

Levantamento topobatimétrico para cálculos de cotas x áreas x volumes e reservatórios utilizando RPAS com sensor lidar embarcado e ecobatímetro monofeixe

Geová Alves da Costa¹

Aniel de Melo Dias²

Recebido em: 06.08.2023

Aprovado em: 18.12.2023

Resumo: Os avanços das tecnologias e de equipamentos cada vez mais modernos como RPAS, GNSS, sensor LiDAR e ECOBATÍMETROS tem revolucionado a topografia, oferecendo ferramentas mais avançadas e eficazes para coletar, analisar e representar dados permitindo uma abordagem mais precisa, eficiente e versátil para a coleta de informações geoespaciais. Essas tecnologias têm aplicações amplas, nesse trabalho apresentaremos uma metodologia para o desenvolvimento de levantamento topobatimétrico com RPAS e LiDAR é uma abordagem avançada que proporciona dados detalhados e altamente precisos para o cálculo das cotas, áreas e volumes de reservatórios. Essa técnica representa uma solução eficaz e eficiente para o monitoramento e gestão de recursos hídricos, atendendo às demandas de empresas operadoras de reservatórios e órgãos ambientais.

Palavras-chave: topografia; tecnologias; informações geoespaciais; recursos hídricos; levantamento topobatimétrico.

Topobathymetric survey for calculations of elevations x areas x volumes and reservoirs using RPAS with on-board lidar sensor and single-beam echo sounder

Abstract: Advances in technologies and increasingly modern equipment such as RPAS, GNSS, LiDAR sensors, and ECOBATIMETERS have revolutionized topography, providing more advanced and effective tools for collecting, analyzing, and representing data,

¹ Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, pela FEAMIG. E-mail: geova.alves.costa@gmail.com.

² Revisor. Graduação em Engenharia de Produção Civil e Mestrado em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, especialização em Gestão Ambiental pela Universidade Cândido Mendes e especialização em Gerenciamento de Projetos pela FGV.

enabling a more precise, efficient, and versatile approach to geospatial information collection. These technologies have broad applications, and in this study, we present a methodology for topobathymetric survey development using RPAS and LiDAR, an advanced approach that provides detailed and highly accurate data for calculating elevations, areas, and volumes of reservoirs. This technique represents an effective and efficient solution for monitoring and managing water resources, meeting the demands of reservoir operating companies and environmental agencies.

Keywords: topography; technologies; geospatial information; water resources; topobathymetric survey.

1 INTRODUÇÃO

Neste estudo, exploramos uma abordagem inovadora que combina a versatilidade dos RPAS à precisão do LiDAR para realizar levantamentos topobatimétricos de alta qualidade. Analisaremos técnicas, metodologias e benefícios dessa fusão tecnológica, destacando sua aplicação na atualização de curvas de cota, área e volume (CAV) em reservatórios.

O levantamento topobatimétrico desempenha um papel crucial na administração de reservatórios, fornecendo dados essenciais para calcular cotas, áreas e volumes. Com os avanços tecnológicos, a adoção de RPAS equipados com sensores LiDAR tem transformado essa prática.

O objetivo deste estudo é apresentar uma solução metodológica baseada em cartografia, batimetria e topografia, auxiliada por equipamentos tecnológicos atuais, para atender às exigências da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 e da segunda versão do documento orientativo da ANA "Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume".

Examinaremos detalhes técnicos, como a integração dessas tecnologias, que proporciona uma solução eficiente e precisa para a aquisição de dados essenciais, contribuindo para uma compreensão aprimorada e monitoramento eficaz dos reservatórios. Além disso, abordaremos a importância desses levantamentos para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

1.1 Regulamentação e Classificação de RPAS: Compreendendo o Uso Responsável de Drones no Contexto da Engenharia Aeronáutica

O termo "drones" refere-se a equipamentos remotamente pilotados, enquanto VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) é a tradução de UAV (Veículo Aéreo Não Tripulado). Tecnicamente, utiliza-se a designação RPAS, acrônimo para Remotely Piloted Aircraft System, conforme definido pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA 2020).

A crescente popularização de drones levou as autoridades de aviação civil a estudar sua integração segura no espaço aéreo (SILVA, 2018). A regulamentação é crucial para a segurança, privacidade, prevenção de colisões, gerenciamento de riscos e prevenção de uso indevido. Os RPAS são categorizados pelo peso máximo de decolagem, abrangendo voos recreativos e não recreativos, conforme definido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC 2017).

De tal modo, a popularidade crescente dos drones tem levado as autoridades de aviação civil em vários países a intensificar estudos para integrar essa atividade ao espaço aéreo local de forma efetiva (SILVA, 2018). A regulamentação para operação de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) torna-se crucial para a governança adequada desse mercado, focando na segurança, privacidade, prevenção de colisões, gerenciamento de riscos de pirataria e prevenção do uso indevido para fins ilegais.

Os RPA são classificados pelo peso máximo de decolagem (PMD), abrangendo voos recreativos e não recreativos, conforme estabelecido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC 2017).

Classe 1: peso máximo de decolagem maior que 150 kg;

Classe 2: peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg; e

Classe 3: peso máximo de decolagem de até 25 kg. possa continuar expandindo (SCHREIBER; OSTIARI, 2014).

A operação de RPAs no Brasil é regulamentada por três órgãos: ANAC (2017), DECEA (2020) e ANATEL (2020). A Tabela 1 resume as diretrizes da ANAC.

