



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO LAGO PARANOÁ COM
MÉTODO ACÚSTICO**

Discente: 15/0008848 Eduarda de Lima Araujo

Coordenador: Professor Doutor Marco Ianniruberto

Banca avaliadora:

Professor Doutor Henrique Roig
Professor Doutor Giuliano Marotta

BRASÍLIA, Novembro de 2022

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	6
AGRADECIMENTOS	7
RESUMO	8
1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral do trabalho	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
2. ÁREA DE ESTUDO	11
2.1 Contexto geológico-estrutural	13
2.2 Uso e ocupação do solo	15
2.3 Climatologia	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Sísmica de Reflexão	18
3.2 Impedância acústica e coeficiente de reflexão	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Método batimétrico	24
4.2 Equipamentos	26
4.2.1 Ecobatímetro	26
4.2.2 ADCP	27
4.3 Aquisição dos dados	28
4.4 Processamento dos dados geofísicos	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6. CONCLUSÕES	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de carga no transporte de sedimentos: carga em suspensão, carga de fundo e carga de íons dissolvidos – https://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/images/04load.jpg	11
Figura 2- Mapa de localização do braço do Riacho Fundo pertencente à bacia de São Bartolomeu	13
Figura 3– Mapa dos afluentes do lago Paranoá, modificado (ECHEVERRIA, 2007)	14
Figura 4– Mapa geológico-estrutural (ECHEVERRIA, 2007)	15
Figura 5 - Modelo de ambiente de sedimentação do Grupo Canastra (WALKER, 1984- modificado)	16
Figura 6– Mapa de classificação climática do Brasil, segundo o critério Köppen (1936) (ALVARES, 2013)	18
Figura 7- Mapa de precipitação total anual do Brasil (ALVARES, 2013)	19
Figura 8– Representação teórica do movimento das ondas de corpo (P e S) (CORRÊA, 2015)	20
Figura 9– Lei de Snell (GOMES, 2009)	22
Figura 10- Fluxograma do trabalho	24
Figura 11– Esquema representativo dos parâmetros e montagem da aquisição batimétrica monofeixe	26
Figura 12– Ilustração da funcionalidade do equipamento ADCP (GOTVALD E OBERG, 2008, modificado)	27
Figura 13– Esquema de aquisição e funcionamento do ecobatímetro monofeixe (KEARNS e BREAMAN, 2010)	27
Figura 14– Funcionamento do ADCP (LTG, 2013)	28
Figura 15– Sensores do ADCP modelo M9 (TÚLIO, 2011)	29
Figura 16 - Fluxograma de aquisição do Ecobatímetro monofeixe	30
Figura 17– Mapa com as linhas navegadas no levantamento batimétrico monofeixe no braço Riacho Fundo	31
Figura 18 - Fluxograma de aquisição do ADCP- M9	32
Figura 19 - Barco autônomo de aquisição com o ADCP modelo M9 e a antena de GPS	33
Figura 20– Teste controlado em laboratório	34

Figura 22– Fotos da aquisição feita com o ADCP modelo M9	36
Figura 23– Mapa com as linhas de aquisição sobrepostas	37
Figura 24– Fluxograma do processamento do Ecobatímetro Monofeixe	38
Figura 25– Fluxograma do processamento do ADCP-M9	38
Figura 26- Visualização dos dados corrigidos do ADCP - M9 no software HYPACK 2018	40
Figura 27- Visualização do banco de dados com a correção do Tide	40
Figura 28– Fluxograma da formulação do resultado do assoreamento ao longo de 5 (cinco) anos.	41
Figura 29– Mapa de Profundidade do ecobatímetro monofeixe 2022	42
Figura 31– Mapa de Profundidade da área 2 feita com o ADCP modelo M9	44
Figura 32– Mapa de Profundidade do Ecobatímetro monofeixe (a), ADCP-M9 área 1 (b) e ADCP-M9 área 2 (c)	45
Figura 33– Mapa de Profundidade medida com o Ecobatímetro monofeixe em 2017	46
Figura 34– Mapa da variação do assoreamento entre 2017 (monofeixe) e 2022 (monofeixe e ADCP -M9)	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Quadro chave de Classificação de Climática de Köppen simplificada por Setzer 1996 (ALVARES, 2013) 14

Tabela 2 . Parâmetros geoacústicas de sedimentos. Valores de velocidade do som de 1500 m/s e densidade de 1000 kg/m³, usando escala de Krumbein. Adaptado de APL, 1994. 19

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Professor Doutor Marco Ianniruberto pela orientação, paciência e auxílio durante toda formulação deste trabalho. Agradeço ao Professor Doutor Henrique Roig pelo auxílio na aquisição e desenvolvimento da aquisição com o ADCP. Agradeço o Professor Doutor Giuliano Marotta pelas orientações em banca.

Agradeço o apoio que tive do professor Lucas Barros , da professora Adriana Chatack Carmelo , do professor Elder Yokoyama e do professor Welitom Rodrigues Borges ao longo da minha formação.

Agradeço todo o apoio da minha família ao longo da minha graduação e confecção deste trabalho.

Agradeço a empresa júnior Phygeo que tornou toda a minha graduação mais leve e proveitosa.

Agradeço aos meus colegas de curso: Genesson Delmondes Castro, Aline Leite Jardim Oliveira, Ana Livia Coelho Neto, Arlissa Andressa Rodrigues de Souza, Daniela Serrão Liaffa, Erick Figueiredo Soares Nogueira, João Vitor Bonifacio Duarte, José Gabriel Cavalcante Inacio, Natan Roberto Silva de Moraes, Marcos Felipe da Costa Ferreira, Ana Clara de Araujo Sousa, Dhamaria da Silva Machado, Gabriel Barbosa Fernandes, Helen Christina Misaki Kubota, Itallo Clementino Ramalho Rodrigues, Italo Rafael de Souza Melo, Italo Rafael de Souza Melo, Maria Luísa Nogueira Nascimento, Celso Guerra Lemos, Douglas Carvalho Muniz, Rebecca Oliveira Prado e Yuri Tenenblat Braga.

Agradeço também: Eduardo Xavier Seimetz, Péricles de Brito Macedo, Antônio Mendes de Carvalho, Sérgio Paulo Ferreira de Brito e José Maurício Lages Diana.

RESUMO

O processo erosivo de um recurso hídrico é a principal fonte dos materiais fornecidos para a origem do assoreamento, onde a baixa energia do fluxo hídrico faz com que os materiais erodidos sejam depositados, diminuindo a distância entre as margens e/ou criando bolsões de sedimentos. As principais consequências do assoreamento são: redução do potencial energético; redução da área navegável; enchentes; erosão; abrasão de estruturas; redução da velocidade do curso d'água em consequência do represamento e o crescimento de plantas aquáticas (GUERRA, 1995). Este trabalho final de curso apresenta resultados da pesquisa realizada no deságue do afluente Córrego Riacho Fundo em 2022, que conta com três diferentes efluentes: estação do tratamento de esgoto da CAESB (Companhia de Água e Esgotos de Brasília) e duas galerias pluviais, situado a sudeste da Bacia do Lago Paranoá, com o propósito de estudar o assoreamento através de estimativas da variação sedimentar utilizando métodos acústicos através dos equipamentos : Ecobatímetro Monofeixe e ADCP modelo Sontek M9. Os objetivos planejados e encontrados neste trabalho foram: avaliar o acúmulo de sedimentos da área submersa, por meio de medições do método acústico; integrar medições efetuadas com ecobatimetria tradicional e ADCP, instalado em barco autônomo, para cobertura das áreas mais rasas; medir a variação sedimentar do fundo da área submersa acumulada ao longo de cinco anos; comparar a aplicação batimétrica do Ecobatímetro monofeixe com a do ADCP modelo M9. Como resultado foi possível verificar que a área de estudo está se modificando com o aumento do assoreamento e do fluxo de sedimentos dos seus efluentes. A região de acúmulo de sedimentos do deságue do córrego Riacho Fundo está se tornando mais acentuada e prolongada em comparação a dados do ano de 2017 coletados. A variação do assoreamento chegou a 2,8 m na comparação de 5 anos. O equipamento ADCP modelo Sontek M9 se mostrou muito eficiente na coleta batimétrica em locais pouco acessíveis para um barco, tendo resultados coerentes em comparação ao ecobatímetro monofeixe, mostrando ser um equipamento cujo o seu potencial de uso pode ser expandido.

Palavras-chave : ADCP, batimetria, monofeixe, assoreamento, Riacho Fundo, acústica.

1. INTRODUÇÃO

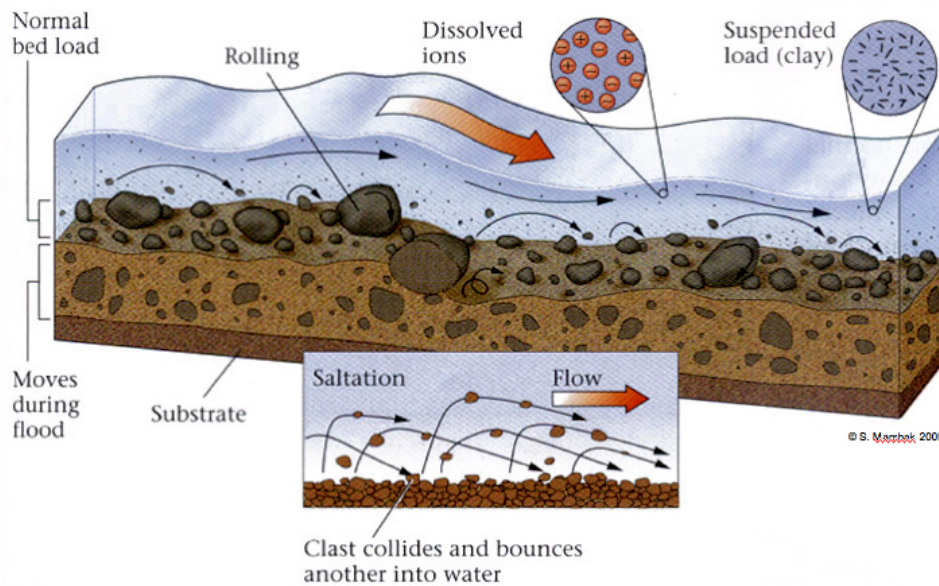
O transporte de sedimentos por meios fluviais dos continentes para os oceanos é uma das características fundamentais para a geologia e a bioquímica do nosso planeta. Apesar dessa importância, do alto volume de fluxos de sedimentos e de inúmeras tentativas de estimativas, a magnitude desse fluxo ainda é uma questão indefinida que pode 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 multitemporal 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, conseqüentemente 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 conseqüências das ações antropogênicas, ameaçando as capacidades básicas da produção de alimentos em diversas partes do mundo (THEODORO, 2021).

O assoreamento, processo que interfere nas mudanças do fluxo sedimentar, é um processo natural da deposição dos materiais sedimentares sólidos transportados pelo curso d'água, o qual é acentuado devido às ações humanas. 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 granulometria (figura 1). Os dois modos dependem da velocidade do fluxo d'água e da taxa sedimentar (FONSECA, 2011).

Figura 1- Tipos de carga no transporte de sedimentos: carga em suspensão, carga de fundo e carga de íons dissolvidos – <https://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/images/04load.jpg>



O processo de degradação em grandes porções do território brasileiro é uma realidade duradoura e relacionada ao modelo de desenvolvimento do país, baseado no uso intensivo, e muitas vezes não planejado, do solo, visando acomodar as crescentes atividades: agrícola, mineração e assentamento urbano. Essas ações elevam a taxa de erosão do solo em comparação com os processos naturais (THEODORO, 2021).

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).

O processo assoreamento pode ser estudado utilizando diferentes abordagens, tais como: modelagem por meio da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), que visa determinar o potencial de produção de sedimentos; coleta e análise de dados hidrosedimentométricos, avaliando o transporte de sedimentos; análise multitemporal de dados topobatimétricos feita através de algoritmo de interpolação (krigagem) resultando em modelos digitais de fundo e métodos geofísicos (TAVEIRA, 2012).

O Trabalho Final apresenta resultados da pesquisa realizada no deságue do afluente Córrego Riacho Fundo, que conta com três diferentes efluentes: estação do tratamento de esgoto da CAESB (Companhia de Água e Esgotos de Brasília) e duas galerias pluviais, situado a sudeste da Bacia do Lago Paranoá, com o propósito de estudar o assoreamento através de estimativas da variação sedimentar utilizando métodos acústicos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral do trabalho

O objetivo deste trabalho é estudar a teoria e a aplicação do método geofísico de sísmica de reflexão aplicando à avaliação do assoreamento de um braço do Lago Paranoá. Para isso, foram realizadas campanhas de medição batimétricas a fim de estimar a variação sedimentar proveniente do deságue do Córrego Riacho Fundo comparando dados de pesquisas anteriores.

1.1.2 Objetivos específicos

Aplicar de forma efetiva os seguintes equipamentos:

- Ecobatímetro monofeixe;
- *ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)* modelo M9.

Com o objetivo de:

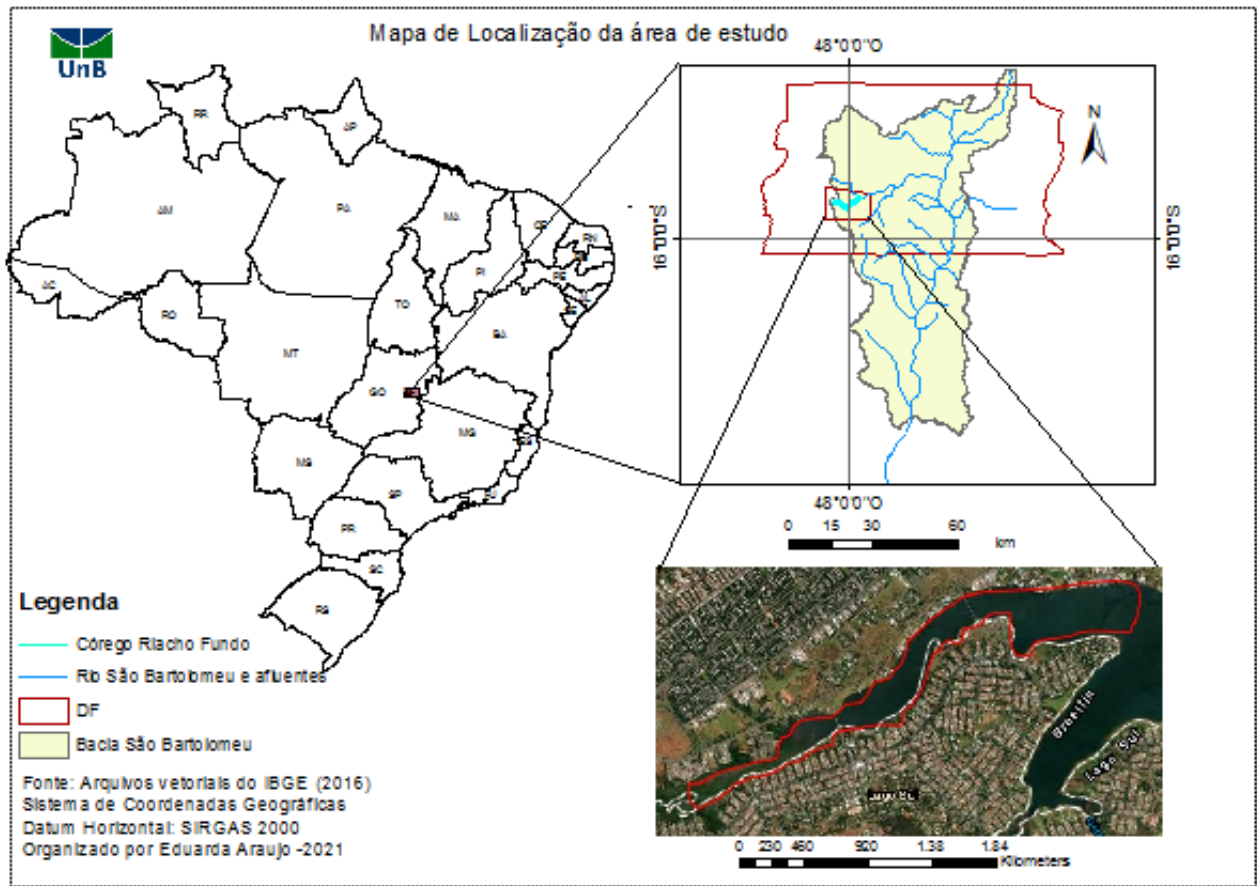
- Avaliar o acúmulo de sedimentos da área submersa, por meio de medições do método acústico;
- Integrar medições efetuadas com ecobatimetria tradicional e ADCP, instalado em barco autônomo, para cobertura das áreas mais rasas;
- Medir a variação sedimentar do fundo da área submersa acumulada ao longo de cinco anos;
- Comparar a aplicação batimétrica do Ecobatímetro monofeixe com a do ADCP modelo M9.

