



Estudo do assoreamento do Lago Paranoá (DF) com método acústico

Eduarda de Lima Araujo¹, Marco Ianniruberto¹, Henrique Llacer Roig¹

¹ Instituto de Geociências, UNB

Copyright 2023, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 18th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 October 2023.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 18th 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.

Abstract

The erosive processes that occur in the hydrographic basins of water courses are the main source of materials supplied to the source of resorption in reservoirs, where the low energy of the water flow causes eroded materials to be deposited, creating layers of sediments and reducing the useful volume. The main consequences are: reduction in energy generation potential; reduction of the navigable area; flooding; abrasion of structures; decrease in the speed of the water flow as a result of the dam and the growth of aquatic plants. (GUERRA, 1995).

This work presents the results of the research conducted in the discharge of the Córrego Riacho Fundo affluent in 2022, which has three different discharges: the sewage treatment station of the CAESB (Companhia de Água e Esgotos de Brasília) and two rain galleries, located southeast of the Basin of Lake Paranoá, with the purpose of studying the absorption through estimates of sedimentary variation using acoustic methods through the equipment: single-beam and ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) model Sontek M9.

The objectives of the work were: to evaluate the deposition of sediments in the submerged area, by means of measurements with acoustic method; to integrate measures made with traditional single-beam and ADCP, installed on an autonomous boat, for covering the slimmer areas; to measure the sedimentary variation of the bottom of the underwater area accumulated over five years; to compare the bathymetric measures of the Single-Beam with that of the ADCP model M9. As a result, it was possible to verify that the bed of the study area is changing due to the absorption caused by the flow of sediments from its effluents.

The integration of measurements carried out with an autonomous boat, equipped with the ADCP Sontek M9, and the manned boat with the Odom Echotrak ecobatometer, proved efficient in bathymetric collection in flat locations, with consistent results.

Introdução

O transporte de sedimentos por meios fluviais dos continentes para os oceanos é um fator importante para o

equilíbrio de vários processos geológicos e bioquímicos do planeta Terra. Apesar disso, a magnitude desse fluxo ainda é uma questão indefinida, podendo variar de 9,3 Gt/ano a mais de 58 Gt /ano. Esses resultados emergem de uma mistura de suposições, abordagens e incertezas de estudos globais onde as estimativas foram baseadas: na erosão do solo, no transporte de sedimentos e na análise multi-temporal da variação do fluxo no estudo de bacias hidrográficas (VÖRÖSMARTY, 2003).

As estimativas do real fluxo de sedimentos são dificultadas devido: à falta de disponibilidade e confiabilidade de dados sobre a carga de sedimentos dos rios; ausência de informações sobre o transporte de carga de leito para os seus afluentes; a existência de diversos rios sem medição e incertezas quanto a propagação de sedimentos que alcança os oceanos; compreensão insuficiente das influências compensatórias do aumento do fluxo de sedimentos provenientes da erosão, induzido pelas ações antropogênicas; diminuição da entrega de fluxos sedimentares causada pelo desvio do fluxo, e retenção de sedimentos em reservatório (VÖRÖSMARTY, 2003; WALLING, 2006). Em decorrência dessas dificuldades de informações sobre o transporte de carga de fundo, a maioria das estimativas de transporte do fluxo oceânico está relacionada com os sedimentos em suspensão, que dominam as estimativas de fluxo total tornando-a imprecisa (VÖRÖSMARTY, 2003; WALLING, 2006).

O aumento populacional humano fez com que várias áreas do mundo passassem por rápidas mudanças intensificando os processos de assoreamento e erosão, consequentemente interferindo nas mudanças no fluxo sedimentar. A implicação mais importante do aumento da erosão é a degradação do solo, um processo natural e gradual que se intensifica devido às consequências das ações antropogênicas, ameaçando as capacidades básicas da produção de alimentos em diversas partes do mundo (THEODORO, 2021).

O assoreamento é um processo natural da deposição dos materiais sedimentares sólidos transportados pelo curso d'água, o qual é acentuado devido às ações humanas, como no caso da construção de reservatórios hídricos. A deposição dos sedimentos assoreados ocorre em rios, lagos e reservatórios onde são transportados pelos processos de carga suspensa (argila, silte e areia muito fina) ou arraste em grãos de sedimentos de maior granulométrica. Os dois modos dependem da velocidade do fluxo d'água e da taxa sedimentar (FONSECA, 2011).

Por questões ambientais, imposição de normas legais e custos econômicos de recuperação, é incentivada a busca por uma abordagem mais equilibrada do uso do solo a fim de minimizar ou reverter os processos de degradação e o aumento do assoreamento. Mostrando a

necessidade de estudar as variações sedimentares em diferentes vias de fluxo d'água para a melhor compreensão do sistema global, da degradação do solo e do assoreamento (THEODORO, 2021).

