

Universidade Federal de Pelotas  
Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim  
NEPE HidroSedi – Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Hidrometria e  
Sedimentologia para o Manejo de Bacias Hidrográficas

## **Relatório Técnico I**



### **Levantamento Batimétrico** **Reservatório da Barragem AUD – Camaquã, RS**



**2020**

## **Apresentação**

A barragem do Arroio Duro, está localizada a cerca de 7 km da BR-116, km 400, no município de Camaquã-RS, sendo implantada no Arroio Duro. É uma barragem de terra, com 1.450 metros de comprimento e altura máxima de 20 metros. No extremo da ombreira esquerda está localizado o vertedor e a tomada d'água, ambas estruturas de concreto, sendo que o túnel adutor da tomada d'água possui diâmetro de 1,80 metros, e 140 metros de comprimento, com descarga máxima de 28 m<sup>3</sup>/s, já o vertedor possui vazão máxima de 370 m<sup>3</sup>/s. Sua bacia de captação possui área de 290 km<sup>2</sup> e armazena um total de 170 milhões de metros cúbicos de água, com capacidade para irrigar cerca de 19.000 hectares.

A barragem supracitada foi inaugurada em 1967 pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). Em 1986, foi fundada a Associação de Usuários do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro-AUD, com o intuito de auxiliar o DNOS na operação e manutenção do perímetro irrigado em questão. Portanto, em 1990, após extinção do DNOS, firmou-se convênio entre o Governo Federal e a AUD para que a essa assumisse a administração, operação e manutenção desse perímetro irrigado. Com isso, passou a ser preocupação da direção da AUD oferecer assistência técnica, tecnologia operacional, informações meteorológicas e conhecimentos sobre o cultivo de arroz para os associados da AUD.

A barragem da AUD possui como principal objetivo atuar na regularização de vazões advindas do Arroio Duro, bem com drenar o Banhado do Colégio e demais áreas adjacentes. O reservatório da Barragem do Arroio Duro atua armazenando água no inverno, e disponibilizando-a nos períodos de safra da região.

O perímetro de irrigação do Arroio Duro conta com uma área de aproximadamente 60.000 hectares, atendendo a produtores de arroz e soja. Utilizando-se de alguns dos limites, o perímetro irrigado está compreendido entre o limite norte, representado pela BR-116 e a estrada estadual Camaquã-Tapes, e pelo limite leste representado pela estrada da Terra Dura até a ponte sobre o dreno Estacada.

Considerando os mais de 53 anos de operação da barragem, observou-se necessidade de avaliar os volumes atuais de armazenamento, transcorrido esse tempo de uso ininterrupto do sistema.

Para tanto, Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim e o NEPE-HidroSedi, respectivamente estruturas administrativa e de pesquisa da Universidade Federal de Pelotas, elaboraram o levantamento aerofotogramétrico e batimétrico do Reservatório da Barragem AUD para que a gestão responsável pelo perímetro irrigado do Arroio Duro tenham suporte de informações que permita planejar a irrigação para seu quadro de associados, que atualmente conta com 400 produtores de arroz localizados na abrangência do Perímetro Irrigado.

Esse documento aponta as estruturas de análise e apresenta os resultados em mapas, gráficos e tabelas, os quais poderão ser amplamente consultados, pelos operadores.

**Levantamento Batimétrico**  
**Reservatório da Barragem AUD – Camaquã, RS**

**2020**

Dados de Catalogação na Publicação (CIP) Internacional Aline  
Herbstrith Batista – CRB 10/1737  
Biblioteca Campus Porto - UFPel

R382 Relatório Técnico I: levantamento batimétrico, Reservatório da Barragem do AUD – Camaquã, RS / Universidade Federal de Pelotas, Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim; elaboração Gilberto Loguercio Collares, Alexandre Felipe Bruch, George Marino Soares Gonçalves, Guilherme Kruger Bartels, Janice Ferreira da Silveira. - Pelotas: UFPel ; ALM, 2020.

23 p. ;il.

1.Barragem do Arroio Duro. 2.Levantamento batimétrico. 3. Agência da Lagoa Mirim. I. Universidade Federal de Pelotas. II. Collares, Gilberto Loguercio. III. Bruch, Alexandre Felipe. IV. Gonçalves, George Marino Soares. V. Bartels, Guilherme Kruger. VI. Silveira, Janice Ferreira da.

CDD: 631.7

### **Equipe de elaboração**

Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares – Coordenador

Prof. Alexandre Felipe Bruch

Eng. George Marino Soares Gonçalves

Eng. Guilherme Kruger Bartels

Eng. Janice Ferreira da Silveira

### **Equipe de apoio técnico e operativo**

Eng. Lukas dos Santos Boeira

Eng. Lucas Souza Viegas

Tec. Reginaldo Bonczynski Galski

Leandra Martins Bressan

Alessandra Magnus Lazuta

Victória de Souza Wojahn

## **Agradecimentos**

Agradecemos a Universidade Federal de Pelotas, pelo suporte e disponibilidade de suas estruturas para a execução deste trabalho, a Associação dos Usuários do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro - AUD por requerer a atenção de nossa equipe para com demandas que apontam soluções ao desenvolvimento e melhor gestão do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro, localizado em Camaquã - Rio Grande do Sul.

A equipe NEPE-HidroSedi, o Laboratório de Hidrometria e Sedimentologia da Engenharia Hídrica e a Agência da Lagoa Mirim - ALM.

