

Mapeamento do Lago Paranoá (DF) utilizando integração de batimetria multi-feixe, mono-feixe e topografia laser.

Amanda Cecilia Neuhauss Aguiar^{1,2}, Gabriela Nunes Turqueti¹, Paulo Henrique Praça de França^{1,3}, Welitom Rodrigues Borges¹, Henrique Llacer Roig¹ e Marco Ianniruberto¹

¹ Instituto de Geociências, UnB

² Phygeo Junior, UnB

³ RuralTech

Copyright 2019, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

Este estudo visa analisar a aplicação dos sistemas multi-beam, single-beam e LIDAR para geração de modelo digital de elevação e determinação da curva Cota x Área x Volume do Lago Paranoá. O modelo gerado constitui a base para analisar a evolução do processo de assoreamento do lago ao longo dos anos, desde sua fundação, em 1960, até 2018. A aquisição foi realizada utilizando um ecobatímetro mono-feixe ODOM Echotrac CVM de dupla frequência (33-200kHz), um ecobatímetro de alta resolução Teledyne Reason 7101. A carta topobatimétrica final foi gerada através da interpolação utilizando o método *kriging*.

Introdução

Este trabalho foi viabilizado mediante uma parceria entre a Universidade de Brasília (UnB) e a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), com objetivo de calcular a atual capacidade volumétrica e área do Lago Paranoá e a partir destes dados, fazer análises a respeito do assoreamento e balanço hídrico do reservatório.

Reservatórios são formados, normalmente, pelo barramento de um curso d'água natural, com intuito de suprir algumas necessidades dos habitantes da cidade, como criar um estoque de água para garantir suplemento durante as estações secas, colaborar com a geração de energia elétrica e promover lazer aos habitantes.

Os reservatórios são conhecidos por terem, ao longo os anos, problemas relacionados com sedimentação. Por possuírem baixa energia hidráulica, atuam como uma bacia de captação e decantação de sedimentos transportados pelos afluentes. O reservatório forma uma espécie de armadilha, em que os grãos suspensos mais grossos formam deltas, caracterizados por uma frente sedimentar de progradação/assoreamento a jusante.

A taxa de sedimentação ou de assoreamento depende de fatores naturais, como a geologia, a geomorfologia, a pedologia, o clima e as mudanças do uso do solo nas proximidades da bacia (e.g.: Hosseini e Ashraf, 2015). Esta taxa em qualquer reservatório está relacionada também com fatores antrópicos, e a sua estimativa pode ser muito desafiadora (Walling, 1999).

É possível estimar a taxa de sedimentação de um lago a partir de três abordagens principais: 1) modelagem dos processos de erosão do solo na bacia; 2) estimativa do transporte de sedimento pelos tributários e 3) estimativa direta da pluma de deposição. A primeira é uma função complexa a respeito da pedologia, geomorfologia, clima e uso do solo. A segunda depende de uma previsão de quantidade de sedimentos ao longo das vias que ligam as áreas de produção e deposição, os quais dependem diretamente de uma medida do fluxo ao longo do curso d'água. A terceira e última pode ser estimada através de uma pesquisa topobatimétrica multi-temporal (Rowan et al., 1995;), e também através de outros métodos geofísicos, como a geolétrica e a sísmica de reflexão.

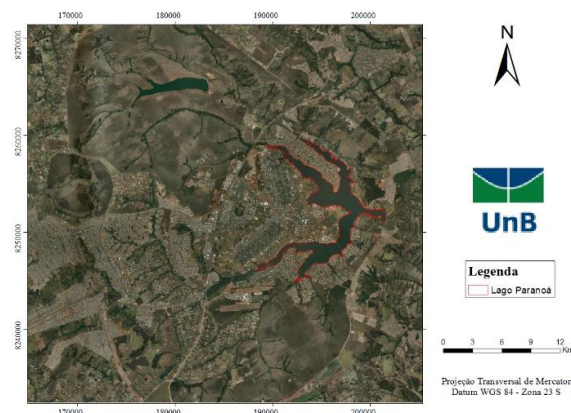


Figura 1: Mapa de localização do Lago Paranoá.

O Lago Paranoá, construído em 12 de setembro de 1959 através do represamento do rio Paranoá, foi idealizado antes de sua fundação como principal característica da paisagem de Brasília. A bacia do Lago Paranoá está integralmente localizada no Distrito Federal, sendo uma grande parte protegida por unidades de conservação, como as nascentes do Bananal e de Santa Maria (Torto). O Lago Paranoá é constituído, ao norte, pelas unidades hidrográficas do Bananal e Santa Maria, e ao sul, pela unidade hidrográfica do Riacho Fundo e Ribeirão do Gama (Dias, 2011) (Figura 1). Todos esses afluentes das unidades deságuam no Lago Paranoá, e este possui apenas uma saída, localizada na represa que desemboca no Rio São Bartolomeu.

