

ESTIMATIVA DE BATIMETRIA ATIVA DE CORPOS D'ÁGUA UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE E ALTIMETRIA A LASER

Stefany Gonçalves Lima ¹, Rodrigo Cauduro Dias de Paiva ¹

¹Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, Caixa postal 15029 Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970 – Porto Alegre – RS - Brasil. stefglima@gmail.com. rodrigocdpaiva@gmail.com.

RESUMO

Apesar da importância da topografia na gestão dos recursos hídricos, dados como batimetria de lagos e reservatórios ainda são limitados. Nesse viés, as técnicas de sensoriamento remoto se apresentam como oportunidade de estimar esses dados em regiões de difícil acesso. Nesse trabalho é introduzido um novo método para estimar batimetria de corpos d'água com base em um mapa de frequência de inundação do conjunto *JRS Global Surface Water* (GSW), baseado nas imagens Landsat, juntamente com máscaras d'água mensais e dados de altimetria de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) da missão GEDI. Testes iniciais foram realizados no reservatório de Sobradinho e os resultados apontam que à medida que o percentil é menor, aumenta-se o coeficiente de correlação linear entre as variáveis de cota, frequência de inundação e também o nível do reservatório. A técnica aqui proposta é uma alternativa para a aplicação de cota-frequência de inundação e pode ser empregada em outros corpos d'água com diferentes características morfológicas.

Palavras-chave — Landsat, GEDI, Batimetria, Frequência de inundação.

ABSTRACT

Despite the importance of topography in water resources management, lake and reservoir bathymetry data are still limited. In this manner, remote sensing techniques show themselves as an opportunity to estimate data in hard-to-reach regions. This work introduces a new method to estimate water bodies bathymetry based on a flood frequency map from the JRS Global Surface Water (GSW) set, based on Landsat images, including monthly water masks and Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) altimetry data from the GEDI mission. Initial tests were performed in Sobradinho reservoir and the results show that as the percentile is lower the linear correlation coefficient between the depth and flood frequency variables increases and so does the reservoir depth. The technique proposed here is an alternative for the application of flood frequency depth and can be used in other water bodies with different morphological characteristics.

Key words — Landsat, GEDI, Bathymetry, Flood frequency.

1. INTRODUÇÃO

Superfícies de água são partes importantes do ciclo hidrológico devido aos seus aspectos quantitativos e qualitativos, tanto quanto a sua distribuição temporal e espacial. O mapeamento de bordas em corpos d'água (lagos e reservatórios) é muito importante para detectar a dinâmica envolvida nessas feições, como: variações de nível do reservatório, sedimentação, alterações no uso e na ocupação de margens.

A variabilidade temporal dos níveis de água serve como indicador fundamental das alterações ambientais. Com isso, técnicas de sensoriamento remoto são amplamente utilizadas para mensurar processos em estruturas naturais e artificiais, tal como para gerar mapas de batimetria de águas interiores [18][7][11][1][12][2], em estudos que abordam estimativas para inferir informações de lagos e geometria de corpos d'água, mas sem tanto sucesso para fornecer dados de batimetria em 3D [5][14] e na extração de linhas de contorno de lagos e reservatórios [4][13].

Para as reservas de água doce, o monitoramento sistemático de corpos d'água é limitado [6]. Uma abordagem diferente para o mapeamento de batimetria pode se dar pelo uso das técnicas de sensoriamento remoto [6][9]. Com o objetivo de melhorar mapas de batimetria de lagos, alguns estudos recentes integram dados de sensoriamento remoto com a interpolação espacial de medições in situ [3][10], ou combinam imagens ópticas e radar [17] ou ainda, altimetria a laser [11][15]. Nesses trabalhos, os métodos baseados em imagens de satélite determinam isóbatas (linhas de profundidade igual). Em seguida, as linhas costeiras em cada imagem específica recebem uma média de altura por meio de medições precisas de elevação como altimetria a laser, por exemplo.