A bacia hidrográfica São Bartolomeu faz parte da ecorregião do planalto central situada no Cerrado, a qual corresponde a 7,84% do bioma. Está parcialmente inserida na região do Distrito Federal integrando o entorno, apresenta grande diversidade geomorfológica e importância socioeconômica e ambiental. Abrange uma área de aproximadamente 2.670 km² (DF) e 2.810 km² (GO), onde sua área de drenagem equivale a 5.480 km² (Figura 1) (SOUZA, 2013).

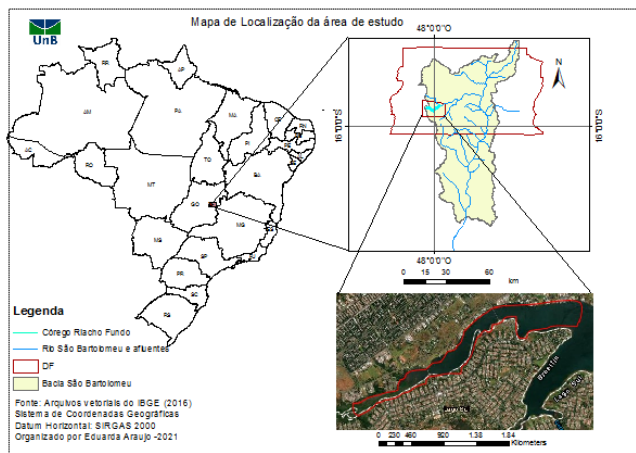


Figura 1- Mapa de localização do braço do Riacho Fundo pertencente à bacia de São Bartolomeu

O Trabalho apresenta resultados da pesquisa realizada no espelho d'água do Lago Paranoá próximo à foz do Córrego do Riacho Fundo, que conta também com a contribuição dos efluentes gerados pela estação de tratamento de esgoto da CAESB (Companhia de Água e Esgotos de Brasília) e de duas galerias pluviais, com o propósito de estudar o assoreamento através de estimativas da variação sedimentar utilizando métodos acústicos.

Metodologia

A batimetria tem como objetivo efetuar medições de profundidade associadas à posição da embarcação na superfície da água, buscando representar a morfologia de áreas submersas em um modelo digital do assoalho do corpo hídrico. Seu resultado consiste em mapas com isóbatas (curvas formadas pela união de pontos de mesma profundidade) equidistantes verticalmente, georreferenciadas na planimétrica (X,Y), por meio do posicionamento GNSS, com profundidades estimadas por ondas acústicas. Neste trabalho foram utilizados os equipamentos batimétricos, Ecobatímetro Monofeixe Odom Echotrak e o ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) modelo Sontek M9.

Os equipamentos Ecobatímetro Monofeixe e ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) modelo M9 determinam o tempo do percurso de ida e volta da onda acústica do alvo (fundo do corpo hídrico, no caso do

ecobatímetro, ou difusor no caso do ADCP) até a superfície, dessa forma é possível calcular a espessura da coluna d'água ou a distância dos alvos, considerando a velocidade de propagação da onda de acordo com a equação: $D = v \cdot t/2$ onde D é profundidade, v é a velocidade da onda acústica na água e t/2 é o tempo de percurso da onda (ida e volta).

Neste trabalho foram utilizados:

O ecobatímetro, que mede o tempo decorrido de um pulso acústico, que é transmitido na água até o seu retorno para o transdutor após refletir no fundo, sendo utilizado para obter com alta precisão a espessura da coluna d'água;

O ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), que mede a velocidade da corrente mediante o efeito Doppler, permite também a medição da espessura da lâmina d'água em 4 feixes verticais. O ADCP foi utilizado acoplado num barco autônomo para medições batimétricas em águas rasas, buscando uma análise da comparação das profundidades geradas pela média dos quatro feixes inclinados do equipamento em relação à profundidade pontual medida do Ecobatímetro monofeixe.

Aquisição dos dados

A aquisição dos dados batimétricos foi realizada em uma campanha para o ecobatímetro monofeixe e duas para o ADCP modelo M9 em 2022.

A aquisição via ecobatímetro monofeixe foi realizada utilizando o *Single-Beam* de dupla frequência (33 - 200 kHz), apenas a frequência de 200 kHz foi utilizada, da ODOM Echotrak modelo CVM, para configuração do equipamento foi utilizado o *software E-chart*, para navegação utilizou-se o *software HYPACK 2018* e o sistema de posicionamento GNSS foi realizado pelo aparelho *Atlas LiNK GNSS Smart Antenna*.

Utilizou-se também, um notebook, duas baterias de 12V ligadas em série para a alimentação dos equipamentos e as sondagens determinadas pelo ecobatímetro ODOM Echotrak CVM permitiram a leitura digital em tempo real ajudando a guiar a navegação.

Na Figura 2 temos a sequência de aquisição que foi necessária para realizar a coleta dos dados.