Tabela 1 – Regulamentação da ANAC

Resumo da Regulamentação da ANAC				
	RPA Classe 1	RPA Classe 2	RPA Classe 3	Aeromodelos
Registro da aeronave?	Sim	Sim	BVLOS: Sim VLOS: Sim	Sim
Aprovação/Autorização do projeto?	Sim	Sim	Apenas BVLOS ou acima de 400 pés	Não
Limite de idade para operação?	Sim	Sim	Sim	Não
Certificado médico?	Sim	Sim	Não	Não
Licença e habilitação?	Sim	Sim	Apenas para op. acima de 400 pés	Apenas para op. acima de 400 pés
Local de operação	A distância da aeronave não tripulada NÃO poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. O limite de 30 metros não precisa ser observado caso haja uma barreira mecânica suficientemente forte para isolar e proteger as pessoas não envolvidas e não anuentes. Esse limite não é aplicável para operações por órgãos de segurança pública, de polícia, de fiscalização tributária e aduaneira, de combate a vetores de transmissão de doenças, de defesa civil/e ou de corpo de bombeiros, ou operador a serviço de um destes.			

Fonte: Adaptado pelos autores (ANAC, 2017)

O registro de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) na ANAC é obrigatório para unidades de 250g a 25kg. Equipamentos acima de 25kg exigem registro de habilitação para o piloto. RPAs com menos de 250g estão isentos de registro (ANAC, 2017).

O DECEA supervisiona o acesso ao espaço aéreo e a segurança na navegação aérea. A ICA 100-40, do Comando da Aeronáutica, estabelece a legislação para aeronaves remotamente pilotadas, exigindo autorização pelo sistema SARPAS do DECEA (DECEA, 2020). Sendo assim, a ANATEL é responsável pela homologação e certificação de dispositivos devido à presença de transmissores de radiofrequência nos controles remotos dos drones (ANATEL, 2020).

2 DIRETRIZES GERAIS

A modernização das curvas CAV no reservatório Salto do Meio da UHE Chaminé é vital para garantir conformidade regulatória, eficiência operacional e a segurança da usina, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos locais. A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 estabelece a obrigatoriedade dessa atualização, visando a segurança operacional e a gestão eficiente dos recursos hídricos em usinas hidrelétricas.

A não conformidade com essas regulamentações pode resultar em sanções e impactos negativos na operação da usina. Para atender às diretrizes da ANA, adotamos uma abordagem inovadora que combina RPAS, LiDAR e ecobatímetro. O avanço dessas tecnologias tem revolucionado a topografia, proporcionando ferramentas mais avançadas e eficazes para coletar, analisar e representar dados topográficos e batimétricos. Essa integração é fundamental para o sucesso do empreendimento e a conformidade com as normativas vigentes.

3 VANTAGENS COMPETITIVAS

As novas tecnologias neste trabalho têm amplas aplicações, abrangendo desde engenharia civil e ambiental até gestão de recursos naturais e monitoramento de mudanças geológicas. Oferecem uma abordagem mais precisa, eficiente e versátil na coleta de informações geospaciais, impactando significativamente a topografia. Proporcionam vantagens competitivas ao melhorar a qualidade dos levantamentos, aumentar a eficiência operacional, ampliar o acesso a locais complexos, aprimorar a segurança ocupacional e garantir maior precisão dos dados. Isso confere uma vantagem competitiva significativa no mercado.

4 RELAÇÃO DOS RECURSOS NECESSÁRIOS

Todos os equipamentos que foram utilizados nos levantamentos, quando aplicável, foram calibrados, visando preservar a confiabilidade dos resultados.

EQUIPAMENTOS:

- 01 (um) Laser Scanner marca CHC modelo Alpha Air 450;
- 01 (um) Drone marca DJI modelo Matrice 300;
- 12 (doze) Baterias TB60 para o drone Matrice 300;
- 01 (uma) Estação de Recarga B60 para bateria TB60;
- 01 (uma) Estação Base GNSS marca DJI modelo DRTK-2;
- 01 (um) Tripé para DRTK-2;

- 01 (um) Drone DJI Mavic 2 Enterprise Zoom;
- 10 (dez) Baterias para Drone Mavic 2 Enterprise Zoom;
- 01 (um) Hub Mavic 2 Enterprise Zoom;
- 01 (um) Receptor GNSS Base marca CHC modelo I50;
- 01 (um) Tripé para Bastão;
- 01 (um) Bastão de 2,20m;
- 01 (uma) Licença de Uso do Software UGCS;
- 01 (um) Notebook Processamento de Dados;
- 01 (um) Notebook para Operação de Campo;
- 01 (uma) Licença de Software Co PRE;
- 01 (uma) Licença de Uso do Software Co PROCESS;
- 01 (uma) Licença de Uso do Software RiscanPro;
- 01 (um) embarcação motorizada
- 01 (um) echo sounder modelo D390 (adaptado a embarcação);
- 01 (um) hardlock USB (licença de uso do HydroSurvey Software);
- 01 (um) carro tipo Caminhonete 4x4.
- Materiais com Marcos em concreto, piquetes, tintas e ferramentas necessárias.