De tal modo, esse estudo apresenta um método baseado em dados de frequência de inundação e dados de altimetria a laser para estimar a batimetria ativa de corpos d'água, usando mapas de ocorrência mensais de alta resolução (30 m) globalmente disponíveis, dados de altimetria a laser da missão *Global Ecosystems Dynamics Investigation* (GEDI) com sensores *Light Detection and Rangind* (LiDAR), e mapas de extensão de inundação baseados em sensoriamento remoto ao longo do período de 1984 a 2020. Além de obter as imagens de satélite para cada mês, o método proposto requer dados simultâneos de elevação do GEDI e imagens de extensão de inundação durante o período de tempo.

2. MATERIAS E MÉTODOS

O método para estimar a batimetria de corpos d'água tem como base a variação mensal do nível d'água, a frequência de corpos d'água aberta e a leitura de altimetria a laser correspondente. A partir de um mapa de frequência de inundação e imagens de máscara d'água, ambos para o mesmo período, a cota de fundo do reservatório pode ser estimada através de um ajuste dos valores correspondentes de elevação lidos pela missão GEDI. Com isso, a cota de fundo pode ser estimada em regiões onde a frequência de inundação é inferior a 100%.

2.1. Área de estudo

A área de aplicação do método compreende o reservatório de Sobradinho (Figura 1), construído em 1982, e que pertence à Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, sendo considerado, ainda, o maior lago artificial do Nordeste brasileiro com um espelho d'água de 4.214 km² de extensão. O reservatório foi escolhido para a aplicação do método pois apresenta variação na área inundada. A área de estudo foi delimitada a partir de máscaras d'água mensais capturadas pela missão Landsat no reservatório.

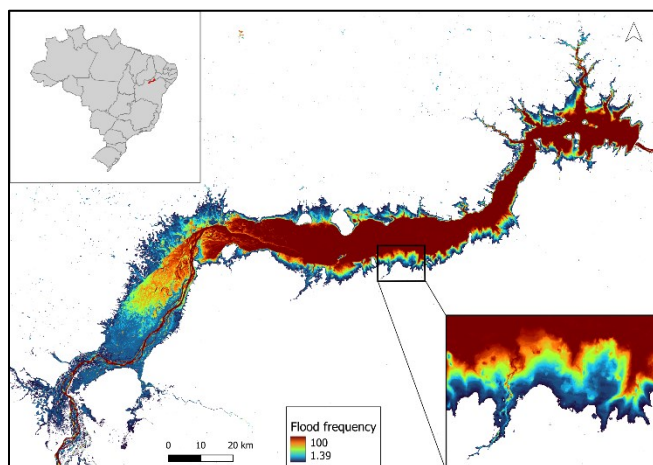


Figura 1 - Reservatório de Sobradinho-BA. Frequência de inundação de 1984 a 2020 (%).

2.2. Bases de dados

2.2.1. Flood Frequency

A frequência de inundação em cada pixel na região de interesse pode ser obtida por meio de mapas temporais de cobertura de água superficial com uso de sensores espaciais como o Landsat (desde 1984), com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30 m.

Com base no monitoramento das missões Landsat foram desenvolvidos conjuntos de dados globais de extensão de águas superficiais como o conjunto de dados *JRC Global Surface Water* [16] disponível na plataforma *Google Earth Engine* [8]. O conjunto de dados GSW apresenta um registro mensal da presença de água em escala global desde 1984, correspondendo as imagens da missão Landsat classificadas como sem

dados (0), não água (1) e água (2), com resolução espacial de 30 m, apresentando erros de omissão inferiores a 5% e de comissão inferiores a 1% [16].

Os dados utilizados para estimar a frequência de corpos d'água aberta foram do período correspondente aos anos de 1984 a 2020, extraídos do *Google Earth Engine* utilizando a base de dado global *JRC Monthly Water History*.

2.2.2. Global Ecosystems Dynamics Investigation (GEDI)

A missão de dois anos GEDI foi iniciada em 2018 com o lançamento pela *National Aeronautic and Space Administration* – NASA. O satélite produz observações 3D de alta resolução da Terra com medições precisas da altura do dossel florestal, estrutura vertical do dossel, bem como a elevação da superfície.