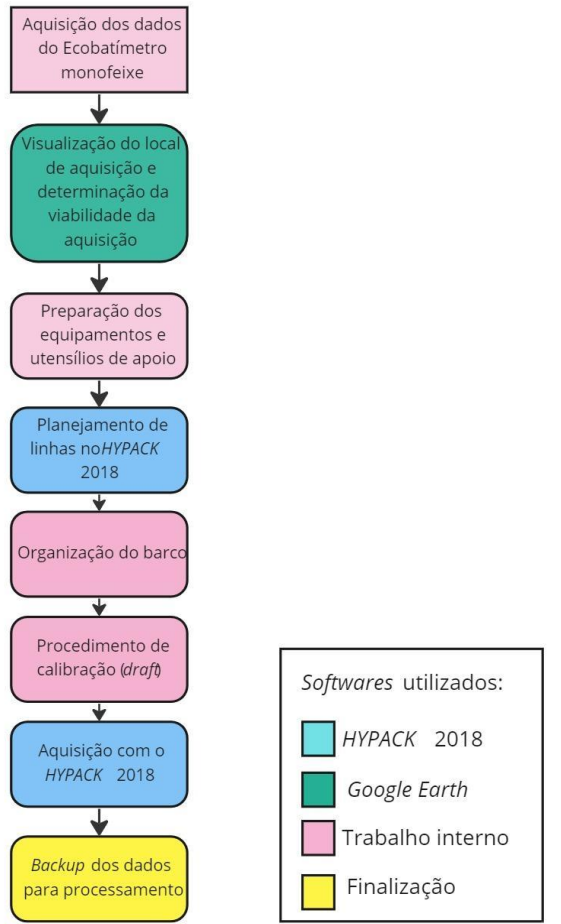


Figura 2 - Fluxograma de aquisição do Ecobatímetro monofeixe

Na Figura 3 é possível ver as linhas de aquisição realizadas no Braço do Lago Paranoá, Riacho Fundo, tendo 38 linhas NS, com o espaçamento de 20 m entre as linhas, e 4 linhas EW, com o espaçamento de aproximadamente 90 m entre as linhas. Para garantir a veracidade e a qualidade dos dados foram realizados procedimentos de calibração próximos à margem, onde foi medida de forma direta com um cabo de madeira e uma fita métrica a profundidade da margem para comparar com os valores medidos de forma indireta pelo ecobatímetro monofeixe.

Visando obter profundidades reais, foi necessário somar o valor da sondagem medida de forma direta com a profundidade de imersão do transdutor do ecobatímetro (*draft*). Com o valor do *draft* medido, foi possível fazer a calibração do equipamento para a aquisição adequada dos dados.

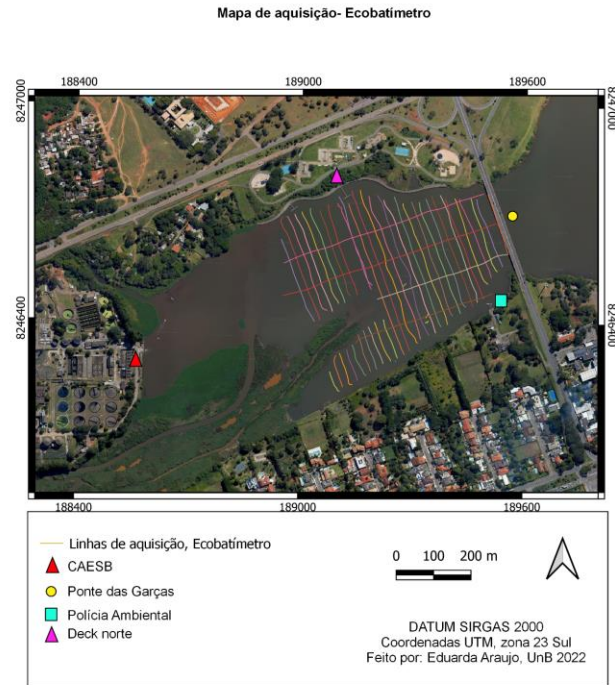


Figura 3- Mapa com as linhas navegadas no levantamento batimétrico monofeixe no braço Riacho Fundo

A aquisição batimétrica feita com o ADCP modelo M9 foi realizada de forma autônoma por um sistema de drone colocado no barco autônomo de aquisição. O software HYPACK 2018 foi utilizado para aquisição dos dados, o planejamento da aquisição autônoma foi feito pelo software Mission Player e o sistema de posicionamento foi o GPS NMEA 0183 com a conexão SonTeck M9 para relacionar a aquisição batimétrica com os 9 (nove) transdutores.

Para executar a aquisição batimétrica com o ADCP modelo M9 foi necessário um longo processo de conhecimento e testes para verificar a funcionalidade e a viabilidade desse equipamento no projeto. Todo o processo está expresso no fluxograma da Figura 4.

