularização fundiária (cabendo a taxação sobre parcelas usadas para fins comerciais) e fiscalização com fins a impedir a ocupação irregular destes imóveis.

De acordo com Menezes (2023) este domínio confere à União o direito de propriedade sobre as margens de mais de 350 mil quilômetros de rios federais em áreas urbanas e rurais em todo o país. Um rio é passível de demarcação de terrenos marginais federais se atende as possibilidades elencadas no Decreto-lei nº 9.760/1946:

- I) rios federais navegáveis incluídos em faixa de fronteira;
- II) rios federais navegáveis que sirvam de limite com outros países ou deles provenham;
- III) rios federais navegáveis que tenham seu curso em duas ou mais Unidades da Federação;
- IV) rios sob influências das marés.

Para efeito legal, emprega-se a classificação de navegabilidade de trazido à luz pelo Decreto-Lei nº 2.281 de 05 de junho de 1940, “é navegável para efeitos de classificação, o curso d’água no qual *pleníssimo flumine*, isto é coberto todo o álveo, seja possível a navegação por embarcações de qualquer natureza, inclusive jangadas, num trecho não inferior à sua largura, para os mesmos efeitos, é navegável, lago ou lagoa que, em média, permita a navegação, em iguais condições, num trecho qualquer de sua superfície,...”

O processo demarcatório destes imóveis tem no posicionamento da Linha Média das Enchentes Ordinárias (LMEO) o seu principal vértice e atualmente é regido pela Instrução Normativa SPU/SEDDM/ME nº 28, de 26 de abril de 2022, que em breve será revisada por conta de mudanças legais no processo administrativo relacionado à demarcação destes bens da União, permitindo a possibilidade de revisar e aprimorar os

procedimentos técnicos que envolvam cartografia, geoprocessamento e processamento digital de imagens obtidas por sensoriamento remoto.

A demarcação destes bens dominiais da União possui fragilidades que repousam na carência de dados topográficos precisos associados ao posicionamento da LMEO, tornando o processo vulnerável a impugnações judiciais que questionem a competência da SPU tanto na demarcação de terrenos de marinha como na demarcação de terrenos marginais junto aos rios federais.

Dada a enorme extensão dos terrenos a demarcar e a necessidade por dados altimétricos precisos (especialmente para as áreas urbanas banhadas por rios federais) para o correto registro imobiliário destes imóveis, torna-se necessário avaliar os modelos digitais de elevação disponíveis em acervo gratuitos e pagos que podem ser empregados nos processos demarcatórios nos rios federais situados nos mais variados biomas brasileiros.

OBJETIVOS

Testar a aplicação de diferentes modelos digitais de elevação para o mapeamento de áreas atingidas por enchentes ordinárias numa área piloto localizada em Cáceres/MT em resposta aos seguintes questionamentos:

I - Qual melhor modelo digital de elevação (em acervo) de aquisição gratuita ou paga disponível para aplicação nos diferentes biomas brasileiros?

II - Qual a correspondência entre as cotas dos modelos digitais de elevação considerados com as altitudes disponíveis nas estações de referência de nível (RN) da rede altimétrica do IBGE?

III - Qual a Média da Enchente Ordinária (MEO) para a estação fluviométrica de Cáceres/MT sob gestão da Agência Nacional das Águas (ANA) e como este valor médio pode contribuir ao mapeamento das áreas periodicamente alagadas na área piloto?

IV - Alternativamente, o espelho d'água obtido de conjuntos de dados disponíveis no Google Earth Engine (Gorelick et al, 2017) podem suprir esta demanda?

De posse destas informações espera-se reunir subsídios ao aprimoramento do método para o posicionamento da LMEO, com a recomendação de algum modelo digital de elevação que possa ser alternativo aos tradicionais levantamentos aerofotogramétricos para os territórios em que sua contratação não é tecnicamente ou financeiramente viável.