## Sumário

Justificativa .....	5
Objetivos .....	5
Introdução .....	6
Materiais e métodos .....	7
Localização .....	7
Equipamentos .....	8
Obtenção dos dados .....	11
Cubagem do reservatório .....	14
Resultados .....	13
Conclusões .....	15
Recomendações .....	16
Anexos .....	

## **Justificativa**

A água doce é um recurso finito, de vital importância para a existência humana e para a produção de alimentos. Com isso, para garantir o abastecimento populacional e a atividade de irrigação na agricultura o município de Camaquã-RS conta com a Barragem do Arroio Duro desde a década de 80. Entretanto, desde sua construção até os tempos atuais, alterações provocadas pelo intemperismo e ações antrópicas no volume de água armazenado jamais foram mensuradas. Com isso, a avaliação da capacidade atual de armazenamento da estrutura torna-se importante uma informação para apoiar a gestão dos recursos hídricos e trazer segurança hídrica para o município.

## **Objetivo geral**

Realizar levantamentos aerofotogramétrico e batimétrico do Reservatório da Barragem do Arroio Duro, com o intuito de mapear feições e formas do relevo e leito submerso do reservatório em questão. Também é objetivo desse relatório técnico, fornecer subsídios ao poder público e privado na tomada de decisões que levem em consideração valores de volume d'água e área inundável.

## **Objetivos específicos**

- i) Realizar voos das áreas marginais do reservatório utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT);
- ii) Processar imagens de voos para determinação da topografia das áreas de margem e zonas secas do reservatório;
- iii) Realizar a amostragem de uma malha de pontos batimétricos na área alagada do reservatório da barragem;
- iv) Processar dados batimétricos através de filtragem, checagem e adequação dos pontos amostrados no lago da barragem;
- v) Gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) a respeito das áreas amostradas;
- vi) Gerar curvas de nível intervaladas a cada 0,5 metros de distância para as áreas amostradas;
- vii) Obter as relações entre cota e área, cota e volume, cota e porcentagem de volume acumulado para o reservatório.

## Introdução

O homem possui em sua história de existência uma forte ligação e dependência dos recursos hídricos, sendo a construção de reservatórios considerados de grande importância para o desenvolvimento das civilizações ao longo dos séculos. Entretanto, é bastante vasta a aplicação de reservatórios de água, podendo ser utilizados com a finalidade de retenção de volumes d'água para contenção de enchentes, segurança hídrica (prover água em períodos de seca), lazer, paisagismo, geração de energia, navegação, agricultura, entre outros.

Contudo, para a garantia de operação de um determinado reservatório, ao passar dos anos, é de extrema importância que sejam realizados levantamentos batimétricos, para que se possa aferir as informações acerca do volume d'água reservado e de sua área de inundação, pois essas variáveis são diretamente influenciadas pela alteração da conformação do leito da área alagada. Essas alterações podem ser ocasionadas por deposição de sedimentos, gerando como consequência a diminuição do volume útil de um reservatório, também pode ser ocasionado por atividades de dragagem, gerando como consequência o aumento do volume útil.

O processo de obtenção de dados batimétricos passou por grande evolução no decorrer do tempo, tendo sido realizado no passado com técnicas pouco complexas em que empregavam-se varas ou cordas milimetradas, as quais eram dispostas até o leito do curso d'água, junto disso obtinha-se a posição dessa medida com o auxílio de um sextante, e então se coletavam pontos de batimetria com a repetição desse procedimento. Ainda no século passado, após acidente ocorrido com o icônico Titanic, deu-se início a utilização das primeiras eco sondas para identificação de feições em leitos de corpos d'água, tendo ambos ocorridos em 1912. A utilização de eco sondas parte do princípio da emissão de um som a partir de um corpo emissor, esse som se desloca pela coluna de água, se choca com o leito e reflete até um elemento que o captura, sendo que o tempo de deslocamento desse pulso acústico é transformado em distância e, por conseguinte, profundidades, permitindo a agilidade e segurança na obtenção de sucessivos pontos de batimetria.

Como consequência, levantamentos batimétricos se tornaram muito mais densos em números de pontos coletados, bem como mais precisos quando avaliada a fidelidade da informação observada *in situ*, permitindo aos profissionais da área, geração de mapas contínuos (quando se estimam dados para locais não observados) usando-se técnicas de interpolação geoestatística das informações obtidas nos levantamentos batimétricos, resultando em mapas que cobrem a totalidade da área de interesse (considerando dados observados e estimados).

## Materiais e Métodos

### Localização

O reservatório da Barragem AUD localiza-se no município de Camaquã, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1), e recebe o curso d'água Arroio Duro. De acordo com Associação dos Usuários do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro (AUD), a barragem conta com uma bacia de captação de 290 km<sup>2</sup>, sendo que o reservatório possui capacidade de armazenar um volume de 170.000.000 m<sup>3</sup> de água. Ainda segundo a AUD, atualmente, a barragem possui a capacidade de irrigar 19.000 hectares, sendo essa sua principal atividade, que agrega função social e econômica.