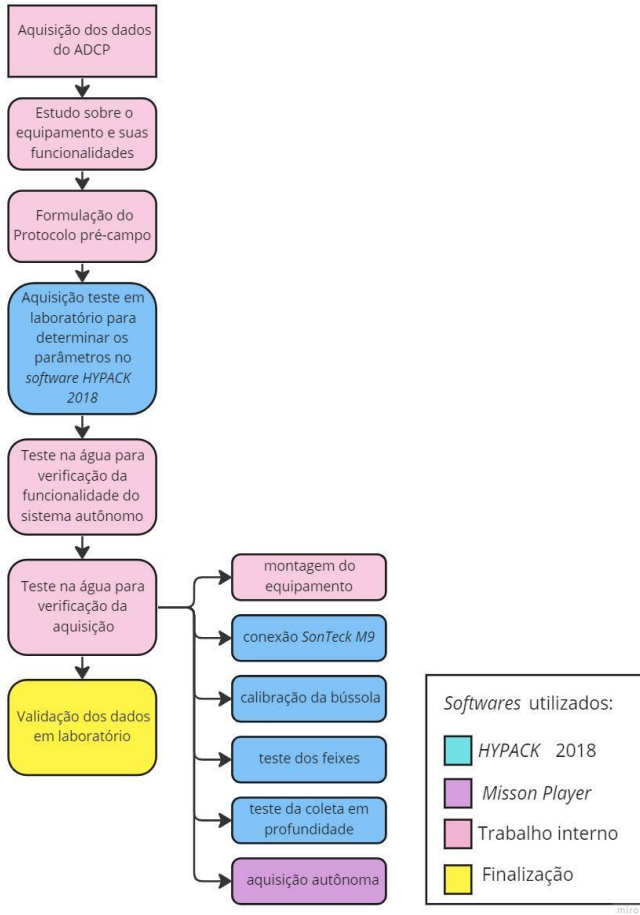


Figura 4 - Fluxograma de aquisição do ADCP- M9

Depois do estudo sobre a funcionalidade do equipamento foram feitos testes controlados em laboratório, para verificar a conexão do sistema de drones, utilizado para a movimentação autônoma do barco autônomo e a conexão do sistema M9 com o software de aquisição HYPACK 2018, além da preparação para fazer a aquisição batimétrica, não usual para o equipamento.

Após a montagem e a checagem de compatibilidade do sistema de aquisição com os softwares, foi feita a calibração da bússola e a checagem dos feixes com a frequência de aquisição de 3000 kHz. Com o sistema autônomo similar ao drone foi possível fazer a aquisição com pequenos comandos e de forma automática. Foram feitas 94 linhas de aquisição (Figura 5), a primeira e a segunda campanha tiveram o espaçamento de 10 m entre as linhas.

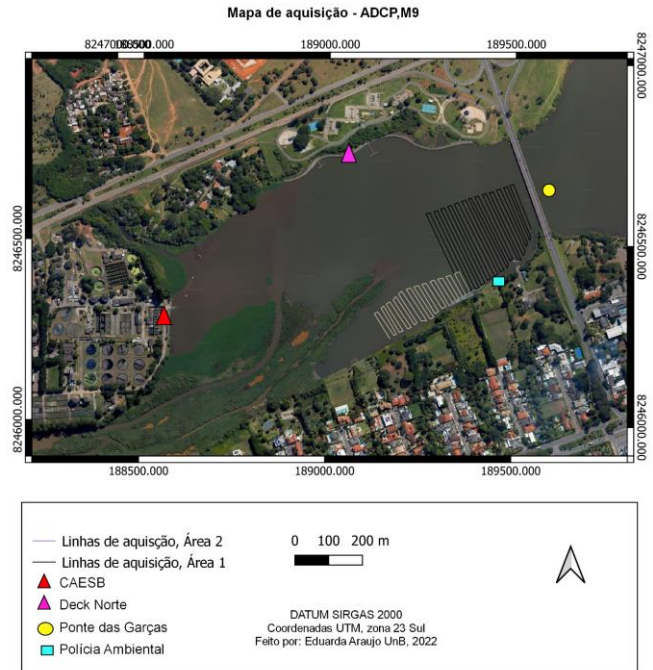


Figura 5- Mapa com as linhas navegadas no levantamento batimétrico ADCP modelo M9 no braço Riacho Fundo. Na figura 6 é possível ver a sobreposição das linhas de aquisição das três campanhas executadas nesse trabalho.