EQUIPE ENVOLVIDA

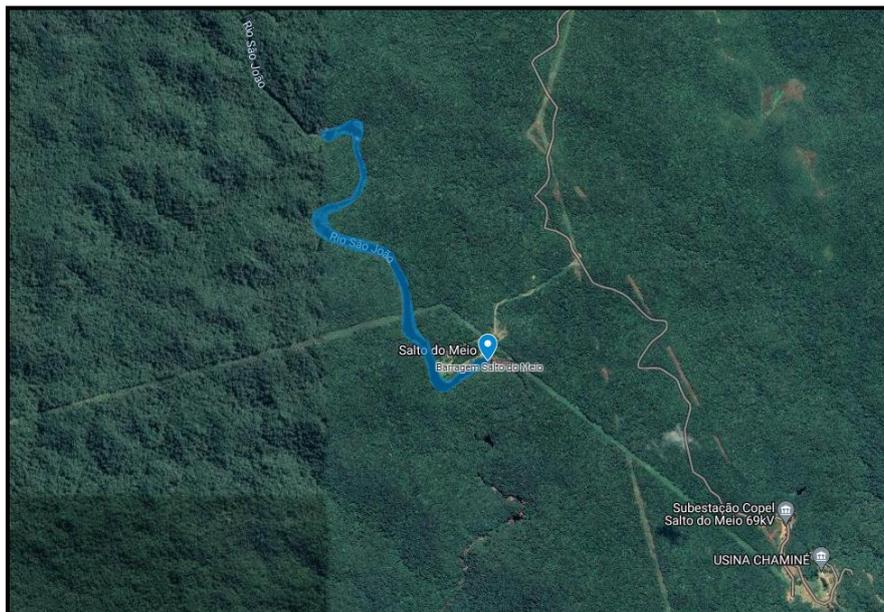
- GEOVÁ ALVES DA COSTA - CREA 210.266.567-4
- Coordenador Geral (Técnico em topografia / engenheiro Civil);

- OTACILIO OTAVIO DE OLIVEIRA NETO - CREA 212.211.347-0
- Técnico de campo (Técnico em topografia / Geógrafo);
- LUCAS MONTEIRO VIGINIO
- Auxiliar de topografia

5 INFORMAÇÕES GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A Usina Hidrelétrica Chaminé possui capacidade instalada de 18 MW, e está localizada na margem esquerda do rio São João, no município de São José dos Pinhais, em área de preservação permanente na Serra do Mar, a 78 km de Curitiba. Usina é instalada no reservatório Barragem de Salto do Meio, com função de regulação.

Figura 1 – Localização do Reservatório Salto do Meio - UHE Chaminé



Fonte: Google Earth Adaptado (2023)

A seguir são apresentadas as características do reservatório da usina:

- Coordenadas do Barramento:
- Latitude 25°48'28.41"S
- Longitude 48°59'30.96"O

- Extensão do Reservatório no N.A. Máx. Normal: 2,03 km
- Área inundada no N.A. Máx. Normal: 6,39 ha
- Área de drenagem total até a barragem: 7,52 há

Tabela 2 - Informações cotas e altitudes do reservatório

Salto do Meio - UHE Chaminé						
Nome	Cotas operacionais (m)			altitude (msnm)		
Reservatório	Nível de água máximo normal	Nível de água máximo maximorum	Cota de Coroamento da barragem	Nível de água máximo normal	Nível de água máximo maximorum	Cota de Coroamento da barragem
Salto do Meio-SME	722,00	724,00	725,00	727,716	729,716	730,716

Fonte: Autoria Própria

6 ENQUADRAMENTO DO RESEVÁTÓRIO (POTENCIAL DE SEDIMENTOS X DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA)

Conforme as diretrizes da Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 3/2010, a classificação do Reservatório Salto do Meio - UHE Chaminé segue a tipologia A, definida pelo documento. A alta criticidade (Classe 01) é estabelecida considerando o Potencial de Produção de Sedimentos, Posição Relativa na Cascata, Regime de Operação do Empreendimento, Magnitude e Importância dos Efeitos do Assoreamento. No cenário cartográfico (Cenário 01), o reservatório não possui material cartográfico de Projeto, mapeamento da área seca e batimétrica da área do reservatório. A Tabela 3 resume a matriz de classificação de tipologia do reservatório, alinhando-se às orientações ANA/ANEEL.

Tabela 3 – Enquadramento do reservatório

Tipologia dos Reservatórios			
Classe de Criticidade	Cenário Cartográfico		
	1	2	3
Classe 01	A	B	C
Classe 02	A	B1	C
Classe 03	A	B2	C