MATERIAIS E MÉTODO

Área de estudo

Uma seção de aproximadamente 40 km² da planície fluvial do rio Paraguai entre o trecho rodoviário da BR-070 e a sede municipal de Cáceres/MT delimitada pelos pares de coordenadas geodésicas 16°0'52.60"S e 57°44'20.17"W, e 16° 5'35.64"S e 57°40'46.39"W como pode ser verificado na Figura 1 seguinte.

A cidade de Cáceres/MT foi selecionada dentre várias localidades brasileiras devido à condição meteorológica que permite encontrar dados em acervo das mais variadas coleções pagas disponíveis no mercado e devido à largura da planície fluvial do rio Paraguai nesta localidade, menor que muitas planícies da maioria dos rios brasileiros (especialmente amazônicos), porém dotados de meandros abandonados e de referências de nível do IBGE graças à seção da rodovia BR-070.

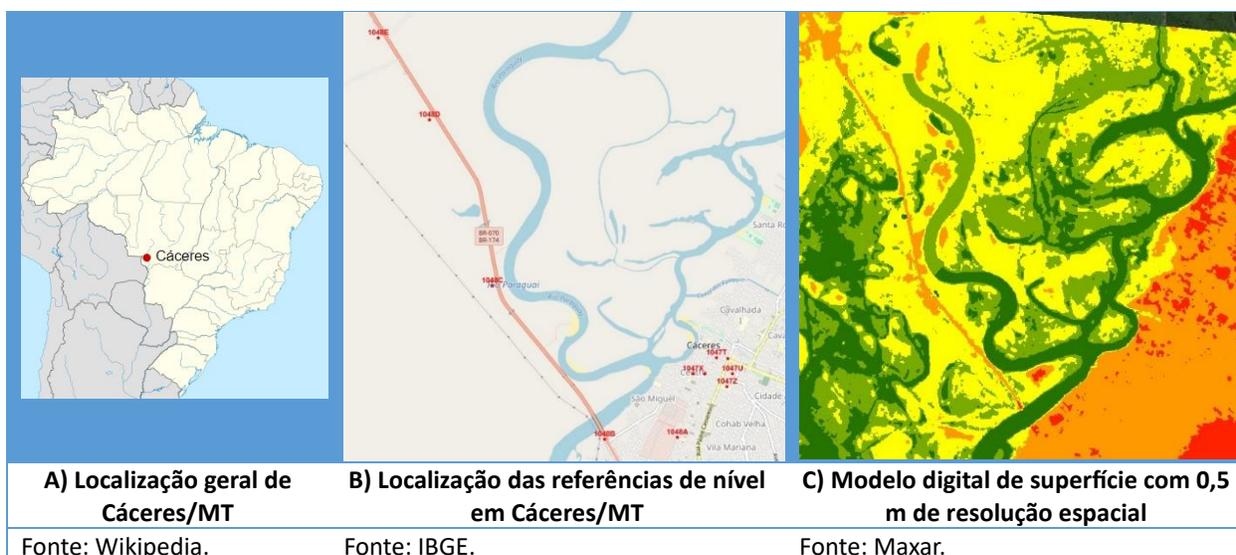


Figura 1. Localização geral da área de estudo, das referências de nível e de um dos modelos digitais de elevação a analisar.

Dados

Serão consultados os dados que tipicamente são usados para o posicionamento da LMEO, a saber:

Dados de vazão da estação fluviométrica 6670002 distribuídos pelo HIDROWEB/ANA (2022), além da localização e relatórios das referências de nível (RNs) que compõem a rede altimétrica do IBGE;

Possivelmente serão consultados dados de rastreamento GNSS e nivelamento geométrico conduzidos pelos técnicos da SPU no rio Paraguai em Cáceres/MT no segundo semestre 2022;

Um trabalho de pesquisa vem sendo realizado para obtenção de modelos digitais de superfície (MDS) e modelos digitais de terreno (MDT) de aquisição gratuita ou paga. Os dados pagos têm sido disponibilizados pelos revendedores brasileiros autorizados pelas operadoras estrangeiras. A Tabela 1, seguinte, resume as informações essenciais de cada produto, forma de aquisição e qual empresa operadora.