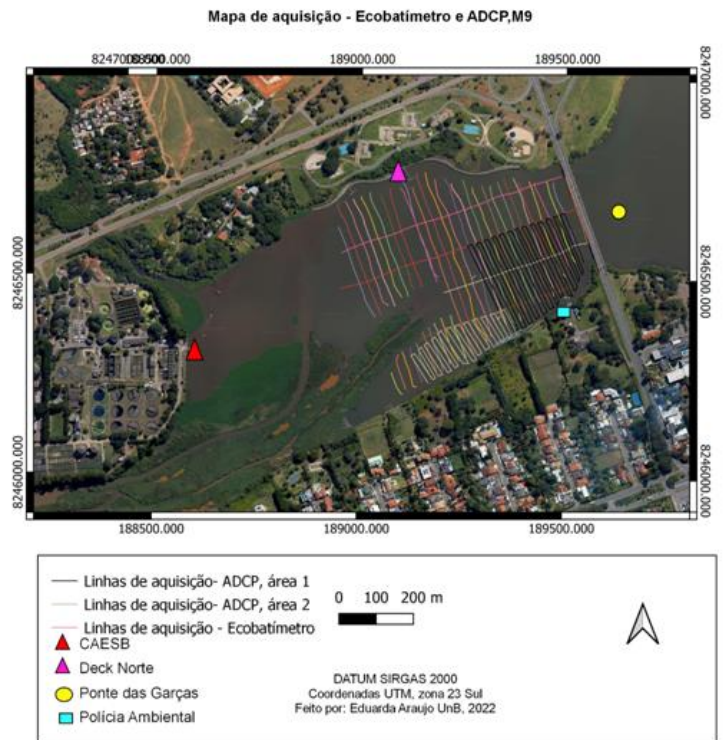


Figura 6– Mapa com as linhas de aquisição sobrepostas

Processamento dos dados geofísicos

As etapas de processamento do ecobatímetro monofeixe foram realizadas através do software HYPACK 2018 e o Surfer 13. As etapas estão representadas na Figura 7.

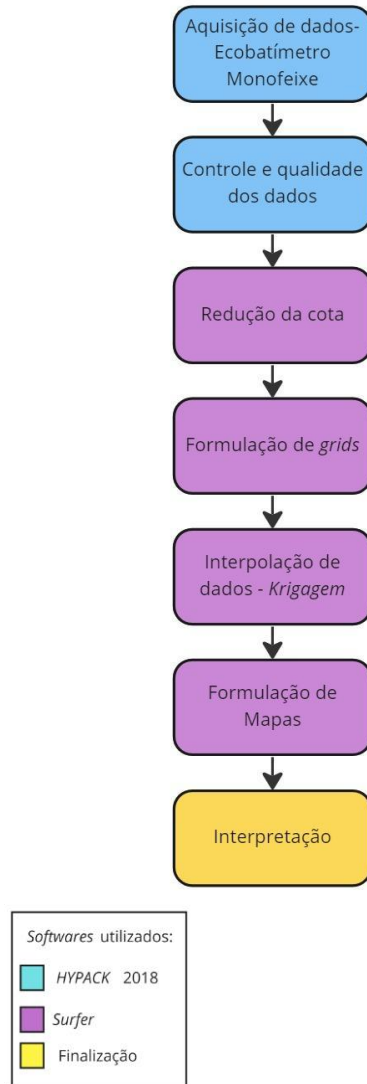


Figura 7– Fluxograma do processamento do Ecobatímetro Monofeixe

Foi feito um controle de qualidade dos dados, retirando *spikes* no software HYPACK 2018, através de uma filtragem manual. A redução à cota 1000 em referência a nível médio do mar, feita no software Surfer 13 com dados obtidos no portal da ADASA. Formulação de *grids* no software Surfer 13, com o tamanho da célula igual a 5m. A interpolação de dados com a técnica Krigagem no software Surfer, com o raio de busca de 50 m. Formulação do mapa de curva de nível para verificação das isóbatas com os valores das profundidades representados com uma escala de cor batimétrica.

As etapas de processamento do ADCP modelo M9 foram realizadas através do software HYPACK 2018 e o Surfer 13. As etapas estão representadas na Figura 8.

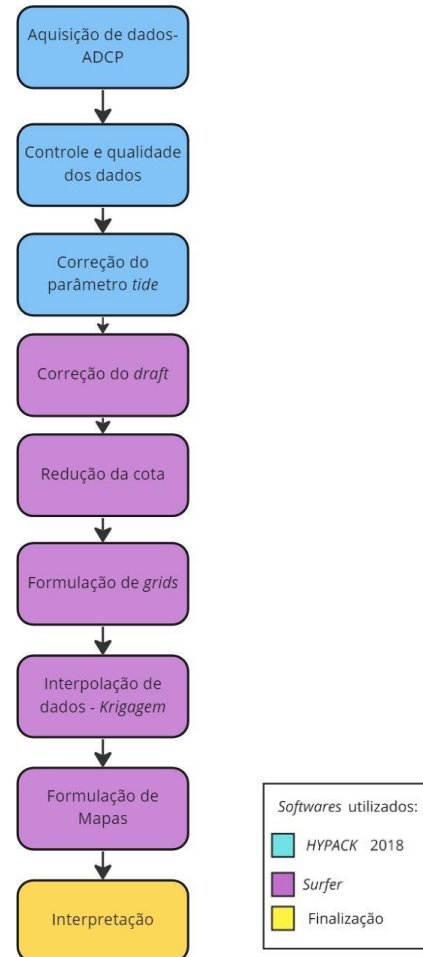


Figura 8– Fluxograma do processamento do ADCP-M9

Foi feito um controle de qualidade dos dados, retirando *spikes* no software HYPACK 2018, através de uma filtragem manual e automática. A correção do parâmetro *tide* no software HYPACK 2018.