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

7 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

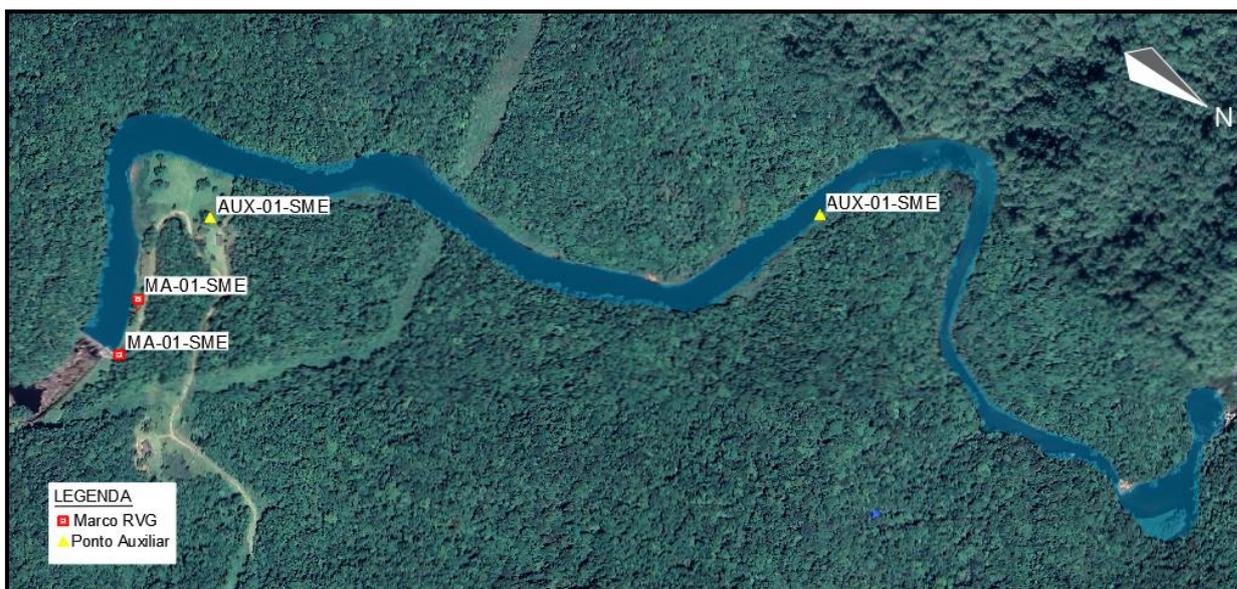
O material cartográfico dos reservatórios será obtido por levantamentos batimétricos nas áreas submersas e levantamentos geodésicos e aerofotogramétricos nas áreas expostas até o nível operacional normal. Os levantamentos batimétricos utilizarão ecobatímetros, georeferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro por uma Rede de Vértices Geodésicos com posicionamento em tempo real (RTK). O referencial altimétrico do levantamento da área exposta deve ser o mesmo do batimétrico.

O Levantamento Topobatimétrico representa o reservatório da parte mais profunda até o nível normal operacional. O Modelo Geoidal deve ter qualidade posicional superior a 20 cm, exigindo um Modelo Geoidal Local onde o MapGeo 2010 do IBGE não atinge tal precisão. O Sistema de Referência Brasileiro atual é o SIRGAS 2000.

7.1 Etapa I: implantação da rede de vértices geodésicos

Para o estudo de caso, implementamos uma rede de vértices geodésicos (RVG) com 2 marcos principais e 2 auxiliares ao redor do reservatório Salto do Meio da UHE Chaminé. Isso permite cobertura total, usando equipamentos GNSS de processamento em tempo real (RTK), conforme Figura 2.

Figura 2 – Localização dos Marcos e pontos Auxiliares implantados



Fonte: Google Earth Adaptado (2023)

Figura 2 – Equipamentos utilizados no levantamento batimétrico

Foto	Equipamento
	01 (um) Receptor GNSS Base marca CHC modelo I50;

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 4 - Informações coordenadas e altitudes dos marcos implantados

Salto do Meio - UHE Chaminé					
Nome	n	e	h	Lat	Lon
MA-01-SME	7.144.058,478	701.314,681	730,620	025° 48' 28,2777"S	048° 59' 30,9425"W
MA-02-SME	7.144.046,115	701.254,659	732,261	025°48'28.68894"S	048°59'33.08074"W
AX-01-SME	7.144.051,016	701.124,306	742,690	025°48'28.59431"S	048°59'37.76200"W
AX-02-SME	7.144.611,625	700.700,402	725,886	025°48'10.59081"S	048°59'53.28288"W

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Implantada a RVG, criou-se um MGL local na área estudada, derivado da ondulação geoidal obtida pela diferença entre altitudes ortométricas (nivelamento geométrico) e elipsoidais (rastreo GNSS).

7.2 Etapa II: mapeamento de área molhada do reservatório

O levantamento batimétrico utilizou ecobatímetro de feixe único. O trabalho abrangeu o corpo principal, braços, afluentes e canais do reservatório por linhas regulares equidistantes, transversais às curvas isobatimétricas. Cobrindo 100% da área molhada, formou uma malha de pontos geodésicos com latitude, longitude e profundidade, conforme Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 3/2010. Sobre o levantamento das áreas molhadas do reservatório:

Para os trabalhos com ecobatímetros de feixe único, em Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, a equidistância entre as linhas de sondagem (ou seções

topobatimétricas), no corpo principal do reservatório, deverá ser obtida pela seguinte fórmula:

$$E_{ST} = \frac{0,1A^{0,25}}{D}$$

as quais:

EST = equidistância das seções topobatimétricas transversais, em quilômetros;

A = área do reservatório em seu nível operacional normal, em hectares; e

D = extensão do reservatório (corpo principal), em nível operacional normal, em quilômetros.