2. ÁREA DE ESTUDO

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 2) (SOUZA, 2013).

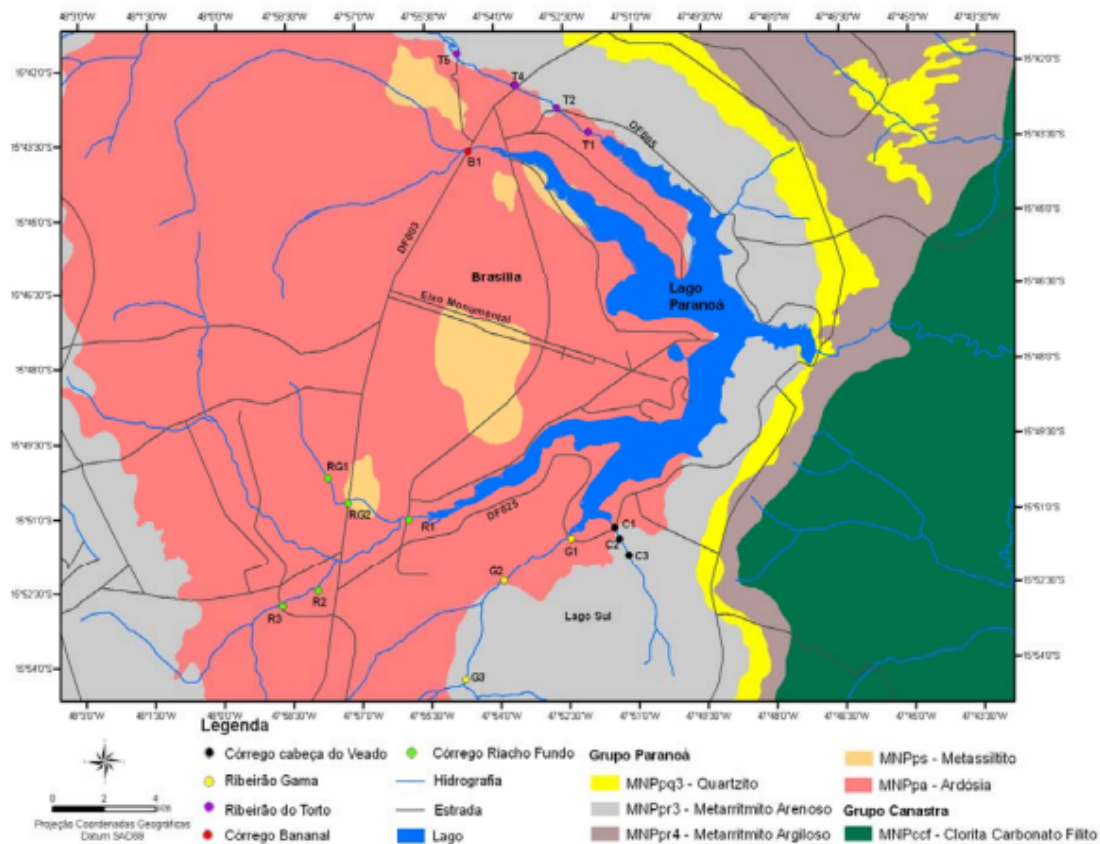
Figura 2- Mapa de localização do braço do Riacho Fundo pertencente à bacia de São Bartolomeu



Estima-se que a população das regiões administrativas e do entorno do DF cresceram 412% apenas na década de 90, aumentando o impacto das ações antrópicas tais como: desmatamento, uso excessivo do solo, poluição de corpos hídricos e aumento da produção agrícola (SOUZA, 2013).

Na bacia hidrográfica São Bartolomeu temos a bacia do Paranoá, formada pelas unidades hidrográficas: Bananal; Córrego Cabeça do Veado; Riacho Fundo; Santa Maria – Torto, Lago Paranoá e Ribeirão do Gama (ECHEVERRIA, 2007). Sendo a área de estudo deste trabalho a sub-bacia Riacho Fundo (Figura 3), Distrito Federal, com a área de 171,26 km², caracterizada por ocupações rurais e uma alta taxa de urbanização que interferem na quantidade de sedimentos presentes no fluxo d'água (MENEZES, 2010).

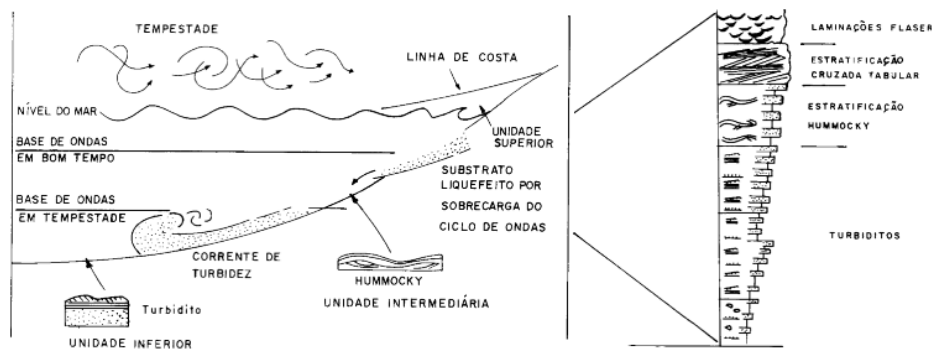
Figura 4– Mapa geológico-estrutural (ECHEVERRIA, 2007)



O grupo Canastra é formado por rochas pouco resistentes ao intemperismo associadas a regiões de depressão e vales encaixados. Aparece somente em duas formações: Paracatu e Serra do Ladim. A Serra do Ladim está localizada em Cristalina e Luziânia, formada por xisto e quartzo-sericita-clorita xisto. Já a formação Paracatu localiza-se no DF ao leste do Domo de Brasília com rochas sericita filitos, clorita filitos, quartzo-sericita-clorita-filitos, metarritmitos e filitos carbonosos (MARTINS, 2004).

As principais características das rochas do Grupo Canastra, é a sua granocrescência ascendente, demonstrada na gradação dos estratos argilosos da base, até os estratos arenosos localizados nas porções superiores. Suas estruturas sedimentares associadas, são: *hummocky*, indicam depósitos gerados durante tempestades, em plataforma marinha ; estratificações cruzadas e laminação *flaser*; marcas de ondas, descritas nos quartzitos superiores, geradas em ambiente dominado pela ação de ondas e de correntes de marés. Essas estruturas sedimentares demonstram um ambiente deposicional em plataforma marinha, com ciclo regressivo na Figura 5 (WALKER, 1984).

Figura 5 - Modelo de ambiente de sedimentação do Grupo Canastra (WALKER, 1984- modificado)



O grupo Paranoá está presente nas regiões mais preservadas da bacia, domos e chapadas, sendo as principais rochas: metarritmito, quartzito médio, metarritmito arenoso e ardósia. Essas rochas são resistentes ao intemperismo e são Meso-neoproterozoica (SOUZA, 2013). Os sistemas deposicionais do Grupo Paranoá, estão relacionados a condições marinhas, sendo a variação das proporções de materiais arenosos e argilosos relacionada a variações da profundidade da lâmina d'água, em função de ciclos transgressivos-regressivos (CAMPOS, 2013).

Em relação à questão geológica, a unidade hidrográfica Riacho Fundo nasce na Formação Ribeirão Contagem (unidade de quartzito médio), passa pela unidade Formação Serra da Meia Noite (Metarritmito Arenoso) e corta a Formação Ribeirão do Torto (ardósia). Todas essas unidades pertencem ao grupo Paranoá (AQUINO, 2018).

2.2 Uso e ocupação do solo

Segundo Anjos, 2012, o espaço urbano deve ser tratado numa perspectiva dinâmica tendo como referência o crescimento da cidade e sua urbanização, ressaltando a não homogeneidade do crescimento populacional. Entretanto, existe a premissa de que os problemas podem ser solucionados com o conhecimento e estudo das consequências de ações antropogênicas buscando meios de atenuá-las ou evitá-las.

No Brasil, a gestão de recursos hídricos é administrada pela PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos), que determina o monitoramento das bacias hidrográficas. Além disso, existe uma legislação nacional a qual define as chamadas APPs (Áreas de Preservação Permanente), cujo manejo pode impactar a dinâmica do balanço hídrico em função: da maneira como o solo é utilizado, do escoamento superficial, da infiltração e da evaporação da água, interferindo desta forma na qualidade das águas (TSUJI, 2014).

A bacia do córrego Riacho Fundo, localizada na unidade hidrográfica do Lago Paranoá no DF, estava em 2010 com 56,2 % de sua área com ocupações urbanas e 20,5% com uso agrícola. Já em 2016 a área urbana cresceu atingindo 59% e a área agrícola diminuiu chegando a 17% (TSUJI, 2014).

Segundo o estudo de Tsuji entre os anos de 2009 a 2016 ocorreu um avanço da ocupação urbana sobre as áreas que anteriormente eram destinadas a agricultura, o que já era esperado pelo fato da região administrativa Riacho Fundo I, que corta o córrego Riacho Fundo, ser uma das cidades com uma das mais altas taxas de crescimento no DF. O avanço da urbanização ressalta a importância de se estudar as águas dessa região para compreender os impactos das ações antrópicas na bacia, levando em consideração que as principais atividades antrópicas relacionadas de forma direta ao uso e ocupação do solo são: a indústria; às cidades; as atividades agropecuárias; entre outras ações humanas (TSUJI, 2014; ANJOS, 2012).

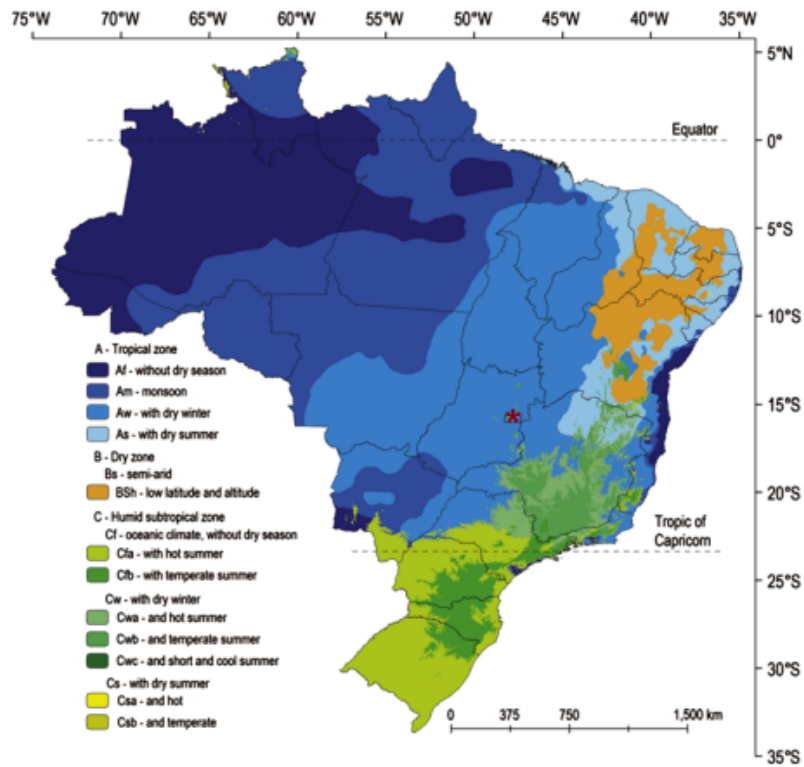
2.3 Climatologia

Levando em consideração a classificação climática de Köppen-Geiger (tabela 1) que é baseada principalmente na quantidade da distribuição de precipitação e temperatura, anual e mensal, os elementos de temperatura e precipitação constituem um critério para a divisão dos tipos de clima da região de estudo. Por se tratar de uma classificação climática com mais de um século, a classificação de Köppen passou por algumas adaptações de outros autores, como a de Setzer (1966), o qual simplificou a classificação criando uma chave classificatória sendo utilizada na confecção de mapas climáticos (Figura 6) (ALVARES, 2013).