O arquivo extraído do programa HYPACK 2018 é salvo em *XYZ e aparece como um bloco de notas com as coordenadas e a profundidade, sendo ainda necessário fazer correções no programa Surfer 13.

A correção do parâmetro *draft* de 0,30 m, referente a altura da antena de GPS acoplada ao barco autônomo da aquisição, foi observado no programa HYPACK 2018 e corrigido no banco de dados do Surfer 13, pois não foi possível retirar esse parâmetro no programa de aquisição.

Foi realizada a redução à cota 1000 em referência a nível médio do mar, no software Surfer 13 com dados obtidos no site da ADASA. A formulação de *grid* no software

Surfer 13, com o tamanho da célula igual a 5m. A interpolação de dados com a técnica Krigagem no software *Surfer*, com o raio de busca de 15 m. Além da formulação do mapa de curva de nível para cada campanha, para a verificação das isóbatas com os valores das profundidades representados com uma escala de cor batimétrica.

Para uma comparação dos bancos de dados coletados neste trabalho e em trabalhos anteriores foi necessário fazer etapas do processamento com todo o banco de dados. As etapas estão representadas na Figura 9.

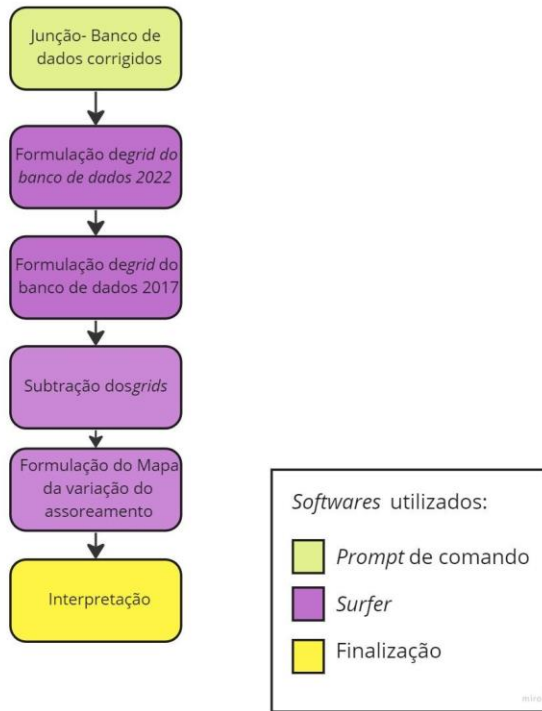


Figura 9– Fluxograma da formulação do resultado do assoreamento ao longo de 5 (cinco) anos.

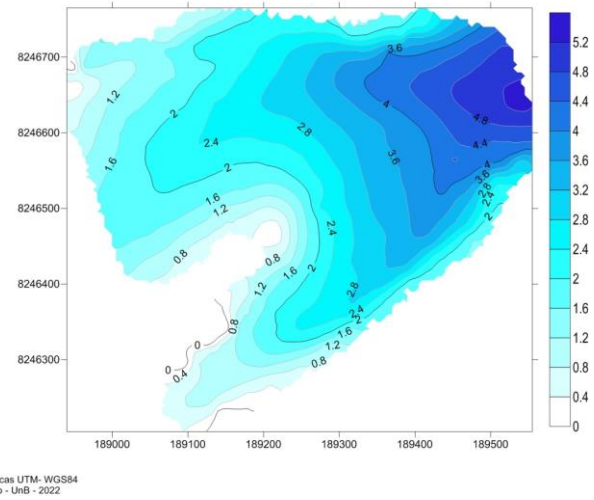
A formulação de um *grid* no software *Surfer* 13, com o tamanho da célula igual a 5m. A formulação do *grid* do banco de dados da pesquisa feita anteriormente em 2017 com o ecobatímetro monofeixe, com o tamanho da célula igual a 5m. A subtração do *grid* da pesquisa desse trabalho com o *grid* da pesquisa feita em 2017. Como resultado final foi feito o mapa da variação do assoreamento resultante de 5 anos.

Resultados

Os resultados da interpolação dos dados batimétricos estão representados nas figuras 10,11,12 e 13. As imagens mostram os valores de profundidade coletados nas três campanhas com dois equipamentos diferentes no deságue do córrego Riacho Fundo no Lago Paranoá. O equipamento ecobatímetro monofeixe percorreu toda a área possível de navegação, mostrando reverberações perto da estação de tratamento de esgoto da CAESB e limitações operacionais devido à quantidade

de galhos e a baixa profundidade para navegação (figura 10).