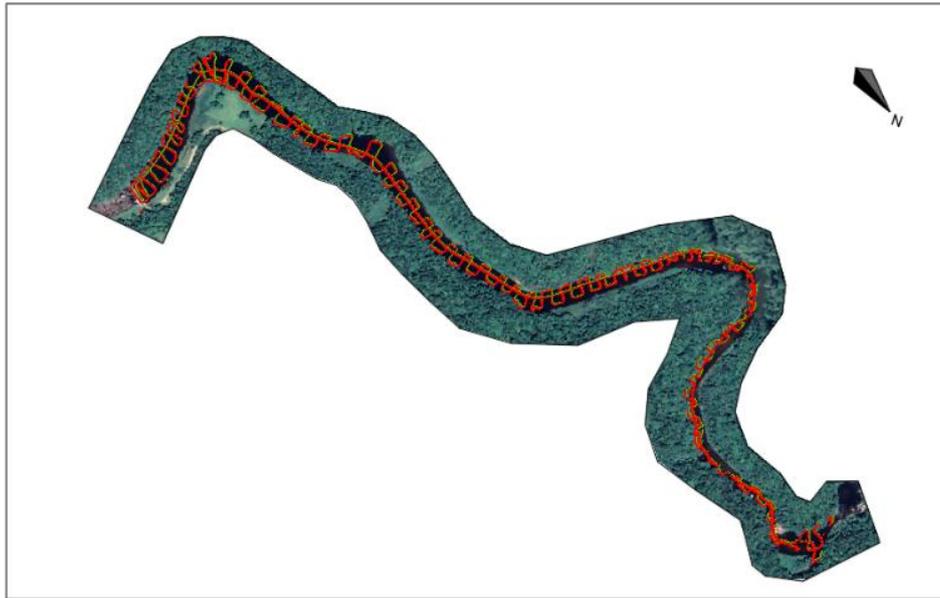
Tabela 5 – Dados e resultado dos cálculos equidistância das seções transversinas

Variável	Quant.	und.
A=	6,39	ha
D=	2,03	km
Est=	0,078	km

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Considerando o cenário cartográfico Tipo A, executaremos 100% das linhas de sondagem com equidistância de 78 metros entre as transversais. Contudo, seguindo orientações da ANA/ANEEL, a equidistância "deve ser flexível". Optamos por 20 metros entre as linhas de batimetria, podendo ajustar-se às necessidades do reservatório. As seções transversais, totalizando 231, foram coletadas a cada metro, resultando em 5.908 pontos durante os levantamentos.

Figura 3 – Localização se linhas transversais executadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 4 – Equipamentos utilizados no levantamento batimétrico

Foto	Equipamento
	01 (um) echo sounder modelo D390 e 01 (um) Receptor GNSS marca CHC modelo I50; (adaptado a embarcação);

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

7.3 Etapa III: levantamento de área seca do reservatório

Utilizamos para levantamento da seca do reservatório um sensor Alpha Air 450 fabricante CHC acoplado a um RPAs modelo Matrice 300 do fabricante DJI, os procedimentos realizados no desenvolvimento deste trabalho estão esquematizados no fluxograma da Figura 5.

Figura 5 – Planejamento das atividades



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O equipamento, equipado com a tecnologia LiDAR Alpha Air 450, possui um sensor IMU de alta precisão e uma câmera RGB de 20 MP em um gimbal estabilizado de 3 eixos. Indicado para levantamentos georreferenciados, inclui um sistema GNSS RTK integrado, cobrindo eficientemente até 2 km² em um voo. Ao contrário da fotogrametria, o Matrice 300 usa LiDAR, dispensando luz para operar. Esta técnica produz dados monocromáticos, e fotos anteriores são usadas para adicionar cor às informações coletadas.

Figura 6 – Equipamentos utilizados no levantamento topográfico

Foto	Equipamento
------	-------------



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Realizamos um estudo prévio do voo no Google Earth, delimitando uma área de 15 hectares. Exportamos para o programa do aeromodelo DJI Pilot, definindo parâmetros e integrando o plano de voo.

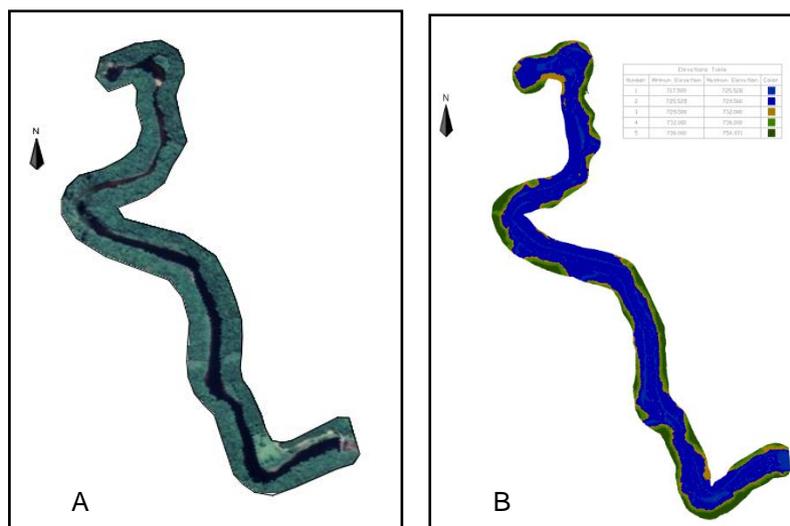
Parâmetros utilizados:

- Altura voo: 90 m
- Sobreposição lateral: 80%
- Sobreposição longitudinal: 75%
- Velocidade: 10m/s

Durante o voo autônomo, o operador apenas supervisiona a coleta de dados em tempo real. Os dados são posteriormente tratados no escritório com os softwares DJI Terra e LiDAR 360. O DJI Terra gera uma nuvem de pontos bruta a partir dos dados do Alpha Air 450, e as imagens do voo são usadas para colorir a nuvem de pontos. O arquivo resultante é exportado para o LiDAR 360, que realiza a filtragem, separando solo, vegetação e água, eliminando pontos indesejados.