Tabela 1– Quadro chave de Classificação de Climática de Köppen simplificada por Setzer 1996 (ALVARES, 2013)

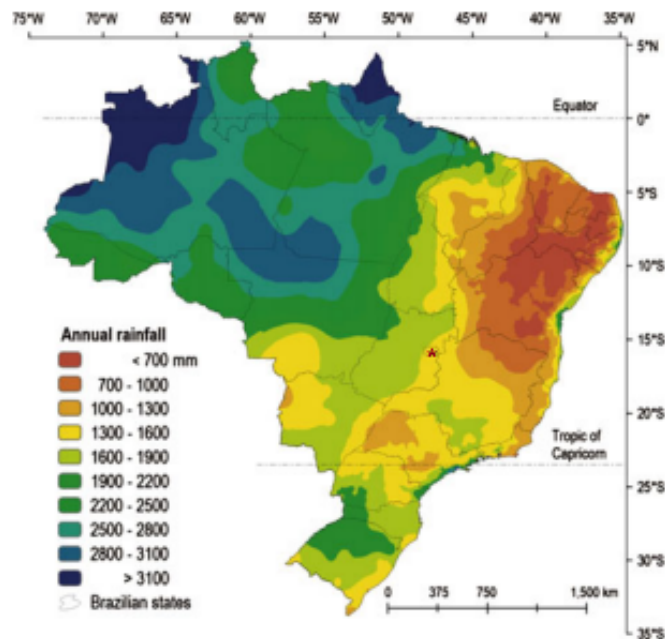
Temperatura média Normal		Total de chuva do mês mais seco (Pms)	Total de chuva anual (P)	Descrição do Tipo de Clima segundo Köppen (Climas Úmidos)		Símbolo	
do mês mais frio	do mês mais quente						
≥ 18°C	≥ 22°C	≥ 60mm	< 2500 - 27,27. Pms	TROPICAL	sem estação seca	Af	
		< 60mm			≥ 2500 - 27,27. Pms	TROPICAL com chuvas excessivas	Inverno Seco
< 18°C	< 22°C	< 30mm		SUBTROPICAL	Inverno Seco	Quente	Am
						Temperado	Cwa
	≥ 22°C	≥ 30mm			Quente	Cwb	
					Temperado	sem estação seca	Cfa
< 22°C				Cfb			

Figura 6– Mapa de classificação climática do Brasil, segundo o critério Köppen (1936) (ALVARES, 2013)



Segundo Alvares, 2013, utilizando a classificação de Köppen, o clima Aw (figura 6) foi observado em quase todo o Distrito Federal e região central, com chuvas entre 1.300 a 1.600mm ao ano, tendo temperatura média anual entre 19°C a 20°C (Figura 7).

Figura 7- Mapa de precipitação total anual do Brasil (ALVARES, 2013)



A bacia São Bartolomeu encontra-se no domínio morfoclimático do Cerrado no Distrito Federal. Com características de clima tropical de savana e estações chuvosas de outubro a abril, o verão acontece nos meses de novembro, dezembro e janeiro, sendo os meses mais chuvosos (AQUINO, 2018; SOUZA, 2013).

A precipitação média anual da região central do Brasil é de aproximadamente 1500mm, os meses de junho a agosto atingem uma média mensal de 50mm e os outros meses alcançam 320 mm de chuva. Nos períodos de inverno (21 de junho a 23 de setembro) a umidade pode chegar a níveis menores que 15 % (SOUZA, 2013).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

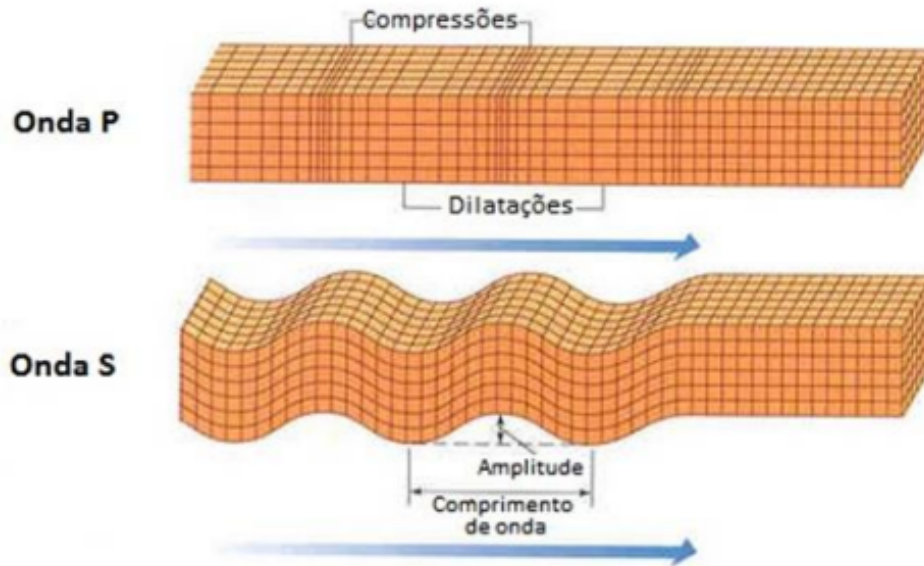
3.1 Sísmica de Reflexão

A sísmica de reflexão registra um tempo duplo das ondas emitidas da superfície que retornam após sofrerem reflexão em interfaces com contrastes de impedância acústica. A sísmica de reflexão reage a meios ou interfaces geológicas que normalmente apresentam baixos contrastes de impedância acústica e fortes atenuadores de sinais de alta frequência, tendo uma baixa relação sinal/ruído (SOUZA, 2006).

As ondas sísmicas são também chamadas de ondas elásticas ou mecânicas e percorrem o meio transmissivo de duas formas, pelas ondas de superfície e de corpo. As

principais ondas para o estudo da sismica de reflexão são as ondas de corpo especificadas como ondas P (primária) e S (secundária) (Figura 8). Estas ondas se propagam de forma radial deformando o meio por compressão e cisalhamento (CORRÊA, 2015).

Figura 8– Representação teórica do movimento das ondas de corpo (P e S) (CORRÊA, 2015)



No estudo da sismica de reflexão para o meio aquático estudamos a onda P, uma onda de compressão com maior velocidade, isto é, uma onda que comprime e expande o material na mesma direção de propagação da onda. O registro da onda P é fundamental para observar as mudanças nas velocidades das ondas mecânicas. Já a onda S, é mais lenta, tem características cisalhantes, movimenta o solo perpendicular à direção do movimento da onda, se propaga apenas através de sólidos (CORRÊA, 2015).

É importante compreender que o meio o qual as ondas se propagam pode ter diferentes características, tais como: ser homogêneo, velocidade de propagação constante na mesma direção; ser heterogêneo, a velocidade de propagação variável na mesma direção; isotrópico, propriedades físicas iguais em qualquer direção; anisotrópicos, quando as propriedades físicas variam, evidenciadas pelas variações das velocidades sísmicas (SHERIFF, 1995).

As ondas transmitidas por fontes acústicas são uma forma de energia mecânica que se propaga através do movimento de partículas em meio elástico na forma de energia cinética e potencial, sem transportar matéria. Em um meio elástico a velocidade de propagação da onda é influenciada pela: porosidade; composição mineralógica; fluidos; densidade;

temperatura e pressão. A propagação da onda está diretamente relacionada à elasticidade do meio, que permanece em equilíbrio estático até ser rompido ocorrendo a propagação de tensão e deformação no formato de ondas elásticas (CORRÊA, 2015).

A velocidade das ondas sísmicas P (equação 1) e S (equação 2) pode ser calculada através da seguinte equação:

$$V_p = \sqrt{\frac{k + 4\mu/3}{\rho}} \quad (1)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

Temos que: V_p é a velocidade de propagação da onda P; V_s é a velocidade de propagação da onda S; k é o módulo de compressibilidade; μ é rigidez do meio (para fluido o $\mu=0$); ρ são a densidade do meio o qual a onda está propagando.

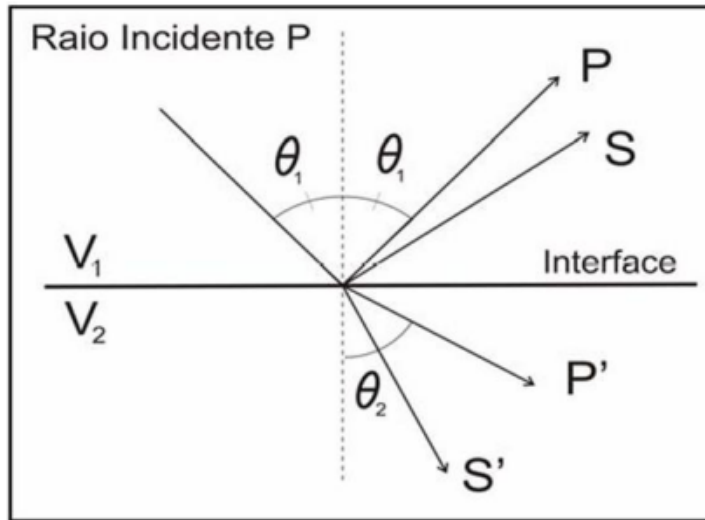
A velocidade de uma onda depende das propriedades inerciais e elásticas do meio. Lembrando da equação da velocidade: $V = \Delta s / \Delta t$, temos que a velocidade está relacionada a distância Δs e ao tempo Δt de percurso (GOMES, 2009).

Fenômenos como reflexão e refração ocorrem quando um sinal emitido por uma fonte acústica viaja pelo meio e ao atingir uma interface com uma propriedade física diferente (impedância acústica) refrata e/ ou reflete. Os fenômenos de reflexão e refração podem ser descritos pela Lei de Snell.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

A onda P incidente a uma interface se divide em duas componentes: uma onda refletida e uma onda refratada. A onda é refletida em uma velocidade V_1 com o ângulo de incidência θ_1 , e é refratada a uma velocidade V_2 com um ângulo θ_2 (Figura 9).

Figura 9– Lei de Snell (GOMES, 2009)



3.2 Impedância acústica e coeficiente de reflexão

Na aplicação de métodos geofísicos acústicos para investigação aquática a interação da onda emitida com o fundo e sua respectiva energia, resulta em fenômenos de reflexão especular e transmissão. A transmissão é a parte refratada da onda e a reflexão especular ocorre quando ocorre o espalhamento do feixe. (SIMÕES, 2007).

A quantidade da energia que será refletida ou transmitida depende: da diferença da impedância acústica entre os meios; do ângulo de incidência do pulso sonoro; da rugosidade do fundo, e de suas características físicas (porosidade, compactação, composição, teor de água intersticial, entre outros) (SIMÕES, 2007).

A impedância acústica é definida como o produto da velocidade da onda acústica com a densidade do meio, representando a resistência do meio à propagação da onda. Depende do módulo de compressibilidade, da rigidez e da densidade do meio, interferindo diretamente nos fenômenos de reflexão e transmissão da onda acústica (MARQUES, 2011).

O coeficiente de reflexão acústica é a diferença da impedância acústica (Z) entre dois ou mais meios. Sendo a variação da impedância e do coeficiente de reflexão em diferentes substratos a base para a aplicabilidade de métodos acústicos para investigação de áreas submersas. Quanto maior for a variação, maior será a energia do eco refletido (Equação 5) (AYRES, 2013).

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (5)$$

Temos na equação 5: o R como o coeficiente de reflexão, Z_2 a impedância acústica do meio 2 e Z_1 a impedância acústica do meio 1.

Os valores encontrados como resultado da equação 5 são utilizados para a determinação indireta das propriedades físicas do fundo e de seus respectivos parâmetros geoacústicos. A Tabela 2 exemplifica a relação de como o aumento do grão e densidade gera um aumento na velocidade de propagação da onda, resultando em um aumento da impedância acústica e maior reflexão da energia emitida ao fundo (CARAZZAI, 2015).

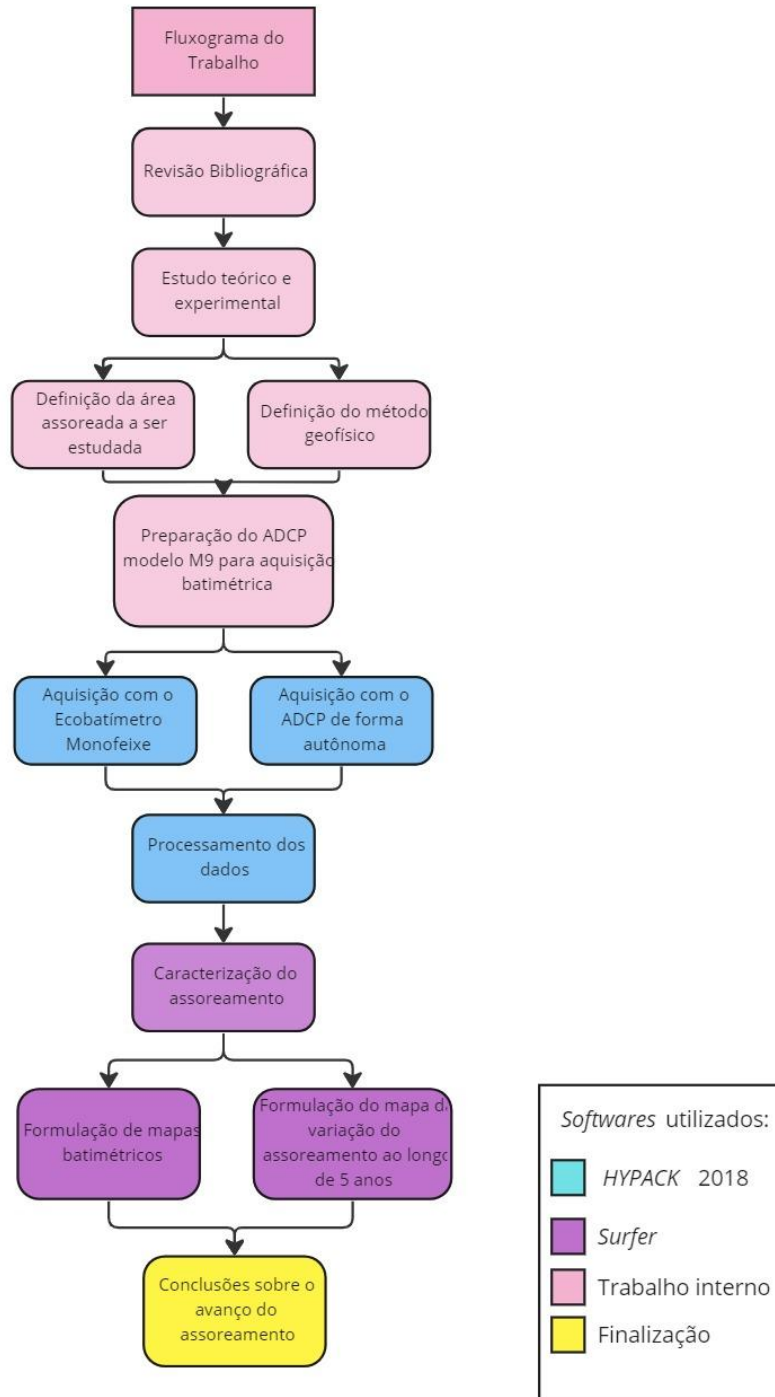
Tabela 2 . Parâmetros geoacústicas de sedimentos. Valores de velocidade do som de 1500 m/s e densidade de 1000 kg/m³, usando escala de Krumbein. Adaptado de APL, 1994.