Os dados provenientes do GEDI são pertinentes para diversos usos como: previsão do tempo, manejo florestal, monitoramento de geleiras e neve e a geração de modelos digitais de elevação mais precisos. O instrumento possui sistema de laser de classe geodésica, detecção e alcance da luz composto por 8 faixas paralelas de observações. O LASER dispara 242 vezes por segundo e ilumina um ponto de 25 m (footprint) na superfície sobre a qual a estrutura está sendo medida. Cada pegada é espaçada em 60 m ao longo da faixa, com uma distância transversal de cerca de 600 m entre cada uma das 8 vias.

Os produtos da missão GEDI estão disponíveis na plataforma *Google Earth Engine*. Para esse trabalho foi utilizado o produto *Geolocated Elevation and Height Metrics* (GEDI02_A) nível 2A, composto por 100 métricas de altura relativa (RH) que descrevem coletivamente a forma de onda coletada pelo GEDI com conjunto de dados do LASE/GEDI/GEDI02_A_002_MONTHLY, que é uma versão raster do produto GEDI02_A original. Essas imagens raster são organizadas como composições mensais de órbitas individuais no mês correspondente. Selecionou-se, então, a banda *elev_lowestmode* entre o período de maio de 2019 a dezembro de 2020 para a coleta dos dados utilizados nesse trabalho.

Os dados da missão GEDI ainda são pouco utilizados para análises devido à disponibilização apenas para o período de 2019 a 2020, tornando mais difícil analisar a evolução das mudanças com apenas os dados dessa missão. Contudo, a cobertura espacial do GEDI compreende as áreas de interesse a serem testadas nesse estudo.

2.3. Avaliação dos resultados

Para todas as máscaras d'água foram extraídos os valores de frequência de inundação nas bordas do reservatório por meio do *software* QGIS v. 3.22 e calculados os percentis 50, 25, 10 e 5 para estimar cota-frequência de inundação.

Vale destacar que não foram feitas correções de pixels com coberturas de nuvens e as imagens afetadas por esse problema no período analisado não foram descartadas, pois não prejudicaram a coleta de dados na camada limite do reservatório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram encontrados utilizando o ajuste estatístico dos dados por meio de uma regressão linear simples (Figura 2) e então foi aplicado o método da extrapolação linear e ajustadas equações da reta cota-frequência de inundação na forma de: $Cota = -a (frequencia\ de\ inundação) + b$, onde a e b são parâmetros ajustados nas equações (Tabela 1).

Percentile	a	b	R ²
50	0,1447	382,34	0,2558
25	0,2267	382,71	0,3559
10	0,3767	383,26	0,4206
5	0,4827	383,37	0,4626

Tabela 1. Parâmetros ajustados nas equações.

O coeficiente de correlação linear (R^2) apresentou uma relação inversamente proporcional ao valor do percentil calculado, ou seja, à medida que o percentil da amostra de dados de frequência de inundação é menor, aumenta-se o coeficiente de correlação linear entre as variáveis e há uma redução nos valores de cotas para o mesmo valor de frequência de inundação.

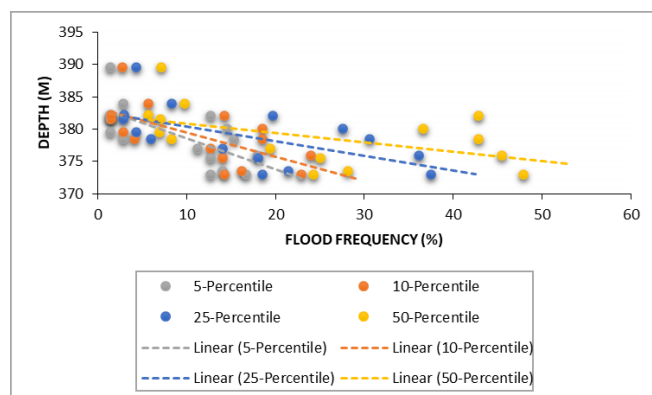


Figura 2. Cota-frequência de inundação estimadas a partir de dados do GEDI para diferentes percentis.