Os arquivos gerados incluem Ortomosaico, MDE e curvas de níveis para CAD, além de serem compatíveis com softwares como Recap, Revit e Infracore. Também é possível criar um arquivo de nuvem de pontos 3D, georreferenciado e em escala real, enquanto as imagens podem ser exportadas em diversos formatos, incluindo GeoTIF.

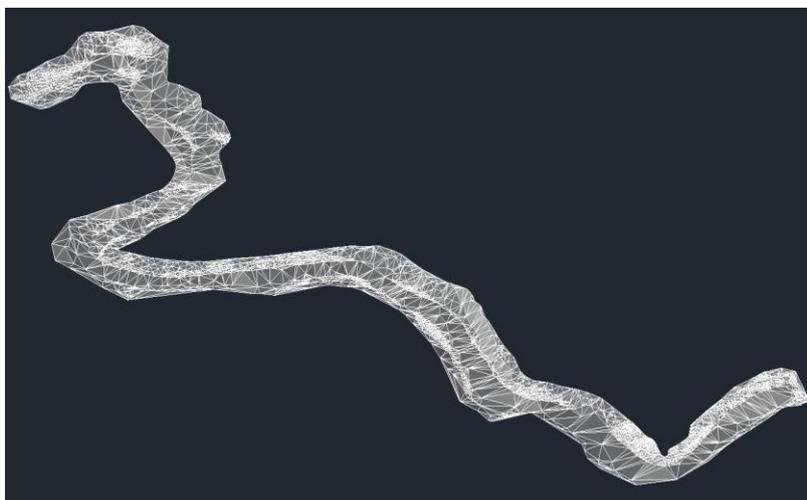
Figura 7 – Ortomosaico e MDE gerado no LIDAR 360



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

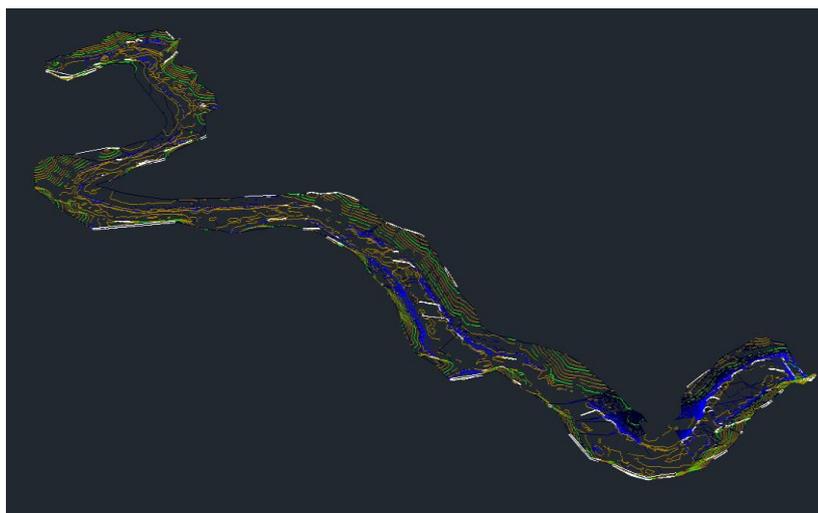
A nuvem de pontos é exportada, iniciando o processo no Civil 3D. Os pontos compatibilizados servem de base para a triangulação e formação da superfície TIN (Figura 8). A aplicação conecta pontos próximos, definindo elevações por interpolação. A superfície resultante permite a criação de curvas de nível a cada 50cm (Figura 9), essenciais para os cálculos Curvas CAV, objetivo final deste trabalho.

Figura 8 – Interpolação de pontos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 9 – Curva de nível e superfície



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

7.4 Etapa IV: compatibilização e classificação dos levantamentos

Neste estudo, coletamos dados de nuvem de pontos de ecobatímetro (áreas molhadas) e LiDAR (parte seca), ambos com origem topográfica em marcos ou pontos auxiliares. Houve exclusão de sobreposições entre as nuvens para representar com fidelidade a superfície local. A classificação da precisão, conforme Xavier (2020), é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação da precisão de acordo com o erro encontrado

Nível DOP	Qualidade	Descrição
< 1	Ideal	Máxima precisão possível
1 a 2	Excelente	Medições precisas
2 a 5	Bom	Medições com precisão adequada
5 a 10	Moderado	Qualidade moderada
10 a 20	Fraco	Nível de confiança baixa
> 20	Ruim	Precisão muito baixa

Fonte: Xavier (2020)