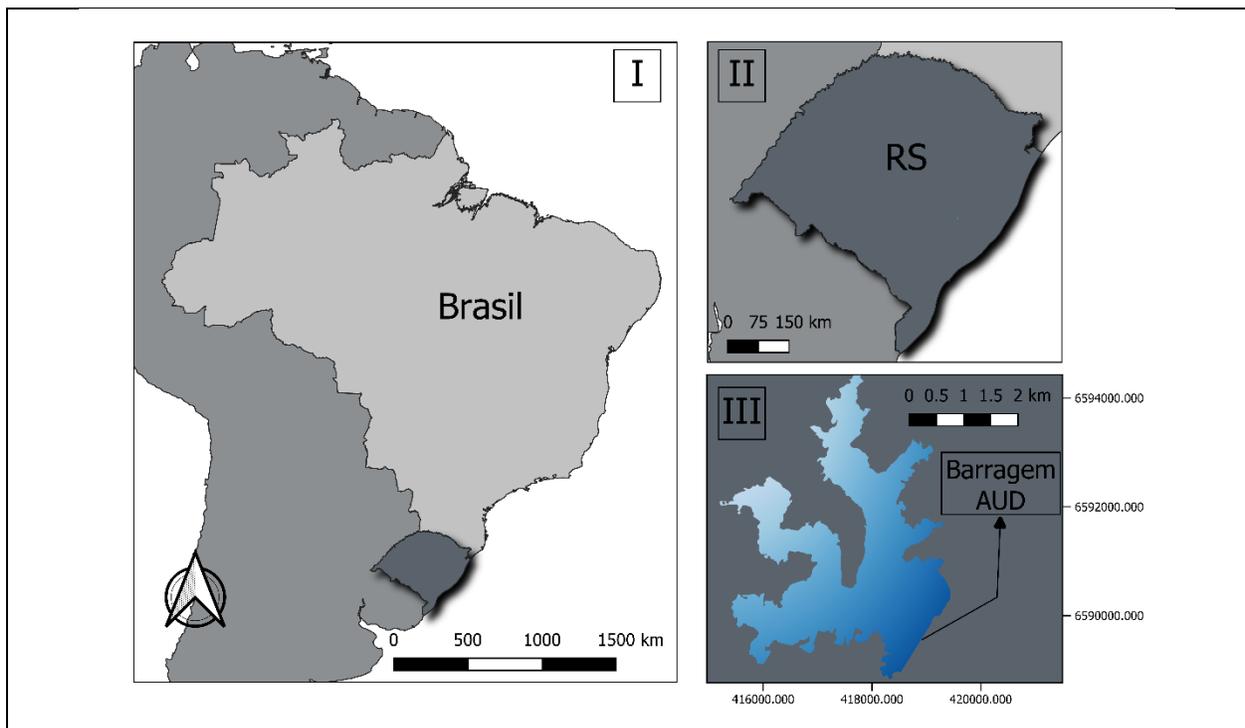


Figura 1: Localização do reservatório da Barragem AUD

A área na qual foram realizados os levantamentos aerofotogramétrico e batimétrico, buscando contemplar as áreas de margem e alagada a montante do eixo principal da barragem, possuem juntas aproximadamente 3.100 hectares.

## Equipamentos

Para agregar precisão posicional aos produtos cartográficos gerados e permitir a união dos diferentes dados para a realização da presente avaliação técnica foi utilizado par do equipamento GNSS RTK modelo Reach RS2, fabricado pela empresa Emlid (Figura 2A). Para a captura de imagens da região fora da área de inundação do reservatório foi utilizado Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) modelo Zangão V, fabricado pela empresa SkyDrones com sensor de imagem embarcado modelo Sony A6000 (Figura 2B). Além disso, ao longo da área imageada foram dispostos alvos foto interpretáveis e realizada a coleta das coordenadas geográficas centrais destes pontos com uso do GNSS RTK supracitado para garantir precisão posicional aos produtos cartográficos gerados e permitir a validação das informações produzidas (Figura 2C).

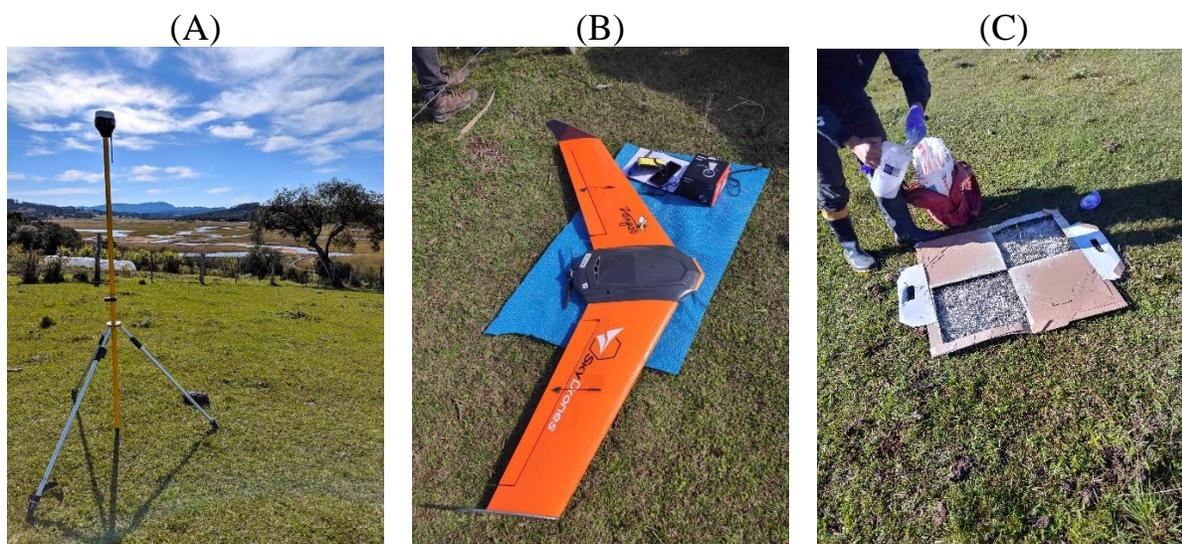


Figura 2: (A) Equipamento utilizado para levantamento dos pontos de controle, (B) para realização dos voos com VANT e (C) alvo foto identificável sendo instalado

Para a obtenção dos dados batimétricos em área alagada, utilizaram-se basicamente dois equipamentos instalados em um barco a motor. Um ecobatímetro, equipamento que se utiliza do princípio de emissão e recepção de pulsos acústicos na coluna d'água, e um GNSS para a obtenção dos dados das coordenadas geográficas.

