

Mapeamento topo-batimétrico de reservatório utilizando LIDAR e batimetria no Lago Paranoá – DF.

Amanda Cecília Neuhaus Aguiar¹, Marco Ianniruberto², Welitom Rodrigues Borges³ and Henrique Llacer Roig⁴, Gabriela Nunes Turqueti⁵, Paulo Henrique Praça de França⁶

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 a fim de gerar uma carta topobatimétrica 3D, determinar a curva Cota x Área x Volume do reservatório e analisar sua evolução ao longo dos anos, desde sua fundação, utilizando para isso dados de 1960 e 2009. A aquisição foi realizada utilizando um ecobatímetro mono-feixe ODOM Echotrac CVM de dupla frequência (33-200kHz) e um ecobatímetro de alta resolução Teledyne Reason 7101. A carta topo-batimétrica foi gerada através da interpolação no software SURFER 13, utilizando o método *krigging*.

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.

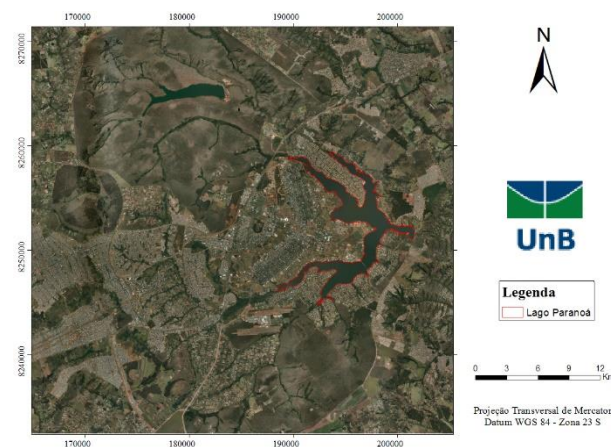


Figura 1: mapa de localização do Lago Paranoá

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). 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 adoção de uma aquisição 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

MAPEAMENTO TOPO-BATIMÉTRICO DO LAGO PARANOÁ - DF

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, quanto reduzidas a um datum vertical em comum, permitem a geração de um MDE sem discontinuidades 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 secção transversal á 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. 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 em 2016 e 2017. A aquisição utilizando o Single-Beam foi feita com um ecobatímetro de dupla frequência (33-200kHz) da ODOM Echotrac, modelo CVM. Para a navegação, foi utilizado o Software HYPACK 2010 e o sistema de posicionamento GNSS foi realizado pelo receptor Trimble DSM 232. A aquisição Multi-Beam foi executada utilizando o ecobatímetro Teledyne Reason 7101, o perfilador de som ODOM DIGIBAR Pro, e o MRU

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

Tabela 1: tabela de Cota x Área x Volume do /lago Paranoá.