	Argila	Silte muito fino	Silte fino	Silte médio	Silte grosso	Areia muito fina	Areia fina	Areia média	Areia grossa
Tamanho do grão (ϕ)	>8	7-8	6-7	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2	0-1
Densidade (kg/m³)	1145	1147	1148	1149	1195	1268	1451	1845	2231
Velocidade (m/s)	1470	1476	1479	1482	1523	1585	1661	1767	1875
R (0°)(dB)	0.058	0.060	0.062	0.063	0.096	0.145	0.233	0.370	0.472

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 10 exemplifica o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 10- Fluxograma do trabalho



4.1 Método batimétrico

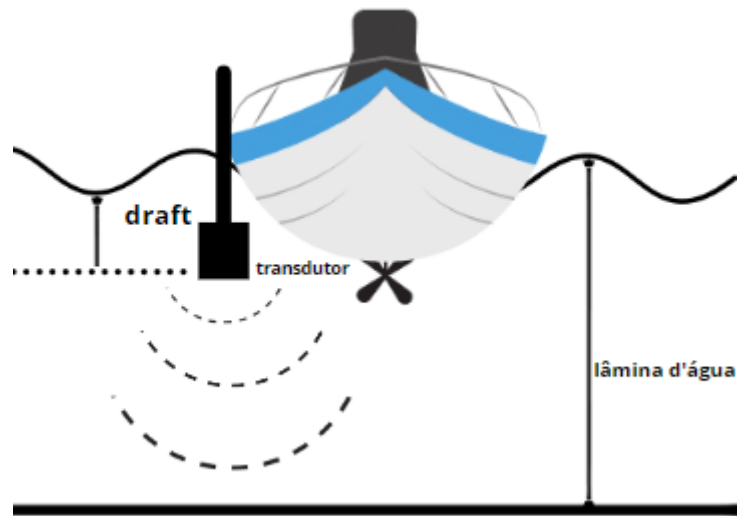
A batimetria tem como objetivo efetuar medições de profundidade associadas à posição da embarcação na superfície da água, sendo aplicada em áreas: marítimas, fluviais, em canais e lagoas. Esse método busca representar a morfologia de áreas submersas em uma carta batimétrica, sendo possível descrever a morfologia de fundo de um rio, reservatório, canal ou de um oceano. 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 pelo 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 .

Segundo Telford, 1990, a batimetria acústica utiliza do mesmo princípio da física na propagação de ondas em um determinado meio. O ecobatímetro tem como fonte um transmissor e um receptor acoplados no mesmo sistema, onde as ondas acústicas são emitidas por projetores de alta frequência, acima de 20 kHz, transmitidos através do meio aquático (Figura 11). O feixe da onda emitida na água atinge o fundo do meio hídrico e reflete, voltando à superfície. 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:

$$D = v * \frac{t}{2} \quad (6)$$

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).

Figura 11– Esquema representativo dos parâmetros e montagem da aquisição batimétrica monofeixe

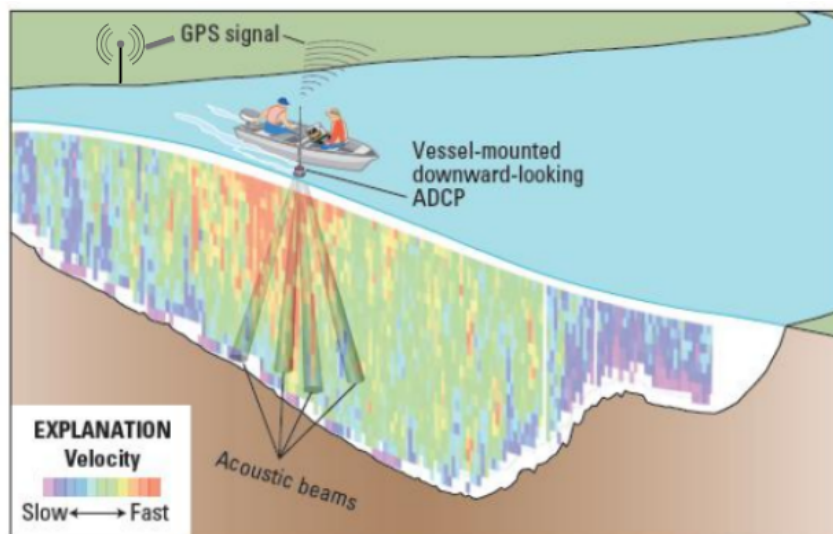


As profundidades são representadas por meio das isóbatas que possibilitam a visualização da topografia submersa, orientando a navegação. A coleta de medidas da profundidade pode ser feita de forma direta (uso do prumo de mão, máquina de sondar e estádias) ou indireta (emprego de sensores acústicos como o Ecobatímetro monofeixe ou multifeixe, sensores eletromagnético espacial ou aerotransportado) (GOMES, 2009).

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)* (Figura 12) que mede a vazão através do efeito *Doppler*, permite a medição da água em diferentes feixes verticais e estima a carga de sedimentos da região submersa, o qual foi utilizado acoplado num barco autônomo para medições batimétricas em águas rasas, buscando uma análise da comparação das profundidades geradas pela média dos quatros feixes inclinados do equipamento em relação a profundidade pontual medida do Ecobatímetro monofeixe.

Figura 12– Ilustração da funcionalidade do equipamento *ADCP* (GOTVALD E OBERG, 2008, modificado)

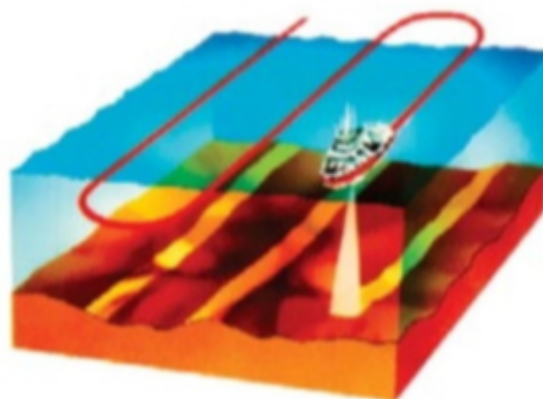


4.2 Equipamentos

4.2.1 Ecobatímetro

O ecobatímetro monofeixe (*single beam echosounder*) (Figura 13) consiste em quatro componentes: transmissor, receptor e sistema de controle e visualização. Seu levantamento é feito utilizando um sistema de ondas acústicas onde o monofeixe emite um pulso acústico determinando uma única cota de profundidade por ciclo da onda registrada. O resultado é apresentado por medições de profundidade representada por perfis onde é necessário interpolar os dados para as construções das isóbatas em locais não amostrados (TURQUETTI, 2016; STREET, 2000).

Figura 13– Esquema de aquisição e funcionamento do ecobatímetro monofeixe (KEARNS e BREAMAN, 2010)



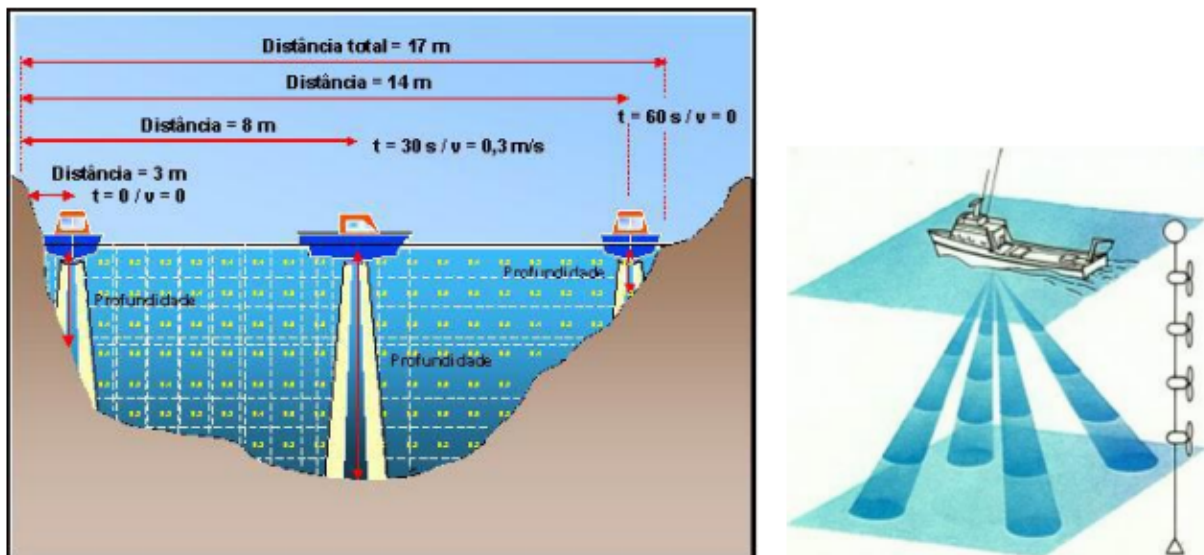
No levantamento batimétrico utilizando o ecobatímetro monofeixe, adota-se linhas de aquisição paralelas e perpendiculares às isóbatas do lago, adquirindo dados que irão

delinear as feições do fundo do reservatório, sendo possível a confecção de mapas. As linhas precisam seguir um padrão de distanciamento dependendo da escala e da resolução do produto desejado (EL-HATTAB, 2014).

4.2.2 ADCP

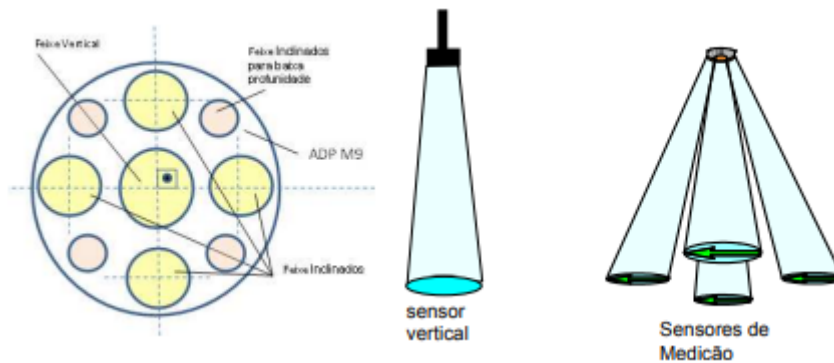
O ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) modelo M9 (figura 14) é um equipamento acústico que mede a vazão utilizando o efeito Doppler, fenômeno físico oscilatório que ocorre quando existe aproximação ou afastamento entre uma fonte de onda e um alvo, transmitindo pulsos sonoros de frequência fixa. É utilizado para a realização de levantamento batimétrico por permitir a medição da lâmina d'água em diferentes verticais (TÚLIO, 2011).

Figura 14– Funcionamento do ADCP (LTG, 2013)



Possui um transdutor vertical (feixe) e oito transdutores separados a cada 45° entre si e em 25° com a perpendicular (Figura 15). Dos oito transdutores, quatro são utilizados para perfilar velocidades em pequenas profundidades (menores que cinco metros) com frequências de 3MHz, e os outros quatro transdutores são utilizados para profundidades entre cinco a quarenta metros (frequência de 1MHz). O nono (frequência de 0,5 MHz) transdutor está disposto na vertical (perpendicular), para coleta de dados somente de profundidade pontual (TÚLIO, 2011).

Figura 15– Sensores do *ADCP* modelo M9 (TÚLIO, 2011)



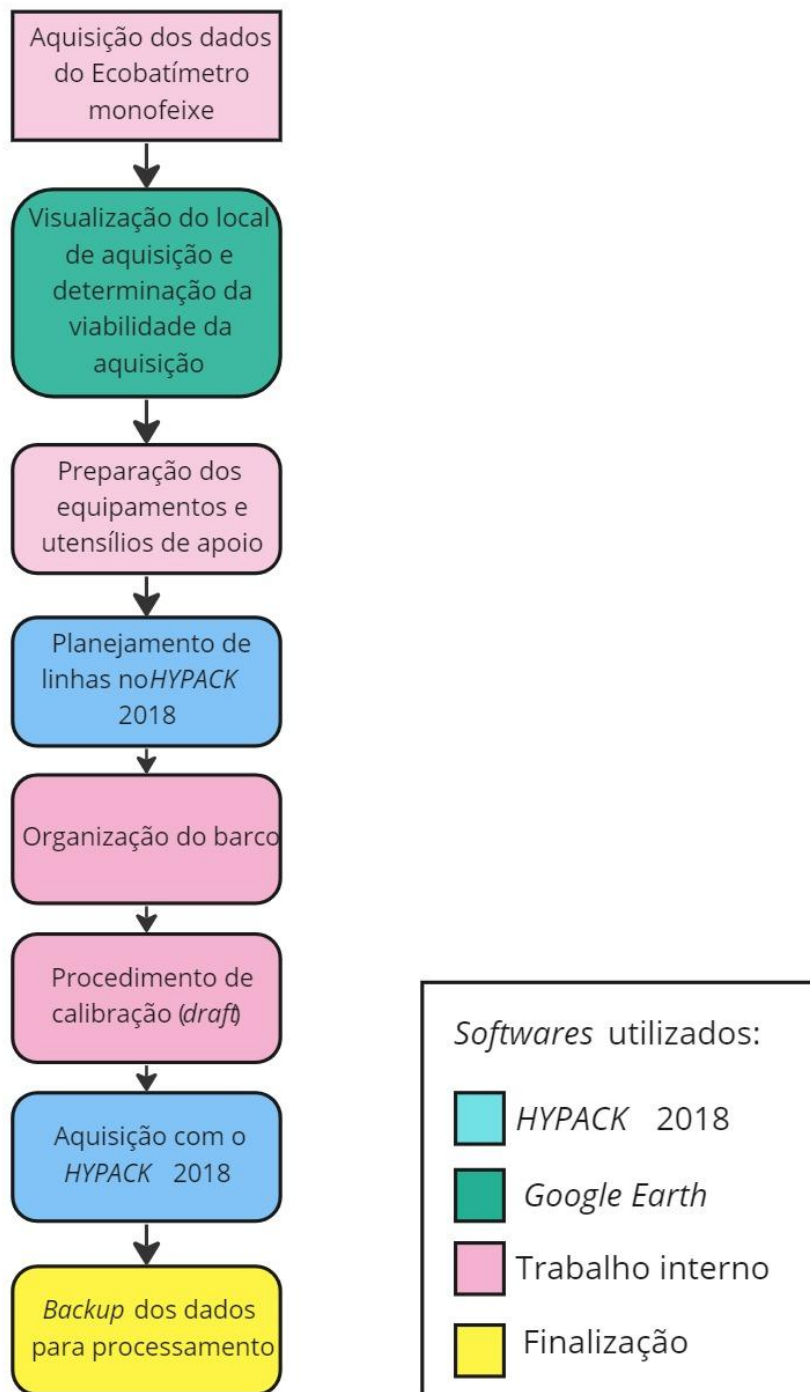
Na aquisição, o equipamento é fixado em um barco autônomo e conectado a um sistema de posicionamento, seguindo o planejamento de navegação previamente programado, sendo guiado por um controle remoto. O barco autônomo se move iniciando a aquisição em uma margem e terminando na outra ou percorrendo linhas paralelas com uma distância calculada. A embarcação deve percorrer de forma alinhada a batimetria utilizando pontos de referência (TÚLIO, 2011).

4.3 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 Echotrac* 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 Echotrac CVM* permitiram a leitura digital em tempo real ajudando a guiar a navegação. Na Figura 16 temos a sequência de aquisição que foi necessária para realizar a coleta dos dados.