Dentro de um largo espectro de possibilidades para estimar a sedimentação e calcular o volume de um reservatório, a metodologia topo-batimétrica multi-temporal fornece uma evidência direta do volume e da geometria dos depósitos, método recomendado para

monitoramento anual ou de longos períodos de tempo. Modelos digitais obtidos são de grande importância para a caracterização morfométrica de corpos hídricos e podem auxiliar em estudos de evolução de assoreamento, qualidade da água, balanço hídrico, entre outros.

Mapeamentos utilizando aquisições de LIDAR (Light Detection and Ranging) vêm se desenvolvendo desde os anos 1990s (Grejner-Brzezinska et al. 2004). Este método é eficaz, com capacidade de capturar uma grande quantidade de dados com uma alta acurácia.

Quando interpolada junto com dados de LIDAR, a batimetria fornece um modelo digital de elevação (DEM) contínuo ao longo da margem do reservatório, tornando o cálculo da curva cota x área x volume mais acurado. É necessário, neste caso, uma perfeita integração entre os dados de topografia e de batimetria, bem como a redução para o mesmo *datum* vertical, a fim de obter uma carta topo-batimétrica de alta confiabilidade.

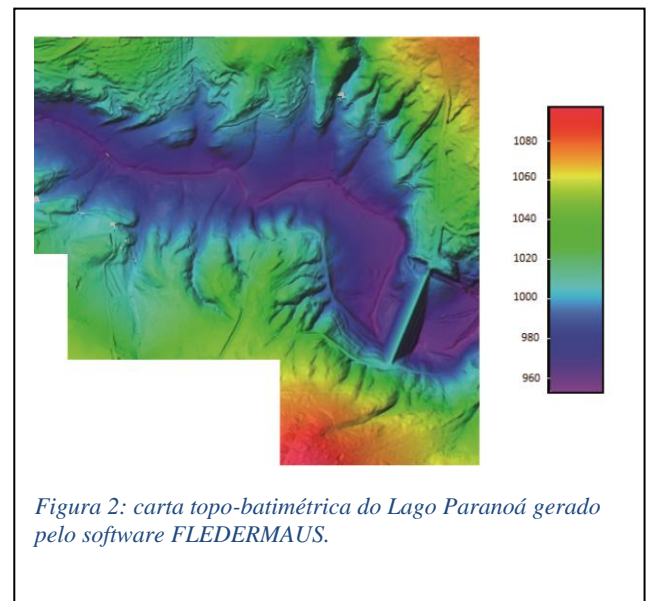
Entre os produtos resultantes da definição de um DEM, pode-se incluir a compreensão de como ocorrem os processos de sedimentação mediante análise multi-temporal. No caso do Lago Paranoá, o reservatório está localizado no Planalto Central, no bioma Cerrado, com clima semi-árido e numa região caracterizada por uso desordenado do solo.

Metodologia

A ecobatimetria e o LIDAR são técnicas de medição topo-batimétricas amplamente utilizadas em ambientes submersos rasos, como áreas costeiras e reservatórios. Ambas as técnicas utilizam medidas do tempo de ida e volta de feixes de ondas, mecânicas e eletromagnéticas, respectivamente, para determinar a profundidade/elevação das superfícies-alvo. As medidas realizadas, quando reduzidas a um datum vertical em comum, permitem a geração de um MDE sem descontinuidades entre as regiões submersas e emersas. A ecobatimetria pode ser realizada com dois tipos de sonares: ecobatímetro monofeixe e o ecobatímetro multifeixe. O sistema monofeixe, emite um pulso acústico por vez, determinando uma cota de profundidade por

ciclo. O sistema multifeixe emite um único feixe, mas recebe simultaneamente vários feixes, produzindo faixas de varredura que cobrem uma seção transversal à linha de navegação.

Nos ambientes emersos, o LIDAR é uma técnica de medidas topográficas eficaz no qual o equipamento pode ser transportado por drone, helicóptero ou avião. O LIDAR faz o escaneamento do terreno através da emissão de feixes de laser no canal infravermelho próximo. Na fase de processamento e controle de qualidade, o Perfilador separa o terreno de cobertura vegetal e de edificações a partir do retorno de cada pulso eletromagnético emitido em direção aos alvos. Nesse sentido, tanto a linha do solo é mapeada como também tudo que se encontra acima dele é categorizado (vegetação, edificações, linhas de transmissão aéreas, carros, etc ...).