(a) Mapa de profundidade - Ecobatímetro monofeixe 2022

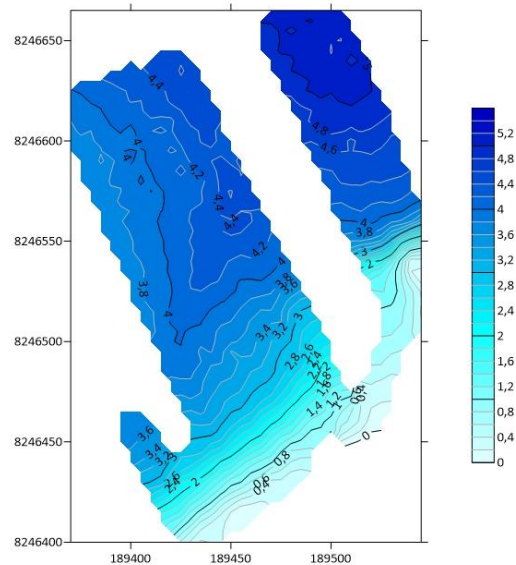


Sistema de coordenadas geográficas UTM- WGS84
Feito por: Eduarda de Lima Araujo - UnB - 2022

Figura 10– Mapa de Profundidade do ecobatímetro monofeixe 2022

O equipamento ADCP modelo M9 teve sucesso na aquisição, principalmente nas áreas mais próximas à margem, obtendo uma maior quantidade de dados com uma batimetria muito mais detalhada, sendo representado na figura 11 e 12

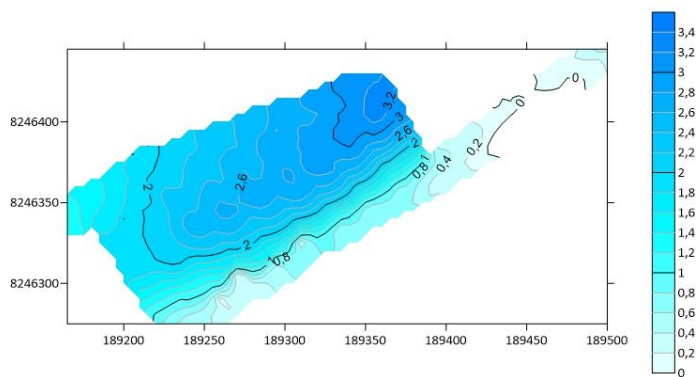
(b) Mapa de profundidade da área 1 - ADCP-M9



Sistema de coordenadas geográficas UTM- WGS84
Feito por: Eduarda de Lima Araujo - UnB - 2022

Figura 11– Mapa de Profundidade da área 1 feita com o ADCP modelo M9

(c) Mapa de profundidade da área 2 - ADCP-M9



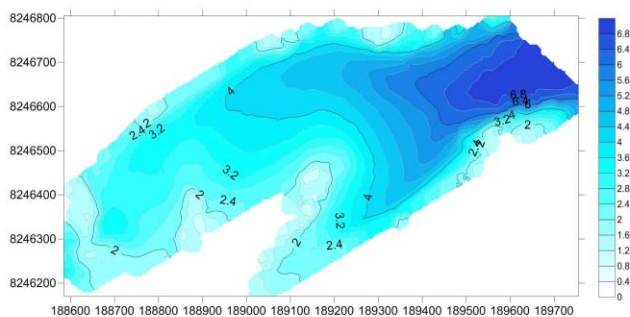
Sistema de coordenadas geográficas UTM - WGS84
Feito por: Eduarda de Lima Araújo - UnB - 2022

Figura 12– Mapa de Profundidade da área 2 feita com o ADCP modelo M9

Sobrepondo as áreas coletadas foi possível visualizar a diferença dos bancos de dados e a compatibilidade das cotas de 3 m e 4 m que se sobrepõem com exatidão, mostrando como o ADCP aplicado a batimetria tem resultados coerentes quando comparados ao Ecobatímetro Monofeixe.

A figura 13 mostra o mapa de profundidade medida com o ecobatímetro monofeixe em uma pesquisa realizada em 2017, por alunos e professores da UnB. No mapa é possível ver a continuidade da área navegável perto do efluente da estação de tratamento de esgoto da CAESB, localizada à esquerda do mapa, onde apresentava profundidades de até 2 m perto da estação. Muito diferente das profundidades encontradas na pesquisa desse trabalho que chegaram a 1,6m em um ponto distante do efluente.

Mapa de profundidade - Ecobatímetro monofeixe 2017

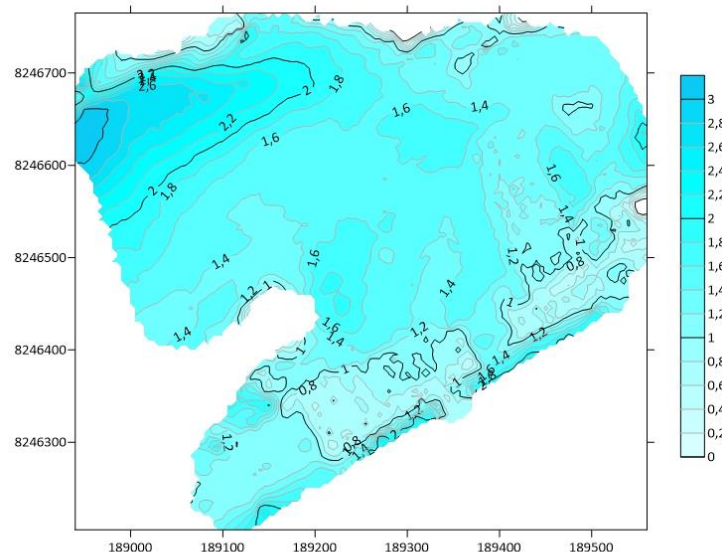


Sistema de coordenadas geográficas UTM - WGS84
Feito por: Eduarda de Lima Araújo - UnB - 2022