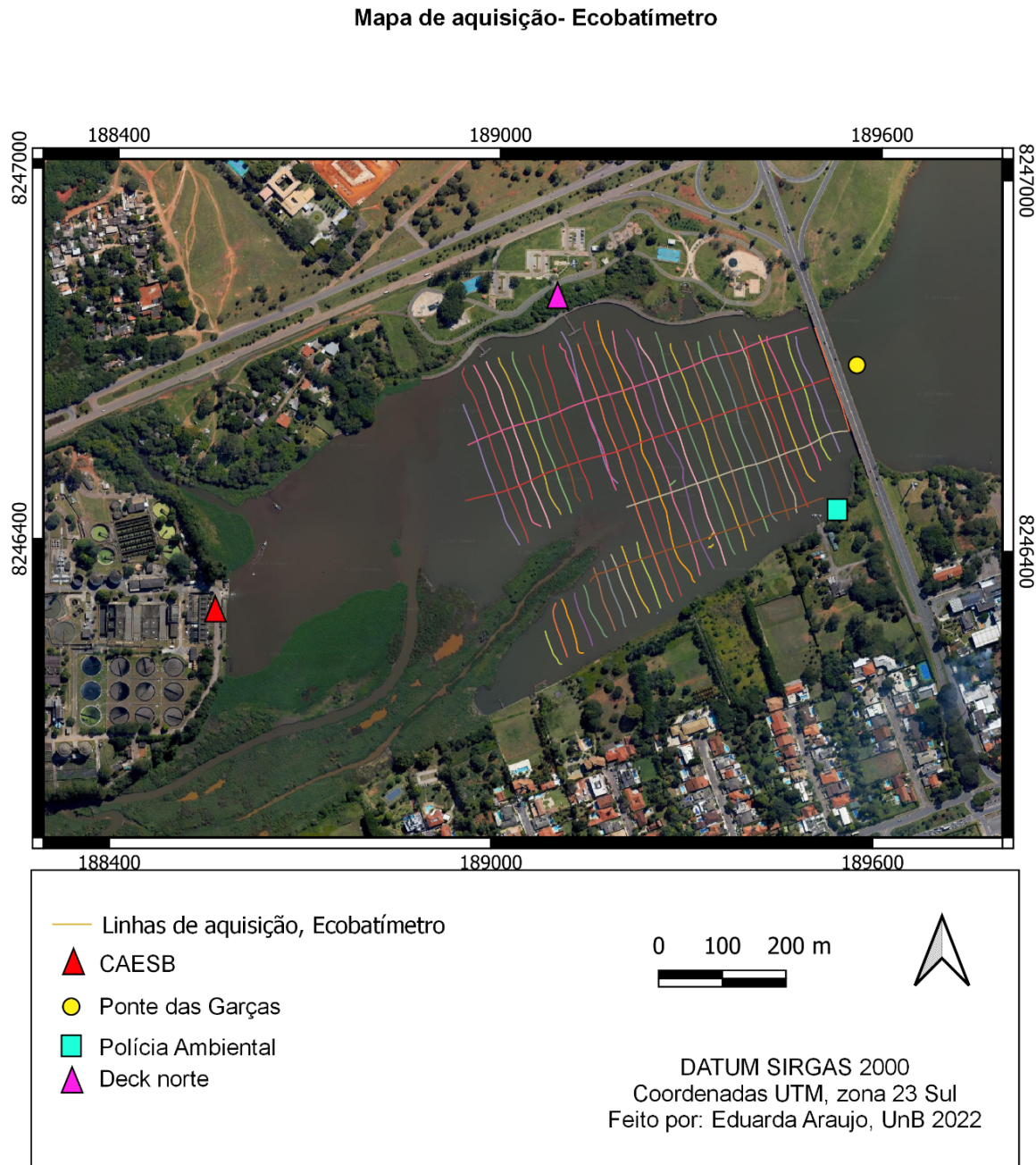
Figura 16 - Fluxograma de aquisição do Ecobatímetro monofeixe



Na Figura 17 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 17– Mapa com as linhas navegadas no levantamento batimétrico monofeixe no braço Riacho Fundo

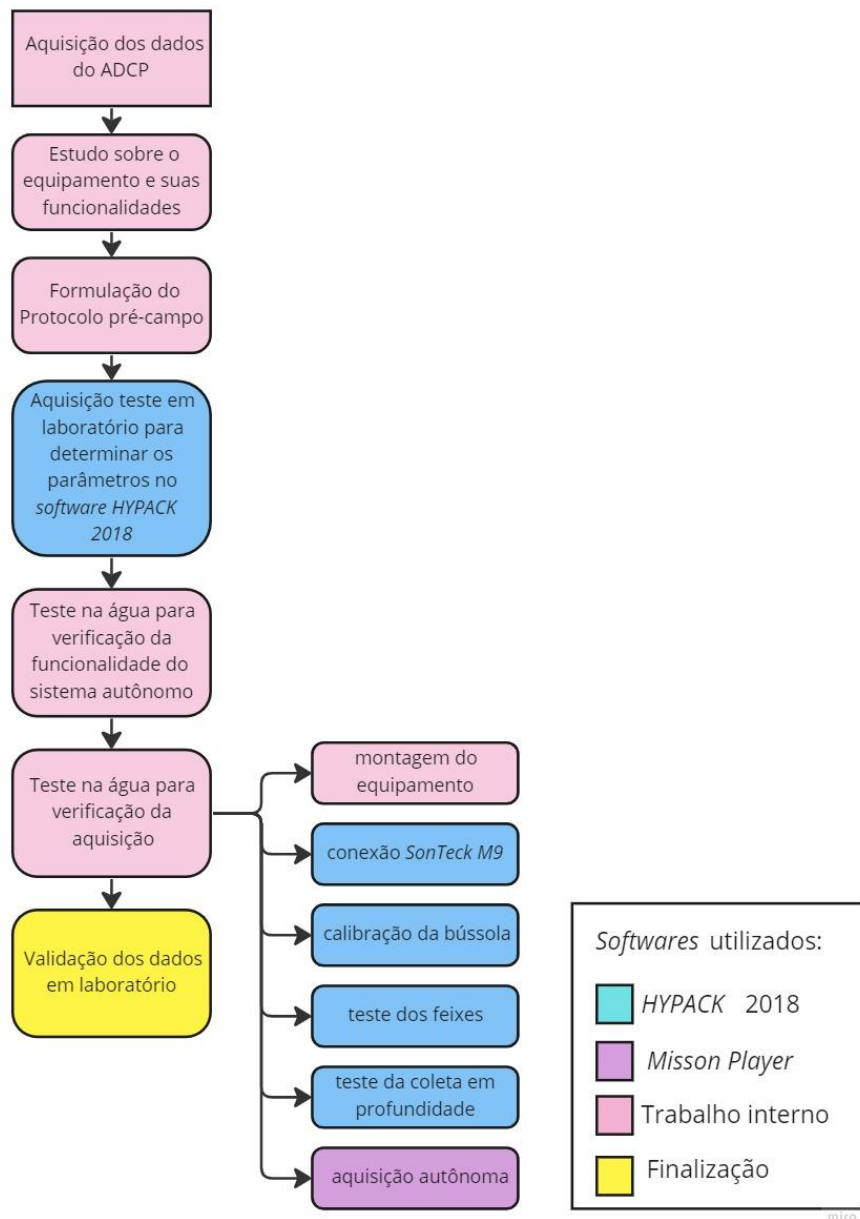


A aquisição batimétrica feita com o *ADCP* modelo M9 foi realizada de forma autônoma por um sistema de drone colocado no barco autônomo de aquisição. O *software*

HYPACK 2018 foi utilizado para aquisição dos dados, o planejamento da aquisição autônoma foi feito pelo *software Misson 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 18.

Figura 18 - Fluxograma de aquisição do ADCP- M9



Depois do estudo sobre a funcionalidade do equipamento foram feitos testes controlados em laboratório (Figura 20) para verificar a conexão do sistema de drones, utilizado para a movimentação autônoma do barco autônomo (Figura 19) 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.

Figura 19 - Barco autônomo de aquisição com o *ADCP* modelo M9 e a antena de *GPS*



Foi feita a aquisição com o apoio de um bote inflável para o resgate do barco autônomo em momentos de intercorrências do sistema de comunicação autônoma, além da presença de plantas e lixo na região de estudo que dificultaram a navegação em alguns momentos.

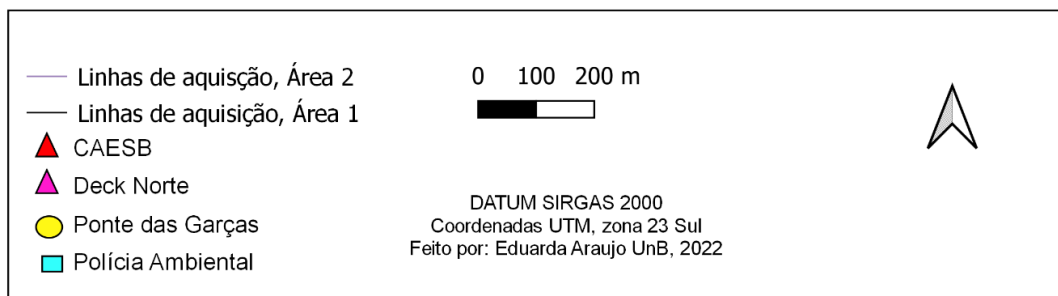
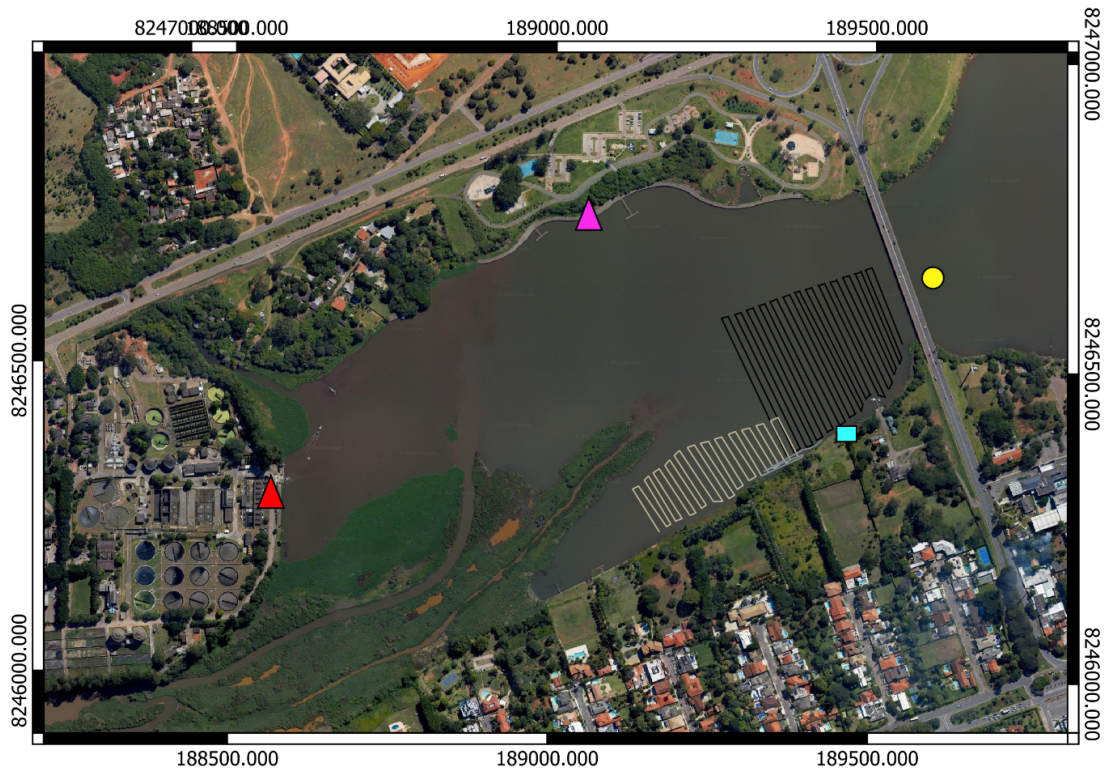
Figura 20– Teste controlado em laboratório



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 21), a primeira e a segunda campanha tiveram o espaçamento de 10 m entre as linhas.

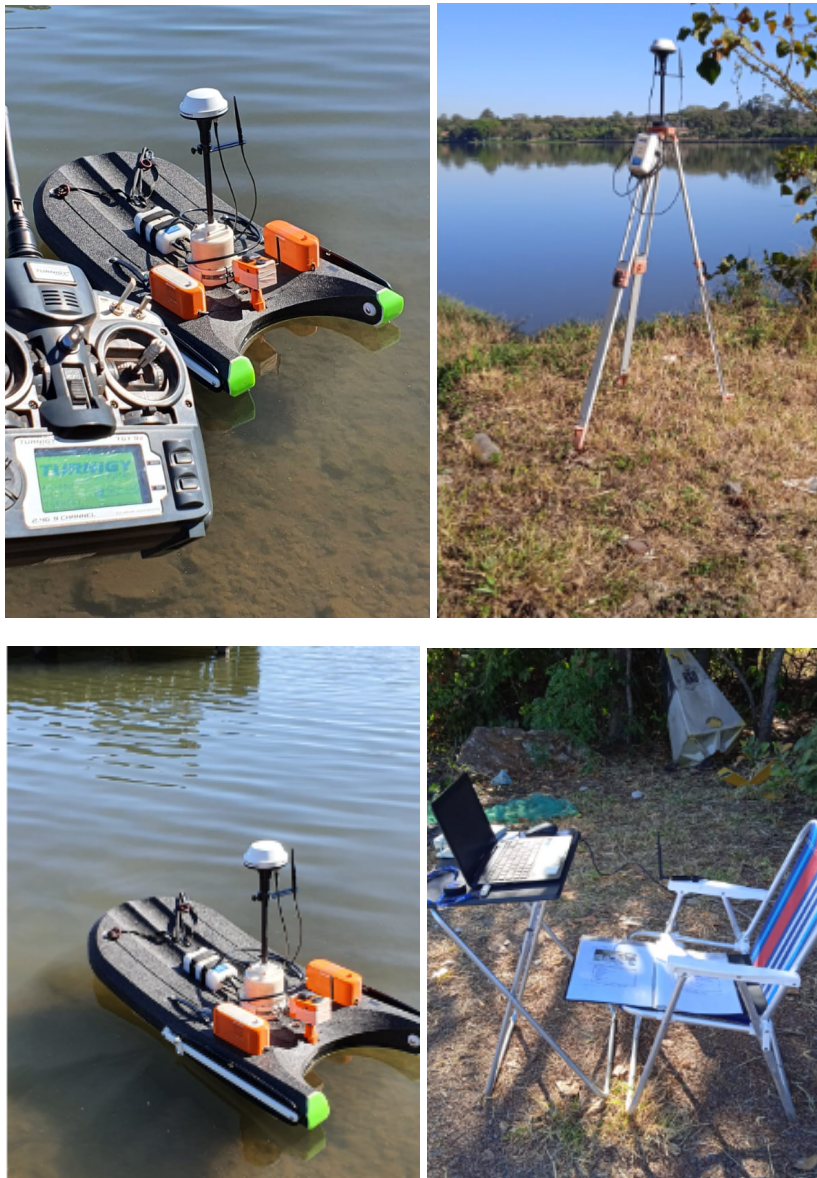
Figura 21– Mapa com as linhas navegadas no levantamento batimétrico ADCP modelo M9 no braço Riacho Fundo