A batimetria ativa não foi estimada para a área em que a frequência de inundação é igual a 100%, pois nesses valores a cota do reservatório é mínima. A Figura 3 apresenta os dados de cota-frequência de inundação ajustados nesse trabalho, indicando que a cota para os valores de frequência de inundação nula são: 382.34 m para o percentil 50, 382.71 m para o percentil 25, 383.26 m para o percentil 10 e 383.37 m para o percentil 5.

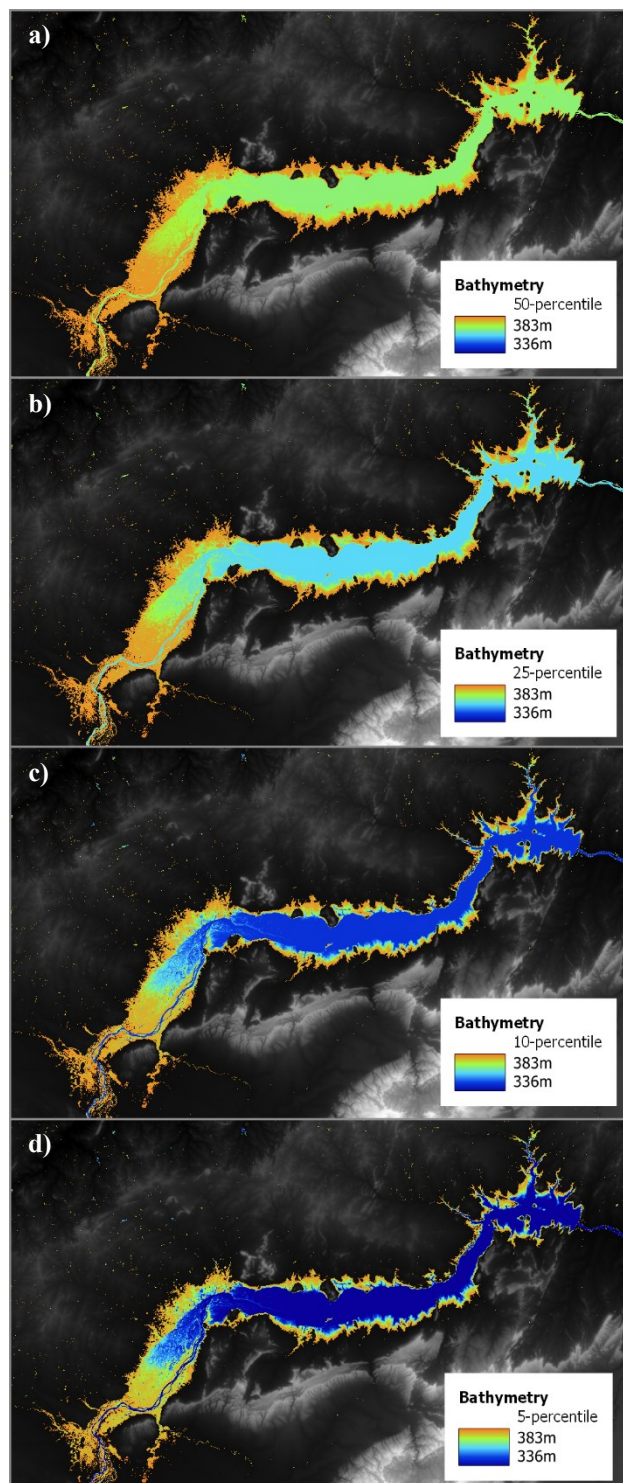


Figura 3. Batimetria estimada para o reservatório de Sobradinho-BR. a) Percentil 50, b) Percentil 25, c) Percentil 10, d) Percentil 5.

4. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresenta uma proposta de nova abordagem para estimar a batimetria de corpos d'água do reservatório de Sobradinho com aplicação na estimativa da cota-frequência de inundação.

A metodologia fez uso de uma base de imagens e altimetria a laser com uso de sensoriamento remoto, podendo ser aplicada para outros corpos d'água.

Apesar da metodologia ainda não ter sido aplicada para outros reservatórios com características morfológicas distintas, as equações cota-frequência de inundação sugerem uma boa concordância para seleção de dados nesse reservatório.

A sugestão para trabalhos futuros é promover a avaliação do método para outros corpos d'água com diferentes características morfológicas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam reconhecer a CAPES pelo financiamento concedido para publicação desse trabalho e, em especial, a contribuição do trabalho de Alice César Fassoni-Andrade que inspirou a elaboração desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- [1] ARMON, Moshe et al. Determining bathymetry of shallow and ephemeral desert lakes using satellite imagery and altimetry. *Geophysical Research Letters*, v. 47, n. 7, p. e2020GL087367, 2020.
- [2] FASSONI-ANDRADE, Alice César et al. Estimativa da batimetria do reservatório de Sobradinho por imagens orbitais. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos-SP, 2019.
- [3] FENG, Lian et al. MODIS observations of the bottom topography and its inter-annual variability of Poyang Lake. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 10, p. 2729-2741, 2011.
- [4] FRAZIER, Paul S. et al. Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, v. 66, n. 12, p. 1461-1468, 2000.
- [5] GAO, Huilin; BIRKETT, Charon; LETTENMAIER, Dennis P. Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing. *Water Resources Research*, v. 48, n. 9, 2012.
- [6] GAO, Huilin. Satellite remote sensing of large lakes and reservoirs: From elevation and area to storage. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 2, n. 2, p. 147-157, 2015.
- [7] GETIRANA, Augusto; JUNG, Hahn Chul; TSENG, Kuo-Hsin. Deriving three dimensional reservoir bathymetry from multi-satellite datasets. *Remote sensing of environment*, v. 217, p. 366-374, 2018.
- [8] GORELICK, Noel et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.
- [9] JAWAK, Shridhar D. et al. A synoptic review on deriving bathymetry information using remote sensing technologies: models, methods and comparisons. *Advances in remote Sensing*, v. 4, n. 02, p. 147, 2015.
- [10] LEON, Javier X.; COHEN, T. J. An improved bathymetric model for the modern and palaeo Lake Eyre. *Geomorphology*, v. 173, p. 69-79, 2012.
- [11] LI, Yao et al. Deriving high-resolution reservoir bathymetry from ICESat-2 prototype photon-counting lidar and landsat imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 57, n. 10, p. 7883-7893, 2019.
- [12] LIU, Kai et al. Remote sensing-based modeling of the bathymetry and water storage for channel-type reservoirs worldwide. *Water Resources Research*, v. 56, n. 11, p. e2020WR027147, 2020.
- [13] LU, Shanlong et al. Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 13, n. 3, p. 428-434, 2011.
- [14] LV, Jie et al. Application of Robust Estimation Method in Study of Relationship Between Lake's Water Area and Water Level. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 46, n. 10, p. 1595-1603, 2018.
- [15] MA, Yue et al. Estimating water levels and volumes of lakes dated back to the 1980s using Landsat imagery and photon-counting lidar datasets. *Remote Sensing of Environment*, v. 232, p. 111287, 2019.
- [16] PEKEL, Jean-François et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, v. 540, n. 7633, p. 418-422, 2016.
- [17] SUN, Fangdi; MA, Ronghua. Hydrologic changes of Aral Sea: A reveal by the combination of radar altimeter data and optical images. *Annals of GIS*, v. 25, n. 3, p. 247-261, 2019.
- [18] ZHANG, Shuping et al. Bathymetric survey of water reservoirs in north-eastern Brazil based on TanDEM-X satellite data. *Science of the Total Environment*, v. 571, p. 575-593, 2016.