Figura 13– Mapa de Profundidade medida com o Ecobatímetro monofeixe em 2017

No mapa da figura 14 é apresentado o resultado da comparação dos bancos de dados coletados em 2022 e 2017 na mesma área de estudo. Nele é possível visualizar a variação do assoreamento de 3 m na região do efluente da estação de tratamento de esgoto da CAESB, evidenciando a comparação anterior perceptível nas figuras apresentadas.

Mapa de profundidade da variação do assoreamento



Sistema de coordenadas geográficas UTM - WGS84
Feito por: Eduarda de Lima Araújo - UnB - 2022

Figura 14– Mapa da variação do assoreamento entre 2017 (monofeixe) e 2022 (monofeixe e ADCP -M9)

Conclusões

A batimetria é um método efetivo para controle dos processos de sedimentação, para a avaliação multi-temporal do volume do reservatório e determinação da área assoreada (TÚLIO, 2011). Através dos dados coletados nesse trabalho, pela aquisição batimétrica feita com o ecobatímetro monofeixe e o ADCP modelo M9, comparados ao banco de dados coletados em 2017, foi possível determinar a variação de assoreamento no período de cinco anos da área onde ocorre o deságue do córrego Riacho Fundo.

Verificando que a área navegável diminuiu, a coleta de dados foi muito menor em comparação a 2017, como visto nas figuras 10, aquisição em 2022, e 13, aquisição em 2017. Com isso o banco de dados para a comparação da variação do assoreamento foi delimitado pelos dados coletados em 2022.

Observando a figura 14, mapa da variação do assoreamento, foi possível perceber que temos a maior variação na zona do efluente da estação de tratamento de esgoto da CAESB, chegando a 3 m e nas bordas, 1,2 m.

Avaliando a região da desembocadura do córrego Riacho Fundo, observa-se que a barra de sedimentos que delimita o canal avançou significativamente ao comparar os dados coletados em 2022 com o banco de dados de 2017.

O modelo batimétrico gerado com o ADCP M9 se mostrou muito acurado ao mapear regiões menos acessíveis, como as margens do lago, conseguindo coletar dados a partir da profundidade mínima de 0,20 m,

além de ser muito mais denso devido à maior taxa de aquisição. Já o banco de dados do ecobatímetro monofeixe teve a sua menor medida em 0,40, com uma menor densidade de pontos em comparação ao ADCP modelo M9.

Foi possível observar que a área teve um avanço significativo do assoreamento, evidenciado pela progradação da pluma de sedimentos, além da diminuição da área navegável perto da estação de tratamento de esgoto da CAESB. Observou-se também a confiabilidade dos dados e a alta precisão do equipamento ADCP modelo M9 com a aquisição feita de forma autônoma, tendo uma excelente sobreposição nas cotas de 3 e 4 m de profundidade.

O estudo sugere a necessidade de buscar uma gestão mais equilibrada do uso do solo na bacia hidrográfica do córrego do Riacho Fundo, a fim de minimizar ou reverter os processos de degradação e o aumento do assoreamento da região.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a UnB, o Professor Doutor Marco Ianniruberto pela orientação, paciência e auxílio. Agradeço ao Professor Doutor Henrique Roig pelo auxílio na aquisição e o desenvolvimento com o ADCP.

Agradeço também à empresa júnior Phygeo Júnior pelo auxílio no desenvolvimento desse projeto.

Esse trabalho foi possível graças o projeto da FAP-DF : "Afinal, qual é o estágio de assoreamento do Lago Paranoá e sua implicação para o uso múltiplo do lago? – O emprego de embarcação autônoma no levantamento topobatimétrico" presente no EDITAL 03/2018 – processo FAP-DF nº 00193-00000149/2019-51

Referencias

FONSECA, J. M. Assoreamento em reservatórios estudo de caso da represa do Ribeirão do Torto no Distrito Federal. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais, 2011.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1995

SOUZA, João Paulo Sena et al. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, escala 1: 100.000. 2013.

THEODORO, Suzi Huff et al. Remineralização de solos e recuperação de áreas degradadas: uma experiência na região tropical. *Journal of South American Earth Science*, v. 107, p. 103014, 2021.

TULIO¹, Sergio; GAMARO, Paulo Everardo Muniz; MALDONADO, Luiz Henrique. Avaliação do uso do medidor de vazão doppler com feixe vertical em levantamentos batimétricos. 2011.

VÖRÖSMARTY, Charles J. et al. Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global and planetary change*, v. 39, n. 1-2, p. 169-190, 2003.

WALLING, D. E. Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, v. 79, n. 3-4, p. 192-216, 2006.