O ecobatímetro emite um pulso acústico em direção ao leito do corpo hídrico, recebe o retorno do pulso, e pelo tempo de deslocamento do som, o equipamento calcula a profundidade do local (Figura 3).

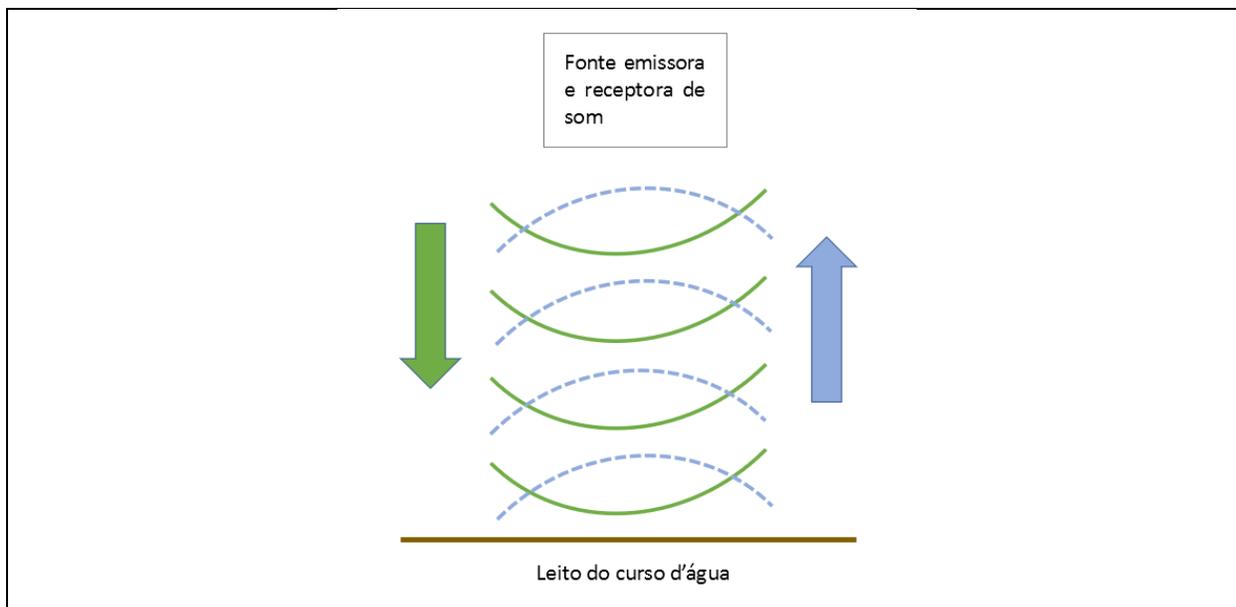


Figura 3: Princípio utilizado para medição da profundidade através da emissão e recepção de sons em direção ao leito do curso d'água

Para esse levantamento batimétrico utilizou-se um Ecobatímetro South SDE-28S acoplado a um Transdutor (Figuras 4 e 5). Para mais detalhes sobre o equipamento, bem como especificações, características e limitações é possível consultar o catálogo oficial disponibilizado pelo fabricante em:

<http://www.southinstrument.com/userdata/UploadFiles/down/201842593919839.pdf>

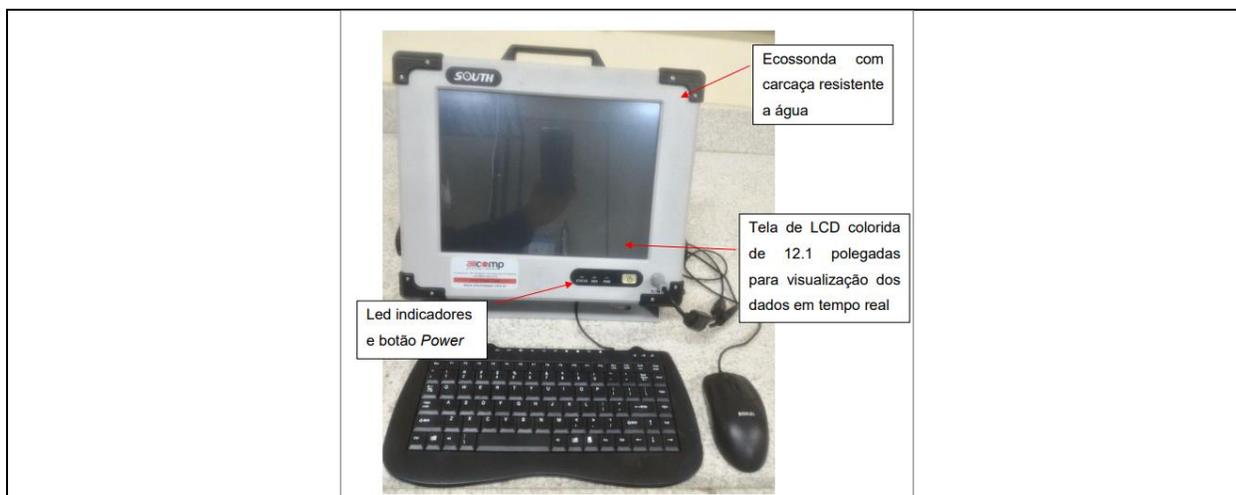


Figura 4: Ecobatímetro South SDE-28S



Figura 5: Transdutor utilizado com o ecobatímetro

O GPS utilizado foi do tipo GNSS, o qual realiza seu posicionamento a partir de vários satélites, aumentando sua precisão na obtenção de coordenadas geográficas.