Mapa de aquisição - ADCP,M9



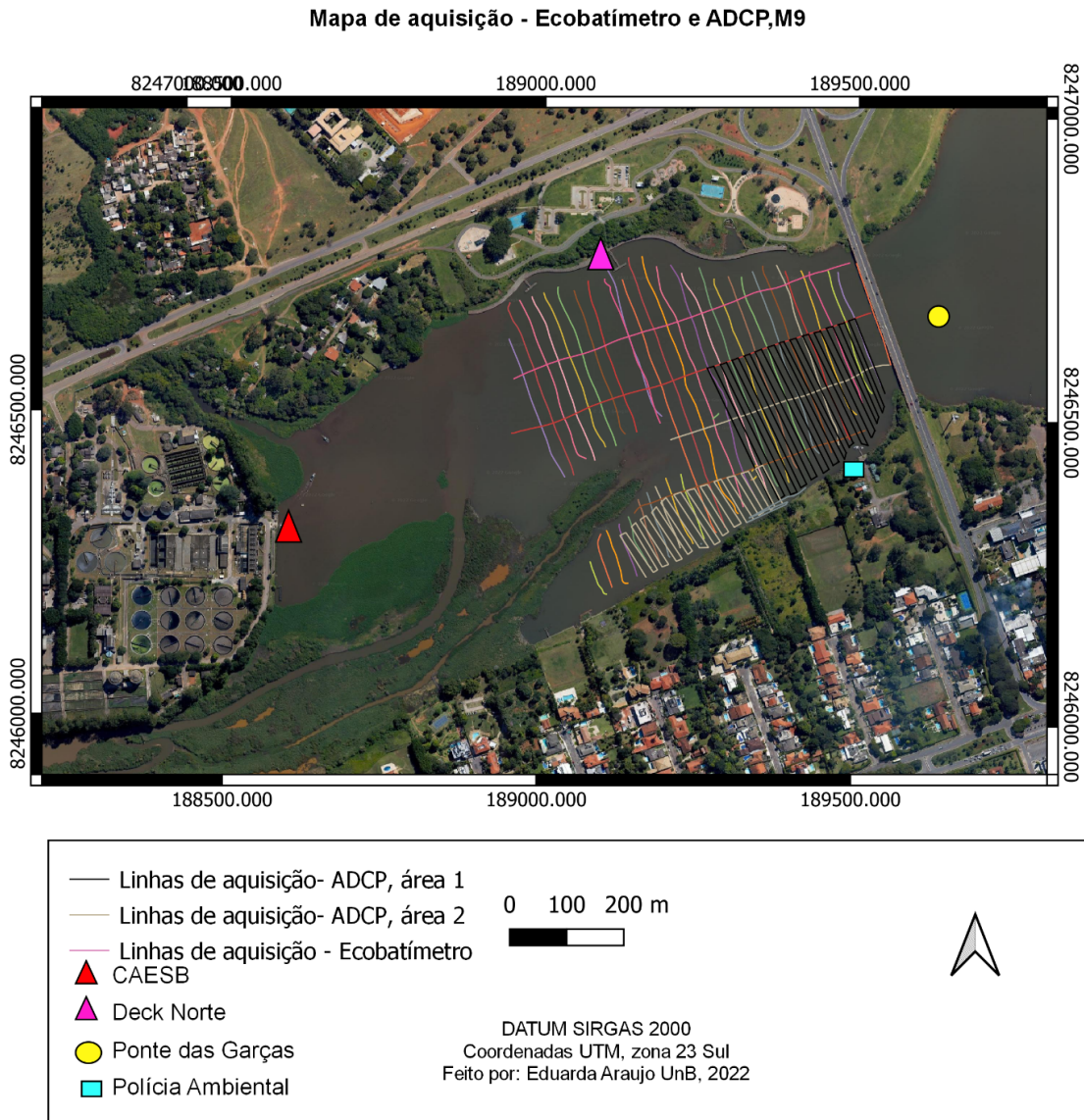
A Figura 22 mostra como foram organizados os equipamentos para as aquisições com o *ADCP* modelo M9. Para fazer a aquisição foi necessário montar a base do sistema georreferencial na borda do lago, mantendo a estabilidade do equipamento, além de duas bases de operações para o sistema de navegação automático e a aquisição batimétrica com a conexão ao sistema sonar M9.

Figura 22– Fotos da aquisição feita com o *ADCP* modelo M9



Na figura 23 é possível ver a sobreposição das linhas de aquisição das três campanhas executadas nesse trabalho.

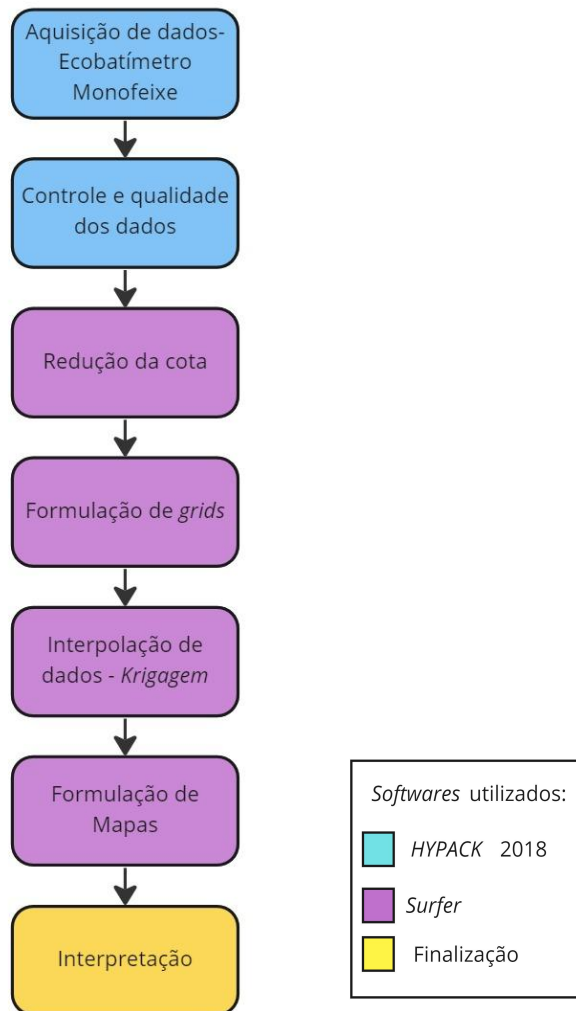
Figura 23– Mapa com as linhas de aquisição sobrepostas



4.4 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 24.

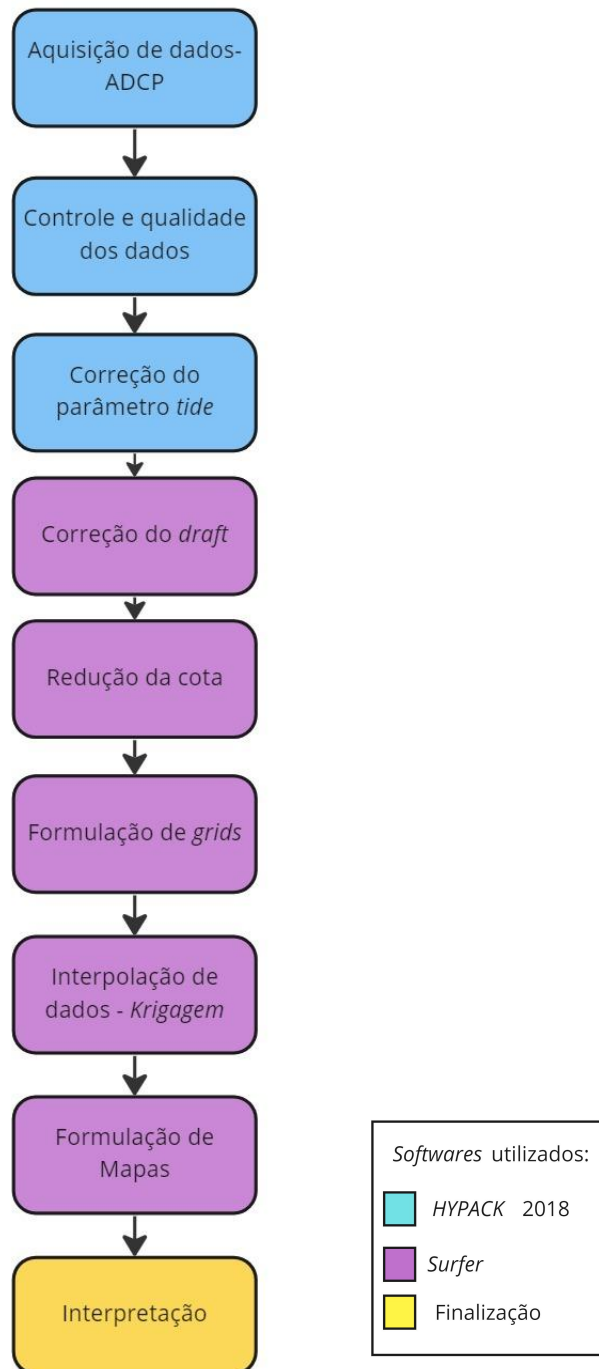
Figura 24– Fluxograma do processamento do Ecobatímetro Monofeixe



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 nos site 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.

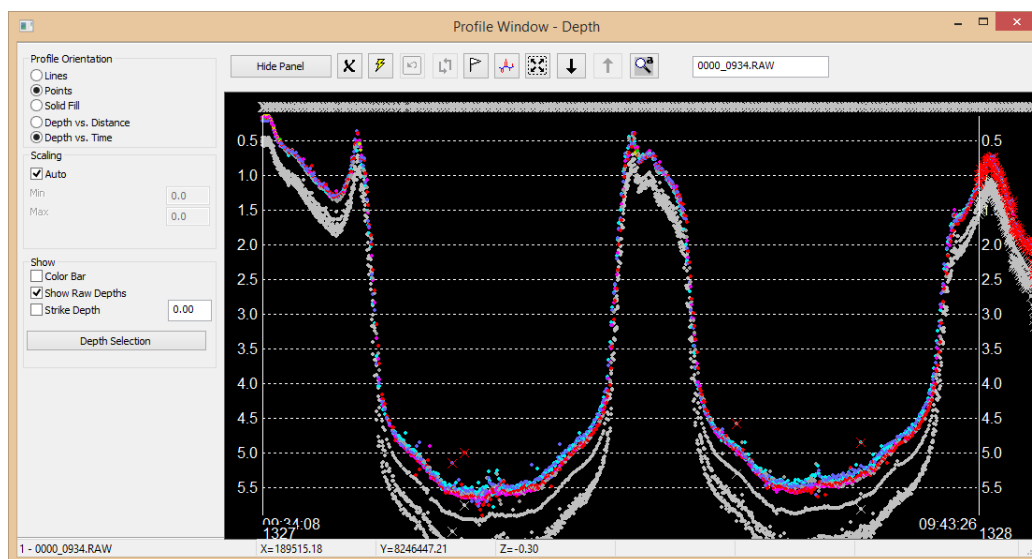
As etapas de processamento do *ADCP* modelo M9 foram realizadas através do software *HYPACK 2018* e o *Surfer 13*. As etapas estão representadas na Figura 25.

Figura 25– 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*. A visualização dos dados corrigidos no *HYPACK 2018* pode ser vista na figura 26 onde cada cor representa um transdutor de coleta.

Figura 26- Visualização dos dados corrigidos do ADCP - M9 no *software HYPACK 2018*



Na Figura 27 é possível ver os parâmetros coletados pelo ADCP- M9, os transdutores que realizaram a aquisição de baixa profundidade e a Latitude e Longitude de cada dado medido.

Figura 27- Visualização do banco de dados com a correção do *Tide*

	Corr. Depth 5	Tide Corr	Latitude	Longitude	Corr. Depth 6	Corr. Depth 7	Corr. Depth 8	Corr. Depth 9	Draft Corr	Pitch
252	4.64	0.00	-15.84044604	-47.89849586	4.51	4.64	4.66	4.51	-0.30	2.49
253	4.60	0.00	-15.84045679	-47.89849120	4.49	4.62	4.61	4.44	-0.30	2.75
254	4.56	0.00	-15.84046881	-47.89848598	4.44	4.56	4.60	4.45	-0.30	2.61
255	4.51	0.00	-15.84047885	-47.89848163	4.39	4.55	4.51	4.36	-0.30	2.59
256	4.48	0.00	-15.84048990	-47.89847685	4.33	4.51	4.50	4.37	-0.30	2.59
257	4.42	0.00	-15.84050084	-47.89847211	4.29	4.47	4.42	4.26	-0.30	2.52
258	4.38	0.00	-15.84051165	-47.89846723	4.20	4.42	4.41	4.24	-0.30	2.72
259	4.28	0.00	-15.84052278	-47.89846264	4.11	4.33	4.35	4.12	-0.30	2.67
260	4.21	0.00	-15.84053363	-47.89845791	4.08	4.26	4.28	4.08	-0.30	2.49
261	4.11	0.00	-15.84054519	-47.89845311	3.90	4.14	4.18	3.93	-0.30	2.58
262	3.92	0.00	-15.84055559	-47.89844879	3.65	4.10	4.11	3.75	-0.30	2.43
263	3.68	0.00	-15.84056685	-47.89844420	3.40	3.96	4.02	3.47	-0.30	2.64
264	3.50	0.00	-15.84057768	-47.89843978	3.12	3.69	3.78	3.16	-0.30	2.52
265	3.16	0.00	-15.84058838	-47.89843506	2.89	3.43	3.47	2.95	-0.30	2.60
266	2.83	0.00	-15.84059947	-47.89843016	2.68	2.97	3.08	2.69	-0.30	2.92
267	2.63	0.00	-15.84061034	-47.89842537	2.58	2.78	2.81	2.57	-0.30	2.74
268	2.43	0.00	-15.84062143	-47.89842047	2.16	2.65	2.64	2.20	-0.30	2.75
269	2.12	0.00	-15.84063241	-47.89841562	1.93	2.38	2.36	1.90	-0.30	2.74
270	1.77	0.00	-15.84064361	-47.89841068	1.69	1.93	2.00	1.77	-0.30	2.66
271	1.62	0.00	-15.84065455	-47.89840558	1.49	1.65	1.79	1.61	-0.30	2.79

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*.