A investigação batimétrica foi realizada em 5 campanhas entre 2016 e 2018. A aquisição utilizando o Single-Beam foi feita com um ecobatímetro de dupla frequência (33-

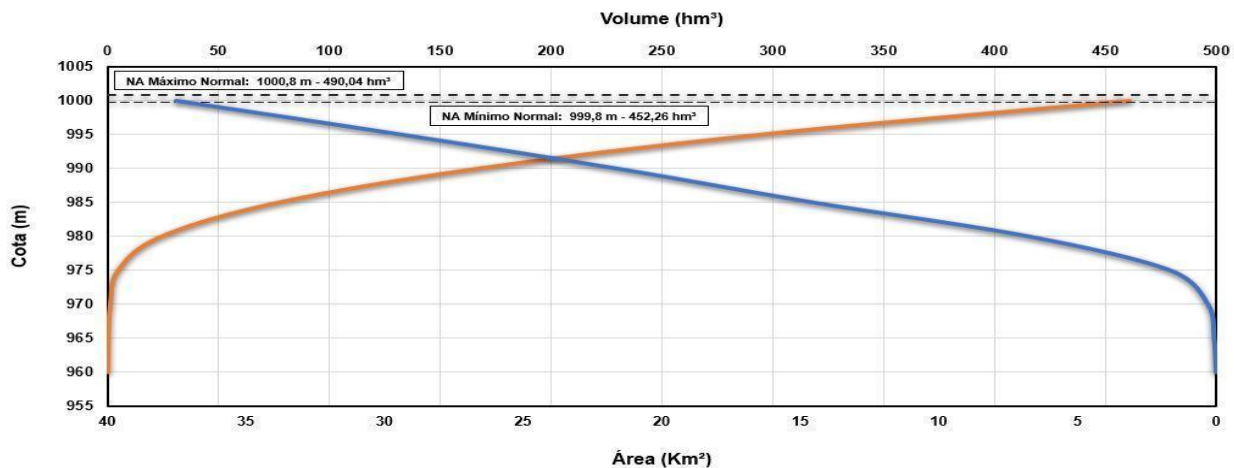


Figura 3: Curva Cota x Área x Volume do Lago Paranoá

200kHz) da ODOM Echotrac, modelo CVM. Para a navegação, foi utilizado o *Software* HYPACK 2010 e o sistema de posicionamento foi realizado pelo receptor GNSS Trimble DSM 232. A aquisição Multi-Beam foi executada utilizando o ecobatímetro Teledyne Reson 7101, o perfilador de som ODOM DIGIBAR Pro e o MRU (sensor de movimento) SPAN-CPT da NovAtel, conectados a uma suíte de navegação PDS 2000.

O processamento dos dados batimétricos multi e mono-feixe foram realizado em *softwares* distintos. Os dados de mono-feixe foram processados utilizando a suíte de navegação HYPACK, onde foi possível fazer a filtragem de pontos espúrios e redução dos dados para o *datum* do geóide. Os dados de Multi-Feixe foram processados no *software* CARIS, onde foi feita a análise de velocidade dos dados, a redução dos dados para o *datum* do geóide (Nível do Mar), o ajuste dos parâmetros de calibração e, por final, a filtragem dos dados espúrios.

O Perfilamento Laser foi executado por meio da tecnologia Light Detection And Ranging – LIDAR. O sensor utilizado foi o ALS-60, da Leica Geosystems, a unidade de medição inercial utilizada foi o IPAS20, modelo NUS5, também da Leica Geosystems, com receptor GNSS geodésico, de dupla frequência L1/L2, acoplado. A aeronave utilizada para transportar os equipamentos foi o Azteca PA-23-250, da Piper Aircraft. Os dados do Perfilamento Laser foram adquiridos e processados pela empresa TOPOCART.

Após coletados e processados os dados de Batimetria e de LIDAR, estes foram integrados utilizando o *software* FLEDERMAUS, onde foi possível também fazer uma análise de qualidade dos dados (Figura 2).

Resultados

A integração dos dados de batimetria e LIDAR gerou um mapa Topo-batimétrico de resolução de 5 m² da região. A interpolação mediante *Kriging* resultou em um Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 4). Por final, foi possível fazer um cálculo detalhado de volume e área do lago, possibilitando determinar, posteriormente, no Excel, uma curva Cota X Área X Volume do Lago Paranoá (Figura 3).