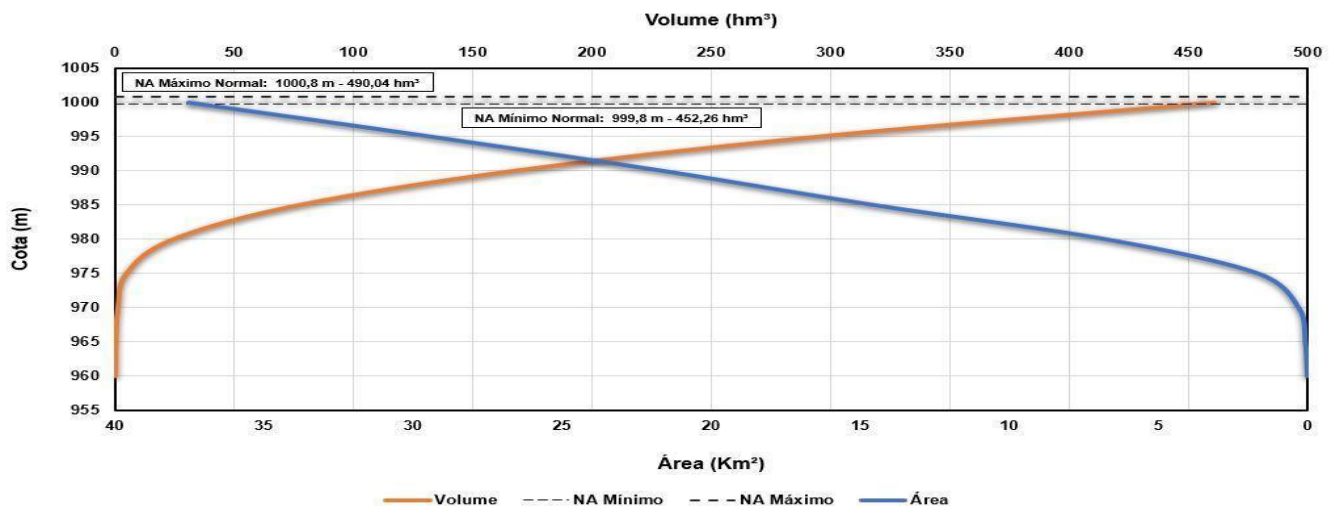


Gráfico 1: Curva Cota x Área x Volume do Lago Paranoá

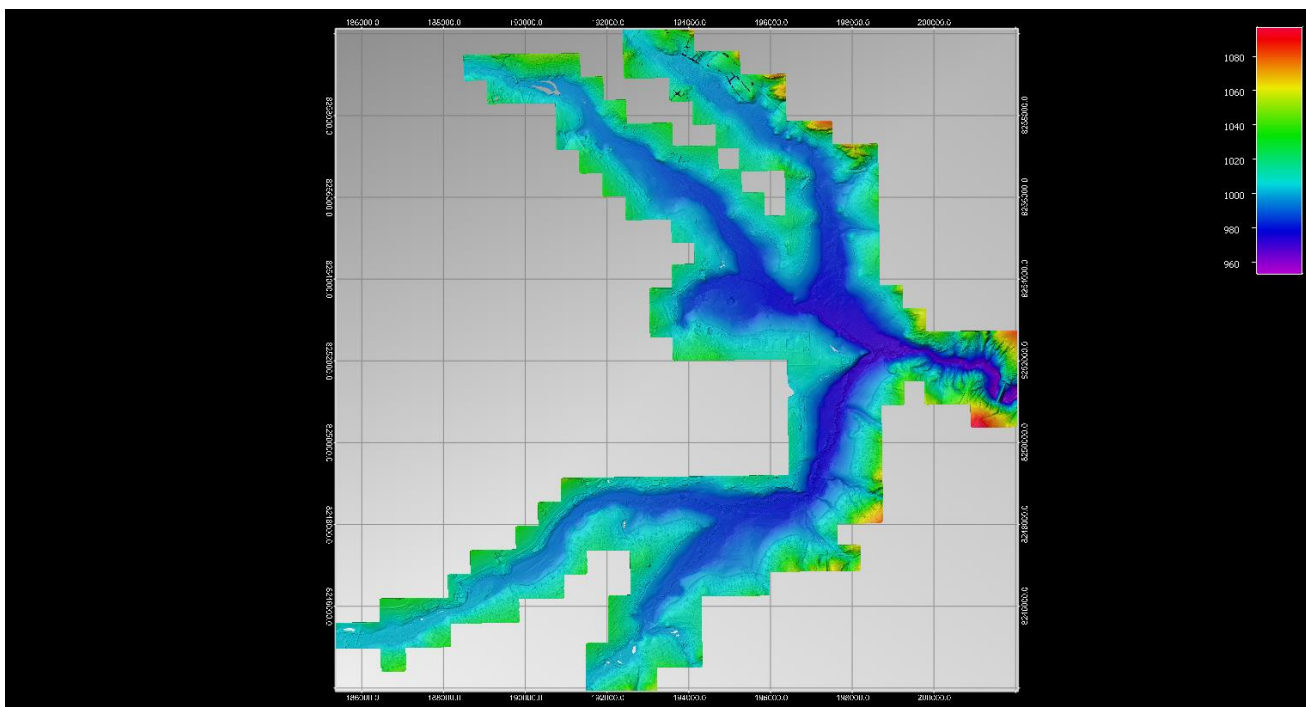


Figura 2: carta topo-batimétrica do Lago Paranoá gerado pelo software FLEDERMAUS.

(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 na *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.

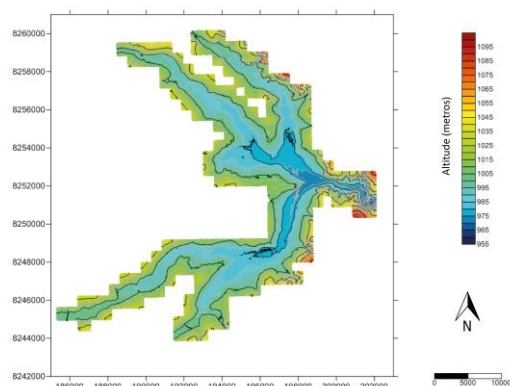


Figura 3: Carta topobatimétrica do Lago Paranoá gerada pelo software SURFER 13.

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.

A integração dos dados de batimetria e LIDAR gerou um mapa Topobatimétrico de resolução de 5 m² da região. A interpolação resultou em um Modelo Digital de Elevação (MDE), este foi gerado através do *software* Surfer 13 através da ferramenta *Grid Data*, o método de interpolação escolhido foi o *Krigging*, interpolador estocástico que faz uso da teoria da probabilidade, e incorpora critérios estatísticos na determinação do peso atribuídos às amostras no processo de cálculo da superfície, podendo incorporar a anisotropia do sistema na análise.

Por final, foi possível fazer um cálculo detalhado de volume e área do lago, possibilitando traçar, posteriormente, no Excel, uma curva Cota X Área X Volume do Lago Paranoá.

Resultados

A partir da interpolação dos dados batimétricos e de perfilamento laser processados, foi interpolado os dados no FLEDERMAUS (figura 1), posteriormente, foi gerado o *grid* (figura 2) no SURFER 13. Com o *grid* gerado, foi possível calcular o volume do reservatório, conforme a tabela 1, contendo informações de área e volume em função da cota. Através desta tabela, foi feita a curva Cota x Área x Volume do Lago Paranoá (gráfico 1).

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.

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

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

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.

Recomenda-se que sejam realizados levantamentos periódicos para refinar a estimativa da taxa de sedimentação, de modo que seja possível realizar um monitoramento minucioso do volume útil do reservatório e aporte de sedimento.

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

- 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>
- Dias, L. T. (2011). Modelagem do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá – DF: 1998-2020.