Tabela 1 Dados altimétricos a avaliar no presente estudo

Dado	TANDEM X	Cartas topográficas	SRTM / Topodata	ALOS-RTC	NEXTmap DSM 6	Vricon/Precision 3D DSM
Resolução espacial (metros)	90	50 *	30	12,5	6	0.5
Aquisição	Gratuita	Gratuita	Gratuita	Gratuita	Paga	Paga
Operador	DLR	DSG	USG	JAXA	Intermap	Maxar
Distribuidor	DLR	BDG-DSG	INPE	ASF-Vertex	Airbus	Maxar

* equidistância das curvas de nível

Além dos dados altimétricos, também estão levantados dados orbitais planimétricos de distribuição gratuita. Basicamente trata-se de produtos baseados em imagens ópticas Landsat e Sentinel 2 e das imagens SAR Sentinel 1, todos acessados através do Google Earth Engine (Norelick et al., 2017) e

sumarizados na Tabela 2, seguinte, junto com as cenas orbitais SPOT datadas de 2008 e em acervo na Secretaria de Meio Ambiente de Mato Grosso

Tabela 2 Dados orbitais planimétricos a avaliar no presente estudo

Dado	GSW	Mapbiomas água	Dynamic World	Sentinel 1	SPOT
Resolução espacial (metros)	30	30	20	10	2,5
Gerador	Pekel et al. (2016)	Souza et al (2019)	Brown et al. (2022)	ESA	Airbus
Distribuidor	GEE	GEE	GEE	GEE	Geoportal MT

Método

Uma vez levantados e organizados os dados de referência, serão procedidas algumas etapas do procedimento demarcatório de acordo com a Instrução Normativa SPU/SEDDM/ME nº 28, de 26 de abril de 2022, principalmente o cálculo da Média das Enchentes Ordinárias (MEO), o qual consiste em selecionar as máximas anuais de uma dada estação fluviométrica com recorrência => 3 anos e <= 20 anos. somá-las e dividi-las pelo número de fatores.

Esta instrução normativa ainda contempla a realização de nivelamentos geométricos em, ao menos, dois pontos amostrais em cada rio amostrado para se calcular a amplitude altimétrica entre um ponto X e o ponto Y.

Para extração da superfície alagada dos produtos disponíveis no Google Earth Engine, serão classificados e descarregados os dados das coleções Global Surface Water (Pekel et al, 2016), Dynamic World (Brown, 2022), Mapbiomas água (Souza et al, 2019) e das Sentinel 1 conforme Menezes aplicado anteriormente por (2023). Estes dados serão comparados com os dados altimétricos para qual produto baseado possui melhor correspondência com os dados altimétricos.

Para avaliação da acurácia dos dados altimétrico será conduzida a realização de Teste estatístico T (Student, 1908) conforme recentemente aplicado por Alves et al (2019), Lima e Rennó (2021). Para o Teste T de duas amostras independentes, a fórmula é:

$$T = (x1 - x2) / \text{sqrt}((s1^2/n1) + (s2^2/n2)) , \text{ onde:}$$

x1 e x2 são as médias das duas amostras

s1 e s2 são os desvios padrão das duas amostras

n1 e n2 são os tamanhos das duas amostras

Se o valor T resultante for maior do que o valor crítico, então podemos concluir que a diferença entre as médias é estatisticamente significativa. Caso contrário, se o T for menor que o valor crítico, resultado é estatisticamente insignificante.