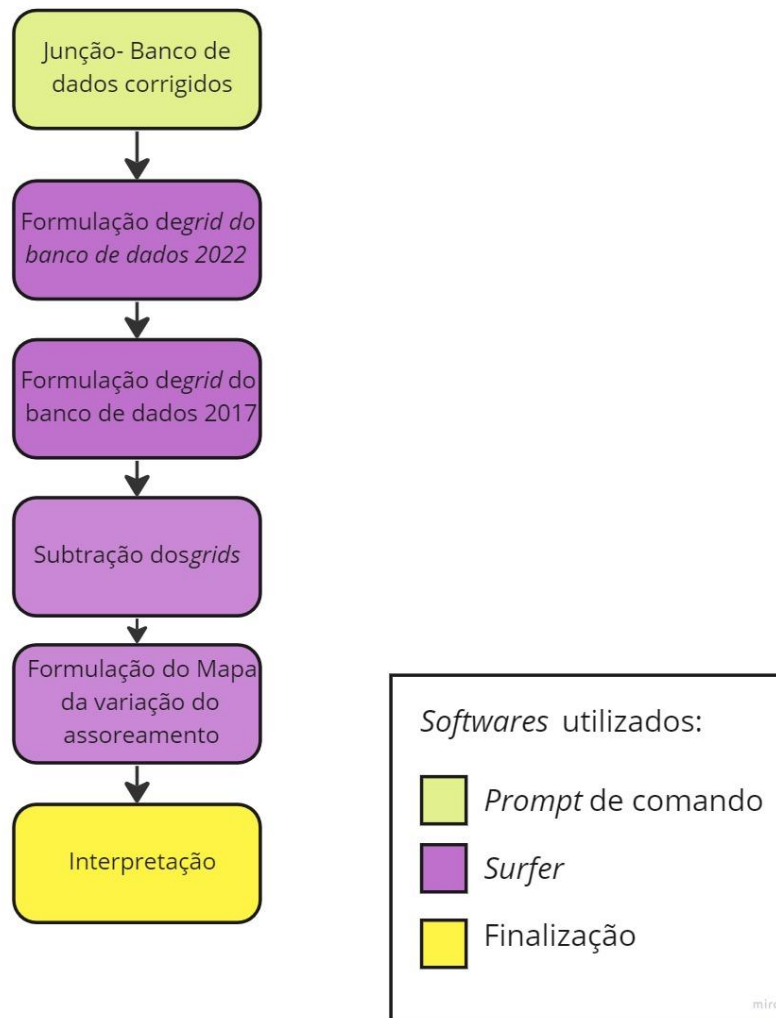
A correção do parâmetro *draft* de 0,30 m, referente a altura da antena de GPS acoplada ao barco autônomo da aquisição, foi observado no programa *HYPACK 2018* e corrigido no banco de dados do *Surfer 13*, pois não foi possível retirar esse parâmetro no programa de aquisição.

Foi realizada a redução à cota 1000 em referência a nível médio do mar, no *software Surfer 13* com dados obtidos nos 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 28.

Figura 28– Fluxograma da formulação do resultado do assoreamento ao longo de 5 (cinco) anos.



Foi realizada a junção do banco de dados coletados no *ADCP* e pelo ecobatímetro monofeixe em uma *prompt* de comando com o comando `C:\Dados Eduarda>copy A.xyz+B.xyz+C.xyz+D.xyz merge.txt`, onde cada aquisição foi nomeada como A, B, C e D.

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.

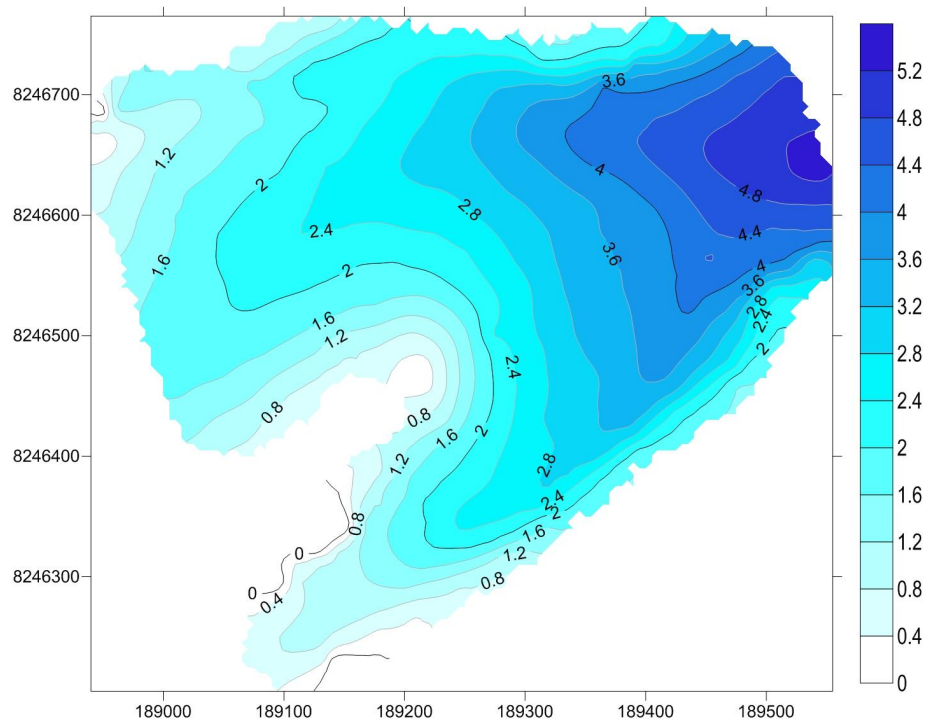
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpolação dos dados batimétricos da pesquisa realizada nesse trabalho estão representadas nas figuras 29, 30, 31 e 32. As imagens mostram os valores de profundidade coletados nas três campanhas com dois equipamentos diferentes no deságue do córrego Riacho Fundo no Lago Paranoá. A área de aquisição conta com três diferentes efluentes: estação do tratamento de esgoto da CAESB e duas galerias pluviais.

O equipamento ecobatímetro monofeixe percorreu toda a área possível de navegação em sua aquisição, mostrando muita dificuldade e intercorrências perto da estação de tratamento de esgoto da CAESB e da pluma de sedimentos devido a quantidade de galhos e a baixa profundidade para navegação, seus resultados estão representados na figura 29.

Figura 29– Mapa de Profundidade do ecobatímetro monofeixe 2022

(a) Mapa de profundidade - Ecobatímetro monofeixe 2022

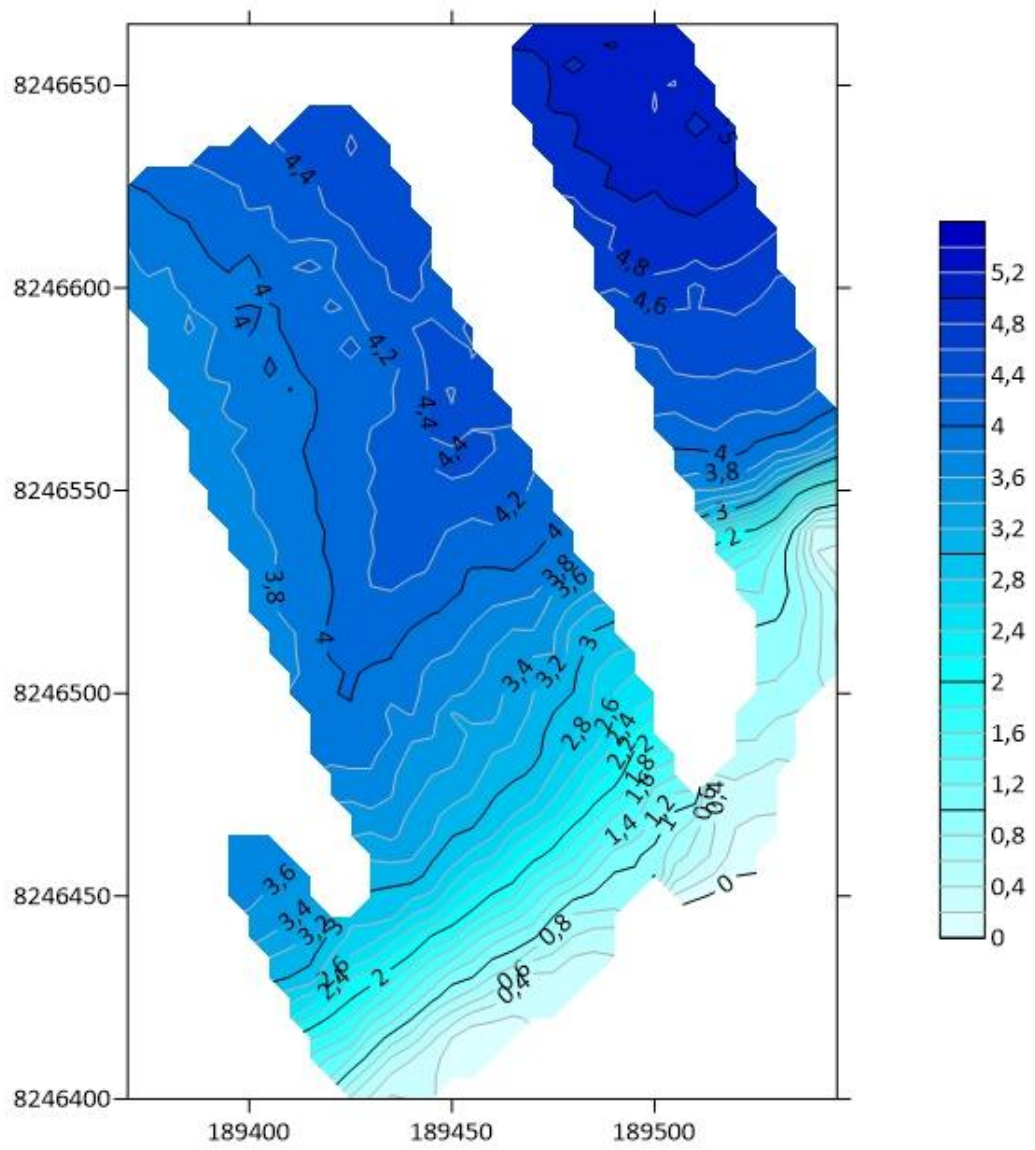


Sistema de coordenadas geográficas UTM- WGS84
Feito por: Eduarda de Lima Araujo - UnB - 2022

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 precisa, sendo representado na figura 30 e 31.

Figura 30– Mapa de Profundidade da área 1 feita com o ADCP modelo M9

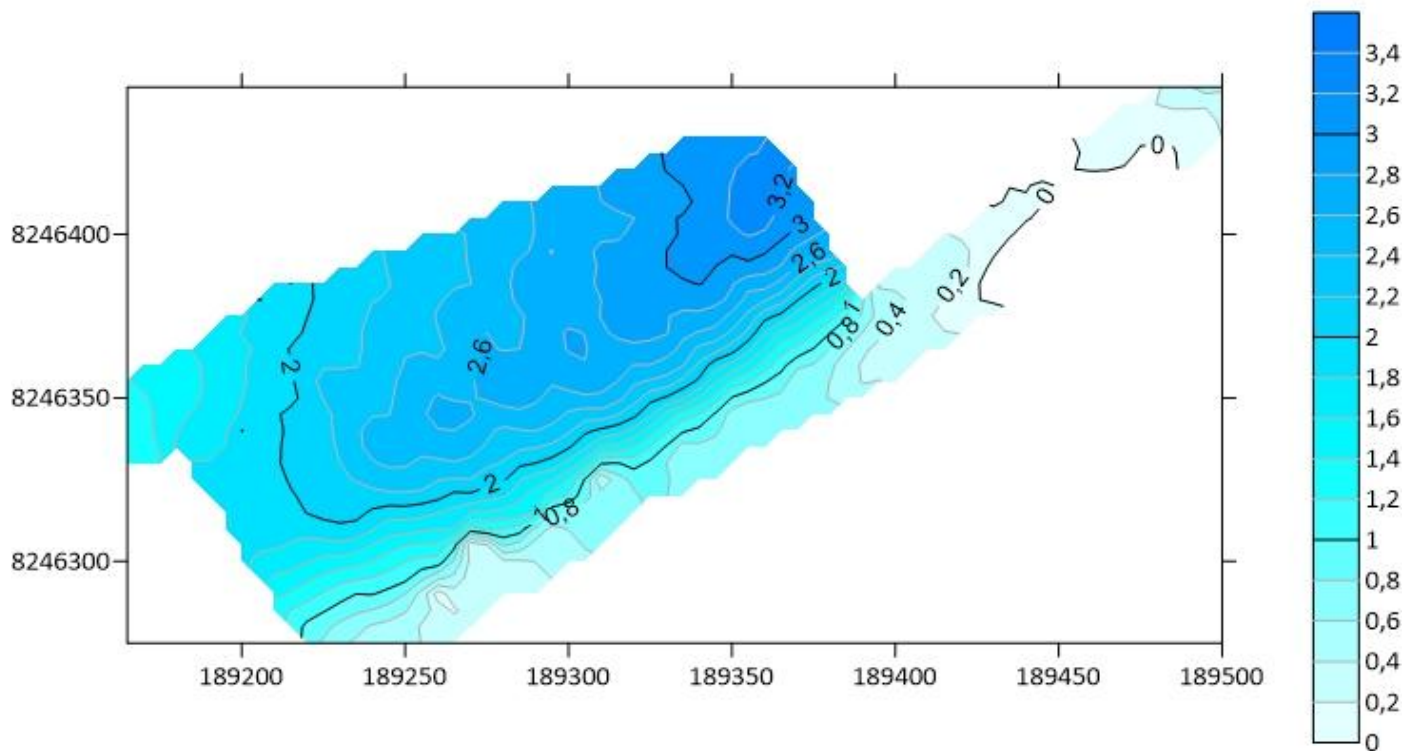
(b) Mapa de profundidade da área 1 - ADCP-M9



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

Figura 31– Mapa de Profundidade da área 2 feita com o *ADCP* modelo M9

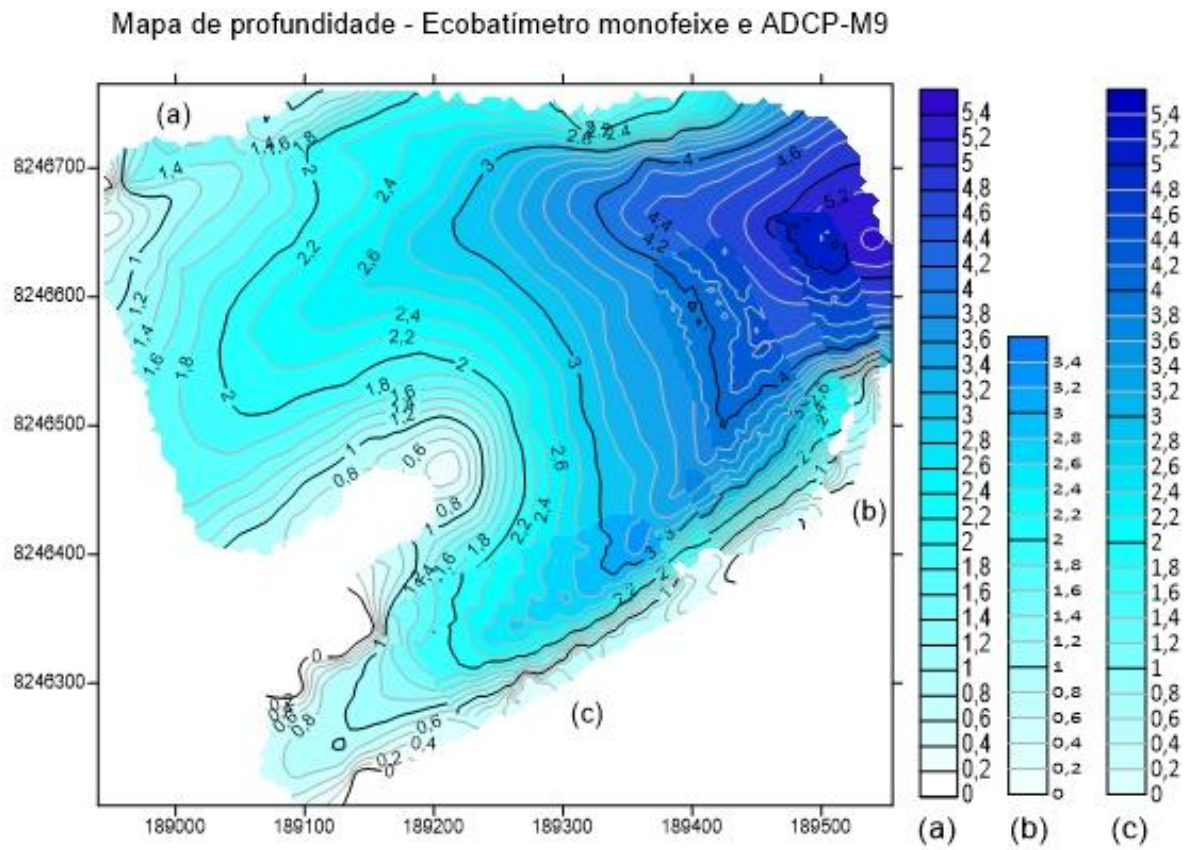
(c) Mapa de profundidade da área 2 - *ADCP*-M9



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

A sobreposição das áreas coletadas estão representadas na figura 32, sendo 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. .