Para o levantamento batimétrico utilizou-se um GNSS Magellan AshtechProMark 500 (Figura 6). Outros detalhes sobre o equipamento, bem como especificações, características e limitações pode ser consultado o manual de usuário, oficial do fabricante, em:

[https://ashgps.com/2/ProMark%20500/Manuals/PM500%20Getting%20Started%20Guide/ProMark500\\_GSG\\_en\\_F.pdf](https://ashgps.com/2/ProMark%20500/Manuals/PM500%20Getting%20Started%20Guide/ProMark500_GSG_en_F.pdf).



Figura 6: GNSS AstechProMark 500

## **Obtenção dos dados**

Para realização do presente relatório técnico foram conduzidas três atividades de obtenção de dados capazes de representar as superfícies expostas e aquelas submersas, sendo elas: levantamento batimétrico, mapeamento aerofotogramétrico e levantamento topográfico.

### **Levantamento Batimétrico**

Determinou-se uma malha amostral (Figura 7) interna a área alagada para realização do levantamento batimétrico, sendo levantados pontos contendo coordenada X (Latitude), coordenada Y (Longitude) e coordenada Z (Profundidade).

O levantamento batimétrico (amostragem da malha) foi realizado entre 29 e 31 de julho de 2020. Ao final, amostrou-se um total de 23.278 (vinte e três mil duzentos e setenta e oito) pontos na área do reservatório da Barragem do Arroio Duro. Para motivo de referência, todos os dados amostrados, durante os três dias de campanha batimétrica, foram colocados em referência ao conjunto de réguas linimétricas instaladas na margem esquerda, à montante do vertedor do barramento.

As linhas de amostragem paralelas ao eixo do barramento, possuem intervalos entre si variados, porém com média de espaçamento de 150 metros entre linhas. As linhas de amostragem perpendiculares ao eixo do barramento também possuem espaçamentos variados, porém, com espaçamento médio de 300 metros (Figura 7).

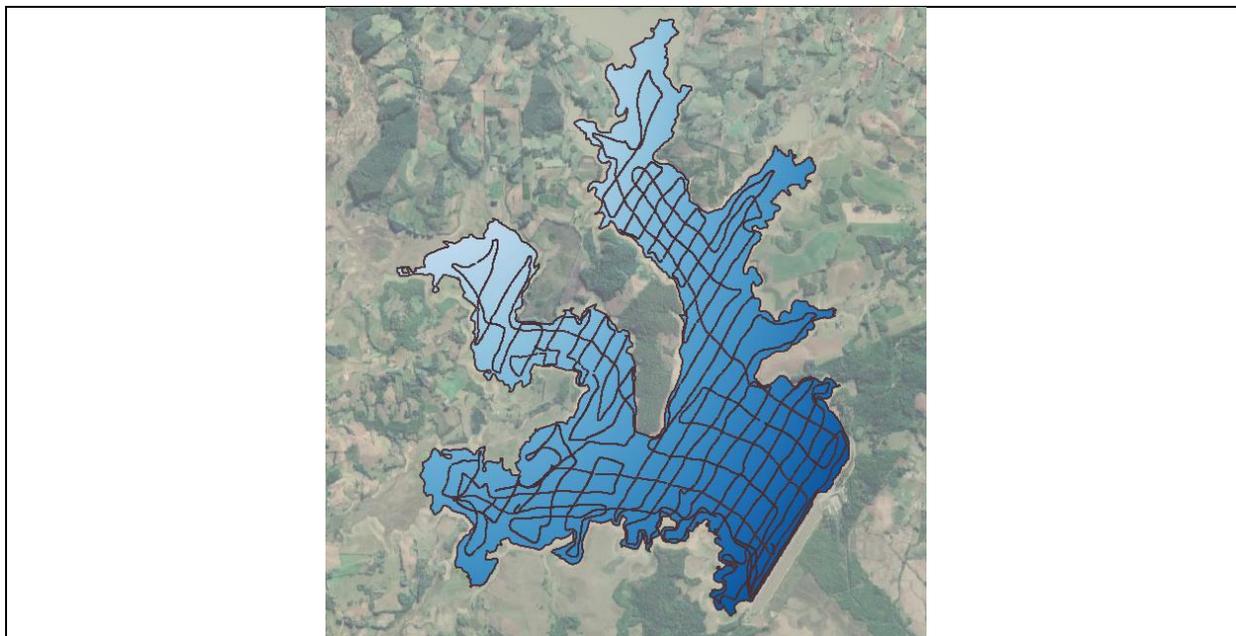


Figura 7: Malha batimétrica amostrada no reservatório da Barragem do Arroio Duro.

## **Mapeamento Aerofotogramétrico**

Nesta etapa foram capturadas imagens da região de inundação do reservatório cujo terreno encontrava-se exposto e áreas adjacentes. Foram planejados 9 polígonos de voo (Figura 8) com área de cerca de 340 hectares cada ao longo dos quais foram capturadas imagens com taxas de sobreposição longitudinal e lateral de 80% e 75%, respectivamente.

A aquisição das imagens se deu nos dias 13, 15, 21 e 22 de julho de 2020, onde foram capturadas 4106 imagens. Estas imagens foram posteriormente tratadas e processadas em software fotogramétrico.