Para grupos estatísticos maiores (como os valores dos modelos digitais de superfície) pode ser realizada uma Análise de Variância (ANOVA) baseado em Teste T. Para o teste ANOVA de um dado fator, a fórmula é

$$F = (SSB / (k - 1)) / (SSW / (n - k)) , \text{ onde:}$$

SSB é a soma dos quadrados entre as médias de cada grupo
k é o número de grupos
SSW é a soma dos quadrados dentro de cada grupo
n é o número total de observações em todos os grupos

Caso o resultado do valor de F for maior do que o valor crítico, então é possível concluir que pelo menos uma das médias dos grupos é significativamente diferente das outras.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb v. 3.2.7: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>

ALVES, S.S.O.; BAPTISTA, A.C. Processamento e avaliação posicional de produtos cartográficos obtidos por uma RPA em região de relevo acidentado. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/processamento-e-avaliacao-posicional-de-produtos-cartograficos-obtidos-por-uma-rpa-em-regiao-de-relevo-acidentado?lang=pt-br>

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Desestatização, Desinvestimento e Mercados, Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União. Instrução Normativa SPU/SEDDM/ME nº 28, de 26 de abril de 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-spu/seddm/me-n-28-de-26-de-abril-de-2022-397603795>

BRASIL. Decreto no. 89.817, de 20 de junho de 1984. Disponível em: www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-89817-20-junho-1984-439814-publicacaooriginal-1-pe.html

BRASIL. Decreto-lei nº 9.760, de 05 de setembro de 1946. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del9760.htm

BRASIL. Decreto-lei nº 2.281, de 05 de junho de 1940. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1940-1949/decreto-lei-2281-5-junho-1940-412337-publicacaooriginal-1-pe.html>

BROWN, C.F., BRUMBY, S.P., GUZDER-WILLIAMS, B. et al. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. Sci Data 9, 251, 2022.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (DSG). Banco de Dados Geográficos do Exército. Versão 3.0. 2013. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/>

GORELICK, N., et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 2017, 202, 18–27

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Banco de Dados Geodésicos (BDG). Disponível em: <http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>

LOGAN, T. A. et al, "Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR Data Available from the Alaska Satellite Facility", vol. 2014.

LIMA, D. L.; RENNÓ, C. D. Mapeamento de áreas alagáveis na bacia amazônica a partir de dados extraídos MDE-SRTM e avaliação da incerteza por meio da entropia de Shannon. In: Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021, Belo Horizonte, Anais eletrônicos.... Porto Alegre: ABRHidro, 2021. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13640>

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA). Geoportal SEMA-MT. Web map service (WMS) disponível em: <https://geoportal.sema.mt.gov.br/>

MENEZES, D. P. et al. Demarcação dos bens imóveis da União: posicionamento da linha média das enchentes ordinárias (LMEO) nos rios federais no Estado do Acre. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/demarcacao-dos-bens-imoveis-da-uniao-posicionamento-da-linha-media-das-enchentes?lang=pt-br>

PEKEL, JF., COTTAM, A., GORELICK, N. et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418–422. 2016.

SOUZA, C.M., JR.; KIRCHHOFF, F.T.; OLIVEIRA, B.C. et. al. Long-Term Annual Surface Water Change in the Brazilian Amazon Biome: Potential Links with Deforestation, Infrastructure Development and Climate Change. *Water*, 2019.

STUDENT, B. The probable error of a mean. *Biometrika* 6, no. 1, 1908, p. 1-25.

BIBLIOGRAFIA A CONSULTAR

HESS, L. L.; MELACK, J. M.; AFFONSO, A. G.; BARBOSA, C.; GASTIL-BUHL, M.; NOVO, E. M. L. M. Wetlands of the lowland Amazon basin: extent, vegetative cover, and dual-season inundated area as mapped with JERS-1 Synthetic Aperture Radar. *Wetlands*, v. 35, n. 4, p. 745–756, 2015.

HESS, L. L.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C. F.; GASTIL, M. (2003). “Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin”. *Remote Sensing of Environment*, 87(4), pp. 404–428

LIMA, D. L. Mapeamento de áreas alagáveis na Bacia Amazônica utilizando o classificador Random Forest a partir de dados extraídos do MDE-SRTM. Tese (doutorado). São José dos Campos: INPE, 2022, xx + 85 p. Disponível em: <http://mtc-m21d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/04.29.14.46/doc/publicacao.pdf>

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. (2008). “HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia”. *Remote Sensing of Environment*, v.112(9), pp. 3469–3481