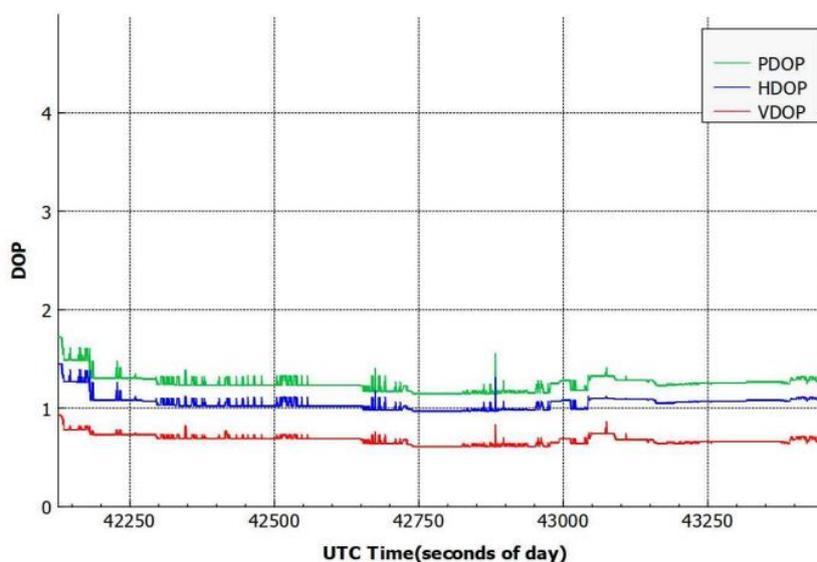
Com base nisso, os valores encontrados por esse estudo estão enquadrados em “Excelente” já que apresentaram valor do DOP menor que 1 a 2. (Tabela 7) e (gráfico 01).

Tabela 7 – DOP

Route	PDOP(AVG)	PDOP(MAX)	HDOP(AVG)	HDOP(MAX)	VDOP(AVG)	VDOP(MAX)
1	1.308	1.477	1.083	1.260	0.732	0.780
2	1.262	1.388	1.048	1.120	0.704	0.820
3	1.240	1.320	1.028	1.100	0.694	0.730
4	1.241	1.329	1.029	1.110	0.695	0.730
5	1.235	1.329	1.023	1.110	0.692	0.730
6	1.290	1.329	1.074	1.110	0.714	0.730
7	1.235	1.329	1.023	1.110	0.692	0.730
8	1.231	1.231	1.020	1.020	0.690	0.690
9	1.231	1.231	1.020	1.020	0.690	0.690
10	1.202	1.231	1.003	1.020	0.664	0.690
11	1.198	1.226	1.000	1.020	0.660	0.680
12	1.170	1.170	0.980	0.980	0.640	0.640
13	1.190	1.329	0.996	1.110	0.652	0.730
14	1.186	1.265	0.993	1.060	0.649	0.690
15	1.150	1.173	0.973	0.990	0.613	0.630
16	1.146	1.146	0.970	0.970	0.610	0.610
17	1.159	1.243	0.979	1.060	0.619	0.650
18	1.166	1.279	0.985	1.070	0.624	0.700
19	1.183	1.279	1.005	1.070	0.625	0.700
20	1.251	1.282	1.058	1.080	0.666	0.690
21	1.312	1.412	1.097	1.120	0.720	0.860
22	1.260	1.285	1.072	1.090	0.660	0.680
23	1.239	1.249	1.058	1.060	0.645	0.660
24	1.246	1.257	1.063	1.070	0.649	0.660
25	1.256	1.257	1.070	1.070	0.660	0.660
26	1.262	1.266	1.075	1.080	0.660	0.660
27	1.264	1.309	1.078	1.100	0.658	0.710

Fonte: Relatório de Análise de Qualidade

Gráfico 1 – DOP



Fonte: Relatório de Análise de Qualidade

8 RESULTADOS FINAIS

Utilizando o MDE (Modelo Digital de Elevação) gerado no software AutoCAD Civil 3D, calculamos as Curvas Cota x Área x Volume do reservatório. A ferramenta StageStorage facilitou o cálculo e a geração de relatórios com dados de cotas, área e volumes, iniciando da cota mínima até o nível normal do reservatório.

A curva Cota x Volume resulta da integração da curva Cota x Área, realizada numericamente. Calculamos as variações de volume, ΔVol , entre curvas de nível consecutivas, obtendo a média das áreas correspondentes ou pelo método de aproximação cônica. A tabela seguinte apresenta os métodos utilizados.

Tabela 8 – Planilha de curvas de cotas x áreas x volumes

COTAS X ÁREAS X VOLUMES E RESERVATÓRIO SALTO DO MEIO-SME UHE- CHAMINÉ								
COTA (m)	INTERVALO (m)	ÁREA(m ²)	ÁREA ACUMULADA (m ²)	MÉDIA DAS ÁREAS (m ²)	MÉDIA DAS ÁREAS		APROXIMAÇÃO CÔNICA	
					INCREMENTO DE VOLUME (m ³)	VOLUME ACUMULADO (m ³)	INCREMENTO DE VOLUME (m ³)	VOLUME ACUMULADO (m ³)
718,00	N/A	57,30	57,30	N/A	N/A	0,00	N/A	0,00
718,50	0,50	158,60	215,90	107,95	53,98	53,98	51,87	51,87
719,00	0,50	271,29	487,19	214,95	107,47	161,45	106,22	158,09
719,50	0,50	347,69	834,88	309,49	154,74	316,19	154,35	312,44
720,00	0,50	399,23	1.234,11	373,46	186,73	502,92	186,58	499,02
720,50	0,50	447,35	1.681,46	423,29	211,65	714,57	211,53	710,55
721,00	0,50	498,90	2.180,36	473,13	236,56	951,13	236,45	947,00
721,50	0,50	601,79	2.782,15	550,35	275,17	1.226,30	274,77	1.221,77
722,00	0,50	655,33	3.437,48	628,56	314,28	1.540,58	314,19	1.535,96
722,50	0,50	707,02	4.144,50	681,18	340,59	1.881,17	340,50	1.876,46
723,00	0,50	762,76	4.907,26	734,89	367,44	2.248,61	367,36	2.243,82
723,50	0,50	1,50	4.908,76	382,13	191,06	2.439,68	133,01	2.376,83
724,00	0,50	168,61	5.077,37	85,06	244,29	2.683,96	224,40	2.601,22
724,50	0,50	0,00	5.077,37	84,31	216,32	2.900,28	144,28	2.745,50
725,00	0,50	0,00	5.077,37	0,00	235,03	3.135,31	156,75	2.902,25
725,50	0,50	3,14	5.080,51	1,57	0,78	3.136,09	0,52	2.902,78
726,00	0,50	0,07	5.080,58	1,61	126,65	3.262,74	85,45	2.988,23
726,50	0,50	6,19	5.086,77	3,13	84,21	3.346,95	63,67	3.051,91
727,00	0,50	125,16	5.211,93	65,68	31,31	3.378,26	21,41	3.073,31
727,50	0,50	23,77	5.235,70	74,47	189,03	3.567,29	148,01	3.221,32
727,71*	0,50	0,13	5.235,83	11,95	6.617,75	10.185,04	4.421,61	7.642,93