## **Levantamento Topográfico**

A topografia convencional foi empregada a fim de garantir precisão posicional aos produtos cartográficos gerados e permitir a união dos diferentes dados para a realização da presente avaliação técnica. Previamente à execução de cada um dos voos com VANT, foram instalados e coletados com GNSS RTK 74 pontos foto identificáveis dentro das áreas dos polígonos de voo a serem utilizados como apoio ao mapeamento fotogramétrico (Figura 8).

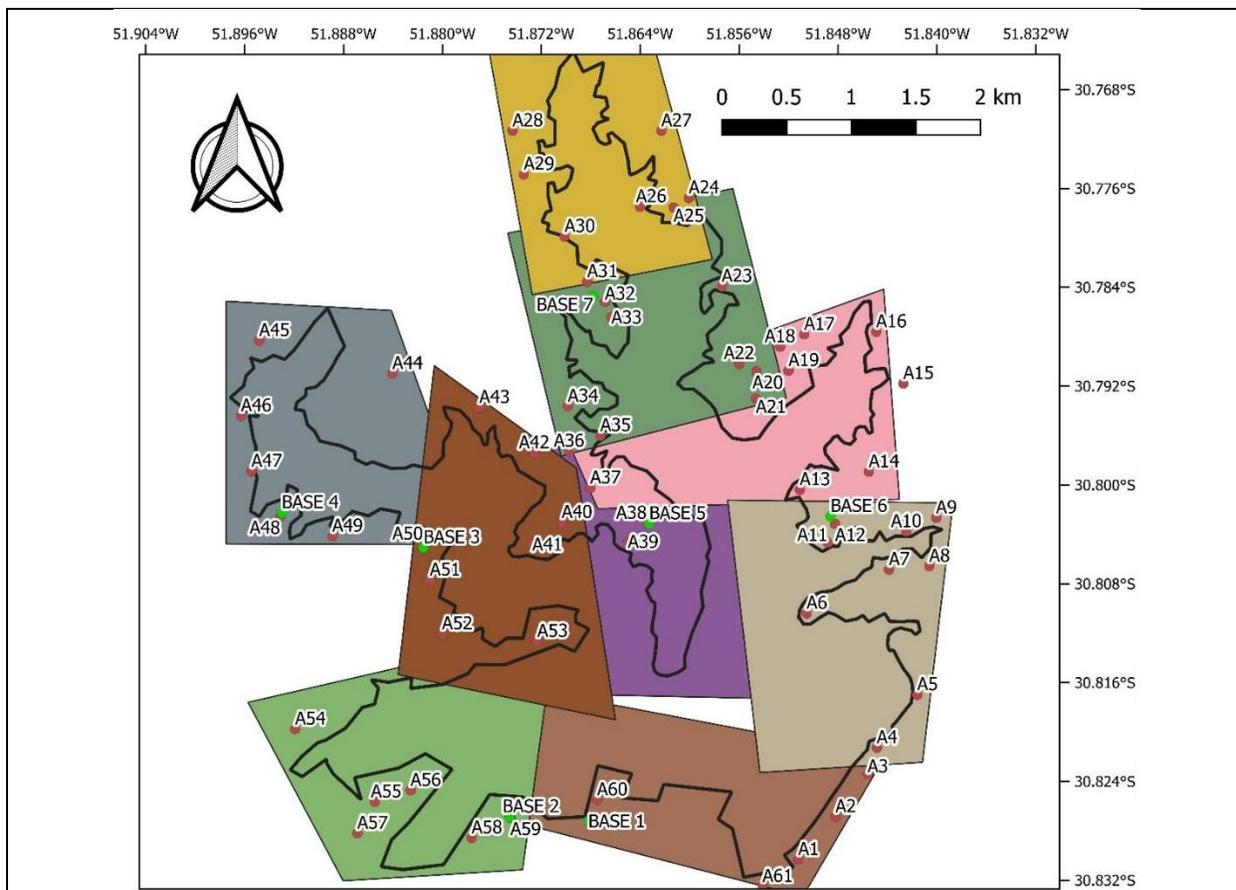


Figura 8: Polígonos planejados e pontos de controle levantados.

## Interpolação dos dados

### Batimetria

Utilizou-se 80% do total de pontos amostrados para aplicação em técnicas e ferramentas de geostatística para geração dos mapas de superfície contínua 2D e 3D, bem como, curvas de nível. O restante dos pontos amostrados foi utilizado para conferência e validação dos mapas e curvas de nível.

### Mapeamento aéreo

Utilizou-se 4106 imagens juntamente com 55 pontos de apoio divididos entre 38 de calibração (ponto de controle) e 17 de validação (ponto de checagem) para aplicação em software fotogramétrico para geração dos mapas de superfície contínua 2D e 3D, bem como, curvas de nível.

## **Cubagem do reservatório**

A partir das curvas de nível, pode-se realizar o cálculo de área, volume, e porcentagem de volume acumulado referente a cada uma dessas curvas. As curvas de nível possuem intervalos de cotas de 0,5 metros, portanto, realizou-se inicialmente a relação entre cota e área, cota e volume, cota e porcentagem de volume útil, fazendo uso desse intervalo.

Os dados de cubagem iniciam-se com a cota 40,28 metros (cota de nível mínimo para captação de água no reservatório), até a cota 54,88 metros (cota da crista do vertedor). Essas relações foram construídas de forma gráfica, e dispostas em tabelas.

## **Resultados**

### **Ortofoto:**

Ortofoto com resolução de 7cm por pixel, abrangendo áreas marginais do reservatório, conforme apresentado no **Mapa 1**.