Tabela 1: tabela de Cota x Área x Volume do Lago Paranoá

COTA (m)	AREA (m ²)	VOLUME (m ³)
955	0	0
960	14.251	17.594
965	80.213	217.379
970	303.339	1.122.194
975	1.655.307	4.681.474
980	6.741.486	24.196.056
985	14.515.359	76.899.654
990	21.606.198	167.004.022
995	29.371.812	294.220.877
1000	37.528.552	460.792.734

Pelos registros volumétricos anteriores, foi possível analisar a evolução do Lago Paranoá desde sua fundação (Tabela 2). O primeiro registro que se tem do Lago Paranoá é um mapa topográfico datado de antes da sua construção, em 1960. Desde o represamento do Rio Paranoá, foi possível calcular uma perda volumétrica de 6.4% do seu volume original, um total de 31.571.377 m³, assoreando numa taxa de, aproximadamente, 563.774.58 m³ por ano.

Tabela 2: dados de comparação do Lago Paranoá em 1960, na sua fundação, e em 2018.

ANO	COTA	ÁREA	VOLUME	PERDA VOLUMÉTRICA
	m	m ²	m ³	%
1960	1000	38.881.906	492.364.111	0
2018	1000	37.528.552	460.792.734	6.4

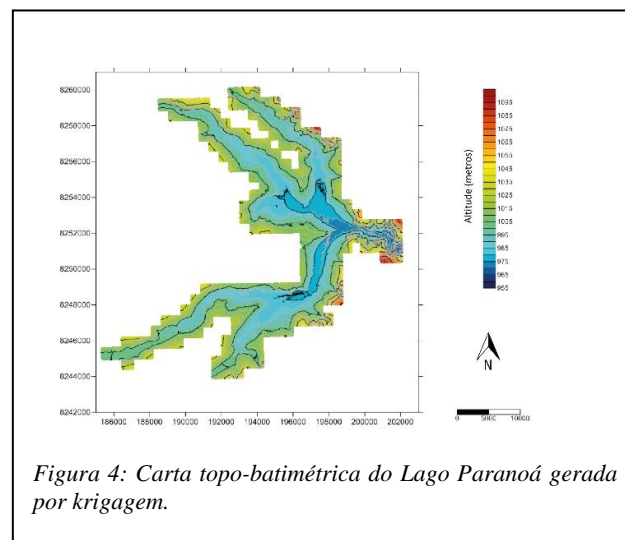


Figura 4: Carta topo-batimétrica do Lago Paranoá gerada por krigagem.

Conclusões

A integração dos dados batimétricos e de perfilagem a Laser, para a construção da carta topo-batimétrica, mostraram-se eficazes no cálculo de volume e área do Lago Paranoá. De acordo com os resultados obtidos, é possível observar uma perda volumétrica de 6.4% do volume original do Lago, equivalendo a uma taxa de assoreamento de cerca de 563.774.58 m³ por ano. Os dados são coerentes, portanto, o método descrito é uma ferramenta útil para o mapeamento e manejo de reservatório.

Agradecimentos

A parceria entre a Universidade de Brasília e a ADASA que financiou a execução desse projeto. Ao Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA/IG/UnB) pela disponibilização dos equipamentos geofísicos, e ao professor Marco, pela orientação e apoio para o desenvolvimento do projeto.

Referências

- Dias, L. T. (2011). Modelagem do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá – DF: 1998-2020.
- Grejner-Brzezinska, D., R. Li, H. Haala, and C. Toth, 2004. From mobile mapping to telegeoinformatics: Paradigm shift in spatial data acquisition, processing and management, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 70, No. 2, pp. 197–210.
- Hosseini, M., & Ashraf, M. A. (2015). Application of Hydrological Models Related to Land Use Land Cover Change. In: *Application of the SWAT Model for Water Components Separation in Iran*. Springer Hydrogeology, pp. 1:32, <https://doi.org/10.1007/978-4-431-55564-3>
- Rowan, J. S., Goodwill, P., & Greco, M. (1995). Temporal variability in catchment sediment yield determined from repeated bathymetric surveys: Abbeystead Reservoir, U.K. *Physics and Chemistry of the Earth*, 20(2), 199–206. [https://doi.org/10.1016/0079-1946\(95\)00024-0](https://doi.org/10.1016/0079-1946(95)00024-0)
- Walling, D. E. (1999). Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. *Hydrobiologia*, 410, 223–240. <https://doi.org/10.1023/A:1003825813091>