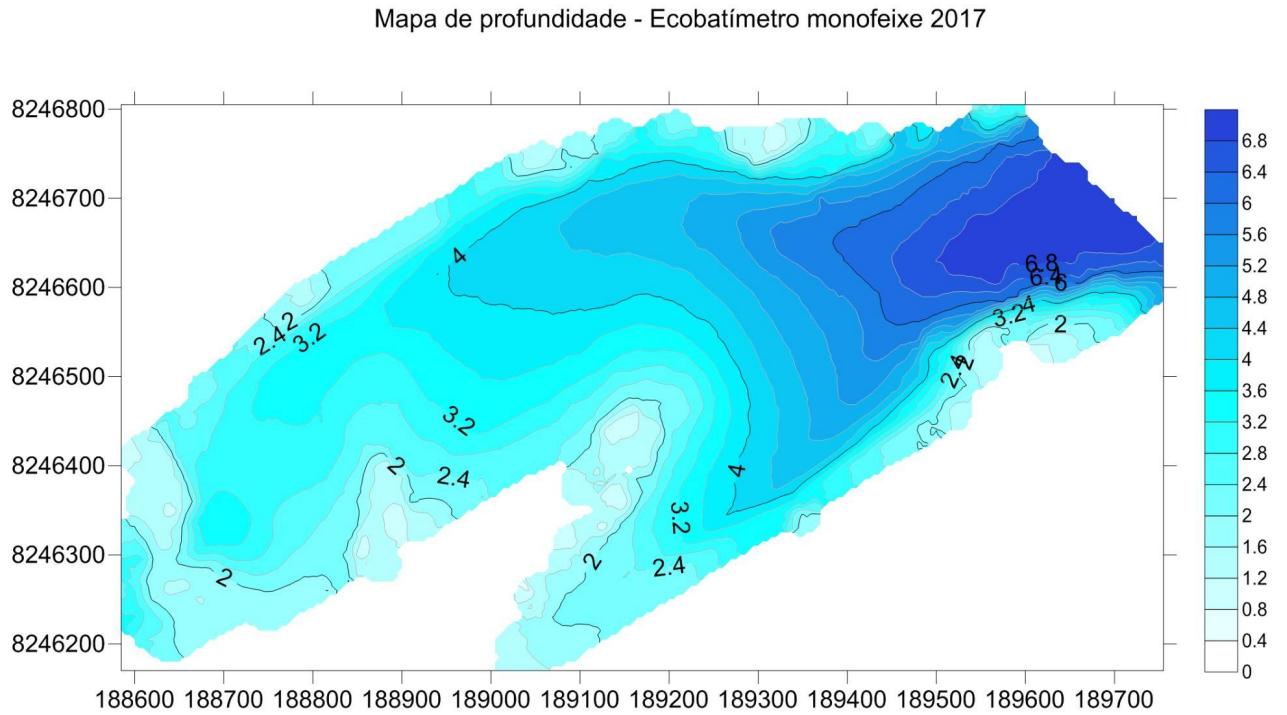
Figura 32– Mapa de Profundidade do Ecobatímetro monofeixe (a), *ADCP-M9* área 1 (b) e *ADCP-M9* área 2 (c)



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

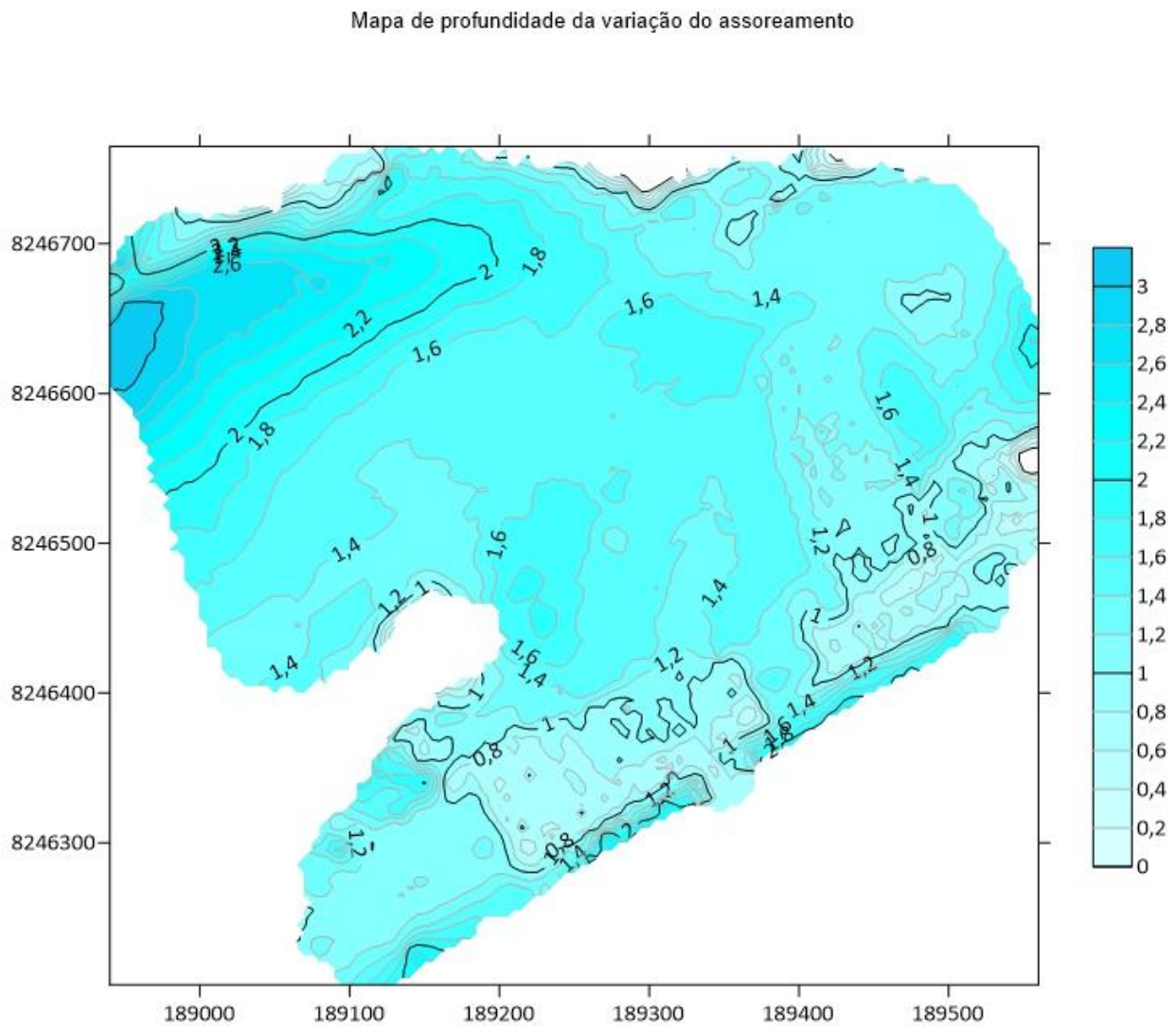
A figura 33 mostra o mapa de profundidade medida com o ecobatímetro monofeixe em uma pesquisa realizada em 2017, por alunos e professores da UnB. No mapa é possível ver a continuidade da área navegável perto do efluente da estação de tratamento de esgoto da CAESB, localizada à esquerda do mapa, onde 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.

Figura 33– Mapa de Profundidade medida com o Ecobatímetro monofeixe em 2017



No mapa da figura 34 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.

Figura 34– Mapa da variação do assoreamento entre 2017 (monofeixe) e 2022 (monofeixe e *ADCP*-M9)



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

6. CONCLUSÕES

A batimetria é um método efetivo para controle dos processos de sedimentação, para a avaliação multitemporal 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 em comparação a 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 29, aquisição em 2022, e 33, 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 34, 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 temos características que o acúmulo de sedimentos está maior e mais prolongado quando observado os dados da figura 33, 2022, em comparação aos dados da figura 32, 2017.

O resultado batimétrico do *ADCP* modelo M9 se mostrou muito eficaz e promissor para determinar regiões menos acessíveis a barcos e botes, como as margens do lago. O banco de dados se mostrou muito mais preciso e completo em comparação aos dados coletados com o ecobatímetro monofeixe, sendo processados os dados a partir de 0,20 m até 5,6 m, além de ser muito mais completo devido o registro dos transdutores de menor profundidade. Já o banco de dados do ecobatímetro monofeixe teve a sua menor medida em 0,40 e a máxima em 5,4 m, com um banco de dados menor em comparação ao *ADCP* modelo M9.

Foi possível observar que a área teve um avanço significativo no assoreamento, evidenciado pelo avanço 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, Figura 32.

Sugiro 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 da região. É visível a necessidade de estudar as variações sedimentares em diferentes vias do fluxo d'água do deságue do afluente córrego Riacho Fundo, para a melhor compreensão do sistema geral da degradação do solo e do assoreamento, que a região vem sofrendo ao longo dos anos. Além de mais utilização do equipamento *ADCP* modelo M9 para o estudo mais preciso em regiões de difícil acesso e perto das bordas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, pág. 711-728, 2013.

ANJOS, Rafael Sanzio Araújo dos. Brasília: **50 anos de dinâmica territorial urbana**. 2012.

APL-UW, **High-Frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook**. Washington, 1994.

AQUINO, Igor Guedes de. **Estudo da variação da descarga sólida em suspensão da sub-bacia do Riacho Fundo-Lago Paranoá, Brasília-DF**. 2017.

AQUINO, Igor Guedes et al. Variação temporal da descarga sólida em suspensão e identificação de minerais a partir de aperfeiçoamento de método de amostragem automática no Córrego Riacho Fundo, Brasília, Distrito Federal. **Geologia USP. Série Científica**, v. 18, n. 2, p. 171-185, 2018.

AYRES NETO, A; MENDES, J.N.T; SOUZA, J.M.G; REDUSINO JR., M; PONTES, R.L.B. Geotechnical Influence on the Acoustic Properties of Marine Sediments of the Santos Basin, Brazil. Rio de Janeiro. **Marine Georesources & Geotechnology**, 2013.

BORGES, Welitom Rodrigues. **Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado pelo IAG / USP**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAMPOS, José Eloi Guimarães et al. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 3, p. 461-476, 2013.

CARAZZAI, Daniel et al. **Sonografia e batimetria de varredura do Canal da Barra da Lagoa**, 2015.

CORRÊA, Alberto Jacques Ribeiro et al. **Aplicação de sísmica de alta resolução em ambiente estuarino amazônico, na investigação de estruturas neotectônicas**. 2015.

ECHEVERRIA, R. M., Avaliação de Impactos Ambientais nos Tributários do Lago Paranoá, Brasília – DF. Dissertação (Mestrado) 2007 – **Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.**

EL-HATTAB, A. I. Single beam bathymetric data modelling techniques for accurate maintenance dredging. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Elsevier BV**, v. 17, n. 2, p. 189–195, dec 2014.

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.

GOMES, M.P. **Aquisição, processamento e análise de dados de sísmica de alta resolução na Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte: vale inciso do rio Açu.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Rio Grande do Norte, 2009.

GOTVALD, A. J. e OBERG, K. A. Acoustic Doppler Current Profiler applications used in rivers and estuaries by the U.S. Geological Survey: U.S. **Geological Survey Fact Sheet**, 2008–3096, 2008, 4 p.

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

LTG 2013, **Noções de Batimetria, PTR2201, Informações Espaciais I**, LTG/PTR/EPUSP. 201.

MARTINS, Éder de Souza et al. **Evolução geomorfológica do Distrito Federal.** 2004.

MARQUES, Danielle dos Santos. **Simulação Numérica da Resposta Sísmica de Modelos Geológicos de Reservatórios de Petróleo e Gás.** Rio de Janeiro, 2011.

MENEZES, Paulo Henrique Bretanha Junker. **Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na Bacia do Lago Paranoá.** 2010.

SHERIFF, R. E.; GELDART, L. P. **Exploration seismology.** 2ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 592p

SIMÕES, Isabel C.V.P. Simulação Numérica da Resposta Sísmica de Modelos **Geológicos de Reservatórios de Petróleo E Gás.** Rio de Janeiro, 2007.

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

SOUZA, L. A. P. de. **Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas.** 2006. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2006.

STREET, W. **Multibeam Sonar Theory of Operation.** East Walpole, MA, 2000.

TAVEIRA, Karine et al. Análise multitemporal de dados topobatimétricos para avaliação do assoreamento do Reservatório do Descoberto (DF). In: **V Simpósio Brasileiro de Geofísica.** European Association of Geoscientists & Engineers, 2012. p. cp-341-00105.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. Applied Geophysics. 2 ed. Cambridge: **Cambridge University Press.** 770 p. 1990.

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.

TSUJI, Thays Mitsuko; DE PAULA, Adriano Cesar Pereira; DE ALMEIDA, Wagner Santos. **ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA RIACHO**

FUNDO-BRASÍLIA-DF, POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS DO SATÉLITE LANDSAT. 2014.

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

TURQUETTI¹, Gabriela Nunes et al. **Utilização do método da eletrorresistividade para estimativa de sedimentos transportados por processos erosivos na Bacia do Lago Paranoá.** 2016.

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.

KEARNS, T. A.; BREMAN, J. Bathymetry-the art and science of seafloor modeling for modern applications. **Ocean globe, ESRI press**, p. 1–36, 2010.

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.

WALKER, R.G. - 1984 - **Facies models** (second edition), Geosciences Canada, Reprint Series 1, 317 p.