### **MDE do reservatório:**

Modelo Digital de Elevação (MDE) resultante da interpolação dos dados batimétricos, unido aos resultados da aerofotogrametria. Essa representação utiliza-se de escala 1:15000, conforme apresentado no **Mapa 2**.

### **Curvas de nível:**

Curvas de nível com intervalo de 0,5 metros, iniciando-se pela curva de nível de cota altimétrica 56 metros, até a curva de nível de cota altimétrica 37 metros, e a escala utilizada para essa representação foi 1:10000, conforme apresentado no **Mapa 3**.

### **Cubagem do reservatório:**

Relação entre Cota e Área, Cota e Volume, Cota e Porcentagem do Volume Acumulado. Essas relações estão expressas na forma de gráficos e tabelas, conforme apresentado nos **Anexos de 1 a 5**.

## **Conclusões**

Conclui-se que a batimetria e aerofogrametria realizadas atenderam os objetivos inicialmente propostos, tendo gerados produtos técnicos capazes de responder à questionamentos acerca da capacidade de armazenamento atual do Reservatório da Barragem AUD – Camaquã, RS, assim como foi capaz de identificar e mapear as feições existentes no leito desse.

## **Recomendações**

Tendo em vista a importância e magnitude da obra, não só para a região, mas para o estado do Rio Grande do Sul, recomenda-se o acompanhamento futuro das taxas de sedimentação do reservatório. Essa atividade pode, inicialmente, ser atendida com a implantação de seções transversais no lago, para então, realização de batimetrias sequenciais, nas referidas seções, com a intenção de estabelecer informações que possam ser comparadas ao longo do tempo, estimando as variações possíveis.

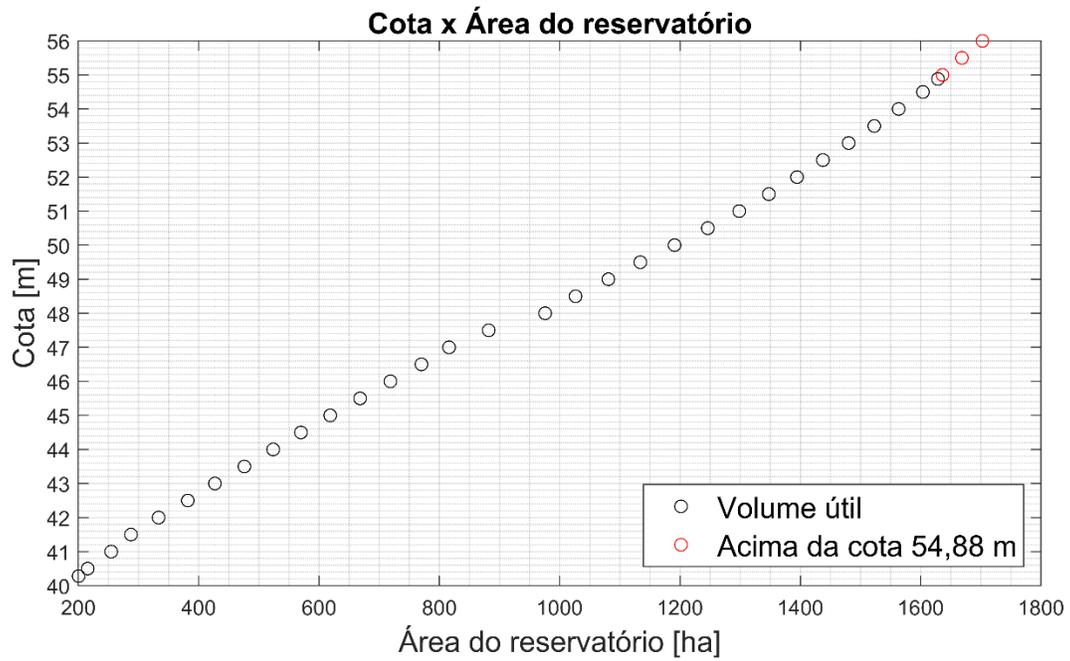
## Anexo 1

Tabela referente aos resultados da cubagem do reservatório.

Cota [m]	Área [ha]	Volume TOTAL armazenado x 10 <sup>6</sup> [m3]	Volume ÚTIL armazenado x 10 <sup>6</sup> [m3]	% Volume ÚTIL acumulado
56	1702.55	154.52	151.96	
55.5	1668.43	146.10	143.54	
55	1636.09	137.84	135.28	
54.88	1628.65	135.88	133.32	100.00
54.5	1603.60	129.73	127.18	95.39
54	1563.28	121.81	119.25	89.45
53.5	1522.75	114.10	111.54	83.66
53	1480.08	106.59	104.03	78.03
52.5	1437.38	99.30	96.74	72.56
52	1394.40	92.22	89.66	67.25
51.5	1347.55	85.36	82.80	62.11
51	1298.31	78.74	76.18	57.14
50.5	1246.05	72.38	69.82	52.37
50	1190.86	66.28	63.73	47.80
49.5	1133.98	60.47	57.92	43.44
49	1080.96	54.94	52.38	39.29
48.5	1026.30	49.67	47.11	35.34
48	975.82	44.67	42.11	31.58
47.5	881.87	39.97	37.41	28.06
47	816.02	35.74	33.18	24.89
46.5	770.08	31.78	29.22	21.92
46	718.64	28.05	25.49	19.12
45.5	668.15	24.59	22.03	16.53
45	618.59	21.37	18.81	14.11
44.5	569.83	18.40	15.85	11.89
44	523.72	15.67	13.11	9.83
43.5	475.85	13.17	10.61	7.96
43	426.86	10.91	8.35	6.26
42.5	381.81	8.89	6.33	4.75
42	333.29	7.10	4.55	3.41
41.5	287.42	5.55	2.99	2.24
41	254.62	4.20	1.64	1.23
40.5	215.51	3.01	0.46	0.34
40.28	200.41	2.56	0.00	0.00