*Nível de água máximo normal = 727,50

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

9 CONCLUSÃO

O estudo sobre topografia com RPAs destaca a vantagem da realização remota, eliminando a necessidade de deslocamento para capturar dados (DRONENG, 2020). As vantagens e desvantagens dos equipamentos e técnicas utilizados são evidenciadas, destacando que, quando aplicadas corretamente, aumentam a eficiência geral.

No serviço relatado, a combinação de métodos permitiu a complementação e compatibilização de dados, resultando em resultados consistentes para o objetivo do estudo. A complementaridade entre as abordagens é evidente, e a escolha entre elas depende do objetivo e da aplicação específica, podendo ambas serem utilizadas no mesmo serviço (SOUZA et al., 2020).

Após estudar o uso de RPAs, GNSS RTK e ecobatímetro no mapeamento do reservatório Salto do Meio, constatou-se que a metodologia atende satisfatoriamente às orientações da Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 3/2010. Isso confirma a viabilidade técnica da realização do levantamento topobatimétrico para cálculos de cotas, áreas e volumes em reservatórios, utilizando RPAs com sensor LiDAR embarcado e ecobatímetro monofeixe.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Regulamento Brasileiro da aviação Civil Especial (RBAC-E nº94). Brasília, DF: 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94> Acesso em: 26 de setembro de 2020.

Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Saiba como funciona o processo de homologação de drones. Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/saiba-como-funciona-o-processo1de-homologacao>. Acesso em: 27 de setembro de 2020.

ANA (Agência Nacional de Águas). Orientações para atualização das curvas cota x área x volume. Brasília: Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2013.

ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica). Comunicação Pessoal. 2003.

AUTODESK HELP. Sobre a criação de uma superfície TIN - Suporte e aprendizado [documento eletrônico]. Knowledge Networks, Civil 3D, 2018. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/ptbr/support/civil3d/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Civil3D-UserGuide/files/GUID-D0FCED34-D68F-42D2-A6FB-14C454CA57FA-htm.html>. Acesso em: 04 jan. 2023.

Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(1), 73-94, (2016).

BASTOS, Bruno da Cunha; ERCOLIN FILHO, Leonardo. Utilização da tecnologia LiDAR em projetos de engenharia de infraestrutura viária. In: Córdoba. XI Congresso Nacional y VIII Latino-Americano de Agrimensura, 2012.

BORGES, Rodrigo Cella & SILVA, Sávio Torres da. Usos de Drones em Estudos Ambientais. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande/MS: 2018-2. [On Line]. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Savio_Torres_Da_Silva/publication/330834388_USOS_DE_DRONES_EM_ESTUDOS_AMBIENTAIS/links/5c561a4892851c22a3a4b516/USOS-DE-DRONES-EM-ESTUDOS-AMBIENTAIS.pdf origin=profileFeaturedResearchPublicationItem Acesso em 09 de setembro de 2020.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro (ICA 100-40). Brasil, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5250> Acesso em: 26 de setembro de 2023.

DRONENG. 3 motivos para utilizar drones na Topografia. Blog DRONENG, 2020. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/3-motivos-para-utilizar-drones-na-topografia/>. Acesso em: 25 dez. 2022.

FRANCO, Tarcísio Petter Luiz. Uso do Sistema LiDAR na geração de MDT e avaliação segundo Padrões de exatidão cartográfica. Monografia (Especialização em Geoprocessamento), Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Cartografia. Belo Horizonte, 2006.

MAPPA, Processamentos de imagem de drones. MDT e MDS: o que é e qual a diferença? Blog MAPPA Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/modelos1digitais-de-terreno-e-superficie-mdt-e-mds/>. Acesso em: 10 Dez 2022.

SOUZA, D. J. S.; CAMPOS, J. T.; MORAIS, J.; MARTELLA, K.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Levantamentos topográficos utilizando drones e GNSS. 2020. Disponível em: https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1mackenzie/universidade/lab-oratorios/labgeo/2021/ARTIGO_LEVANTAMENTOS_TOPOGR%C3%81FICOS_UTILIZANDO_DRONES_E_GNSS.pdf. Acesso em: 21 dez. 2022.

XAVIER, Brayan Sedlacek. Topografia: levantamento convencional x aerofotogrametria. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Ensinar Brasil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2020.