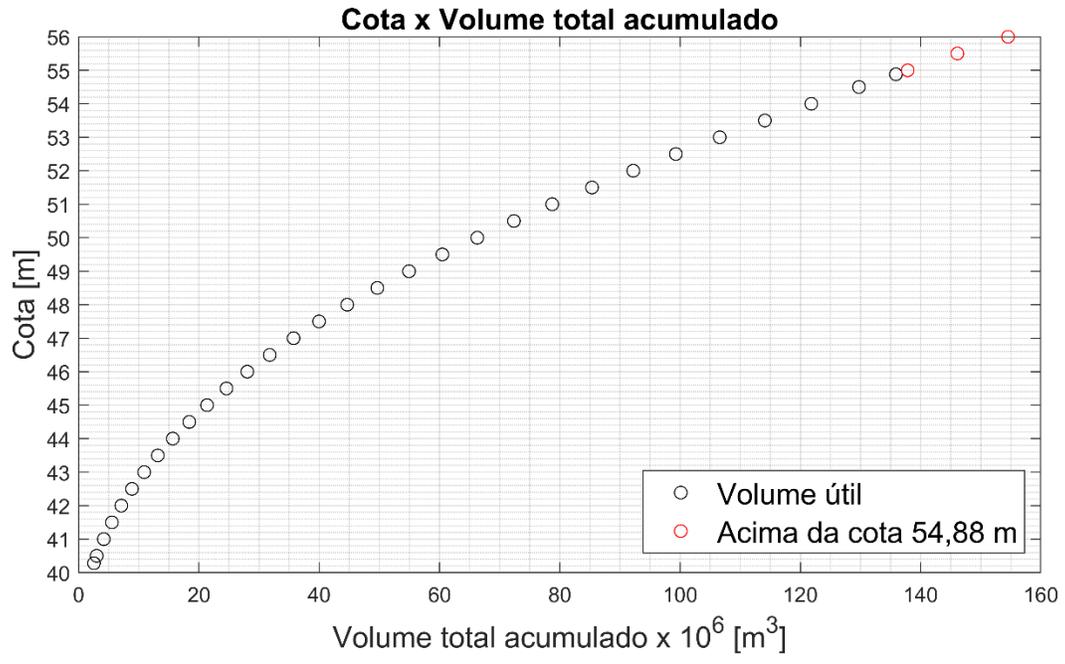
## Anexo2

Relação entre Cota e Área, a partir da cubagem do reservatório.



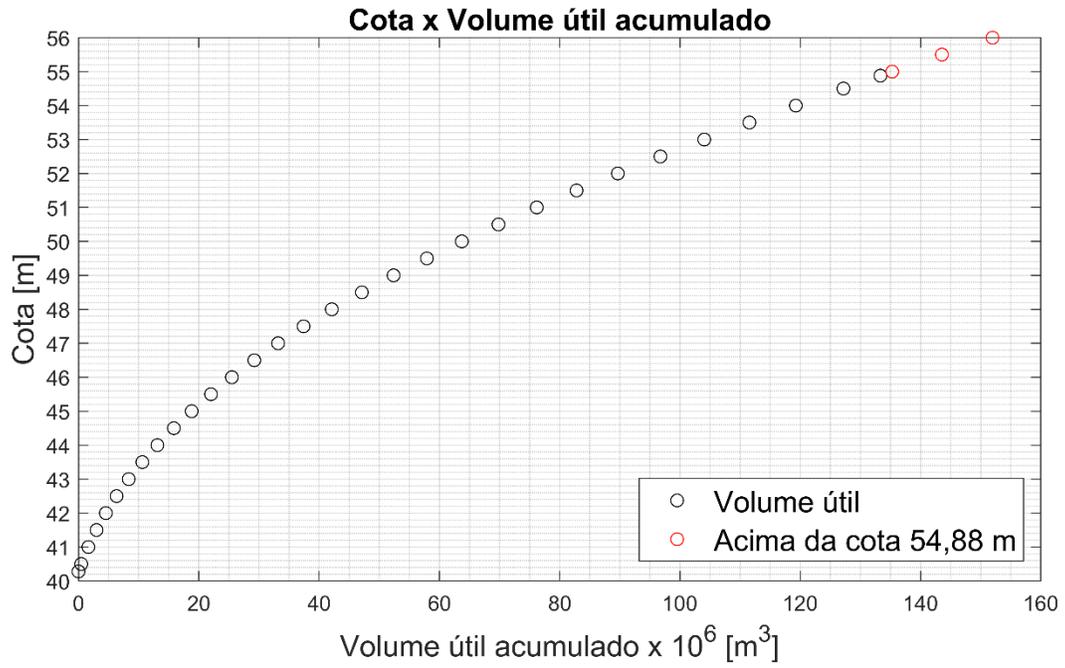
### Anexo 3

Relação entre Cota e Volume Total, a partir da cubagem do reservatório.



#### Anexo 4

Relação entre Cota e Volume Útil, a partir da cubagem do reservatório.



## Anexo 5

Relação entre Cota e Porcentagem do Volume Acumulado Útil, a partir da cubagem do reservatório.

