

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO NAS BACIAS E LAGOAS DO
TERMINAL MARÍTIMO PONTA DA MADEIRA EM SÃO LUIS – MA E SUA
CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL**

Rafael Pereira Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias

São Luís – MA

2024

RAFAEL PEREIRA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO NAS BACIAS E LAGOAS DO
TERMINAL MARÍTIMO PONTA DA MADEIRA EM SÃO LUIS – MA E SUA
CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Área de Concentração: Oceanografia Física

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias

São Luís - MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Pereira Oliveira, Rafael.

AValiação DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO NAS BACIAS E LAGOAS DO TERMINAL MARÍTIMO PONTA DA MADEIRA EM SÃO LUIS MA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL / Rafael Pereira Oliveira. - 2024.

58 p.

Orientador(a): Francisco José Silva Dias.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Oceanografia/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, Sao Luis - Ma, 2024.

1. Assoreamento. 2. Dragagem. 3. Batimetria. 4. Esg. I. Silva Dias, Francisco José. II. Título.

OLIVEIRA, Rafael Pereira. Avaliação do processo de assoreamento nas bacias e lagoas do Terminal Marítimo Ponta da Madeira em São Luis – Ma e sua contribuição para o sistema de gestão ambiental. 2024. 58 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Área de Concentração: Oceanografia Física

Aprovada em: ____/____/____

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias
Universidade Federal do Maranhão
ORIENTADOR

Prof. Dr. Audalio Rebelo Torres Junior
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Denilson da Silva Bezerra
Universidade Federal do Maranhão

São Luís
2024

À Deus, primeiramente, e à minha família,
pela paciência, incentivo, e acima de tudo,
pelo amor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me guiar e me inspirar durante todo o período de pesquisa e escrita. Sem a sua direção, eu não teria a capacidade e a motivação para superar os desafios e dificuldades que encontrei ao longo do caminho.

Agradeço ao Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias, onde gostaria de expressar minha profunda gratidão pelo seu apoio, orientação e paciência durante todo o processo de escrita e conclusão da minha dissertação de mestrado.

Por fim, gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha família, em especial Fabrizia Oliveira, Rafaella Oliveira e Isabella Oliveira, e amigos pelo seu apoio, amor e encorajamento constante. Suas palavras de incentivo me ajudaram a superar os momentos difíceis e a permanecer motivado até o fim.

Mais uma vez, obrigado a todos que me ajudaram nesta jornada.

OLIVEIRA, Rafael Pereira. Avaliação do processo de assoreamento nas bacias e lagoas do Terminal Marítimo Ponta da Madeira em São Luis – Ma e sua contribuição para o sistema de gestão ambiental. 2024. 58 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão.

RESUMO

A preocupação das indústrias de todo o mundo com o meio ambiente é antiga, e nos últimos anos a sigla ESG - *Environmental, Social and Governance*, (Ambiental, Social e Governança) tem ganhado cada vez mais espaço nas organizações. Diante dessa nova variável, a elaboração e execução de ações preventivas aumentaram e novos controles estão sendo exigidos para uma melhor gestão das empresas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de assoreamento que ocorre nas bacias e lagoas de decantação do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, através de levantamentos batimétricos. Para o estudo foram utilizados os dados batimétricos cedidos pela VALE S/A, buscando o entendimento do comportamento do assoreamento em diferentes períodos e a tratativa realizada pela empresa para gerenciamento deste problema. Os levantamentos batimétricos foram realizados utilizando um barco autônomo e processados via software Hypack. Os resultados mostraram que com o controle das bacias, via batimetria e com dragagens efetivas, os níveis das bacias se mostraram estáveis, sem ocorrências de transbordo ou vertimentos para a comunidade do Fumacê e para o Complexo Estuarino de São Marcos – CESM, em caso de vertimentos para o CESM a água estaria com todos os parâmetros dentro das normas ambientais vigentes, CONAMA 430. Podemos concluir que a gestão das bacias com batimetrias, dragagens e um controle ambiental referente a qualidade da água está, efetivamente, garantindo uma conformidade conforme as regras de ESG exigidas às organizações.

Palavras Chaves: ESG, Batimetria, Dragagem, Assoreamento.

OLIVEIRA, Rafael Pereira. Avaliação do processo de assoreamento nas bacias e lagoas do Terminal Marítimo Ponta da Madeira em São Luis – Ma e sua contribuição para o sistema de gestão ambiental. 58 f. Thesis (Master). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brazil, 2024.

Advisor: Dr. Francisco José da Silva Dias

Line of research: Coastal and Oceanic Systems Dynamic.

ABSTRACT

The concern of industries around the world with the environment is long-standing, and in recent years the acronym ESG - Environmental, Social and Governance, has gained more and more space in organizations. Faced with this new variable, the development and execution of preventive actions have increased and new controls are being required for better company management. The objective of this work was to evaluate the silting process that occurs in the basins and settling ponds of the Ponta da Madeira Maritime Terminal, through bathymetric surveys. For the study, bathymetric data provided by VALE S/A was used, seeking to understand the behavior of silting in different periods and the treatment carried out by the company to manage this problem. The bathymetric surveys were carried out using an autonomous boat and processed using Hypack software, license nº 04B8857917004341. The results showed that with control of the basins, via bathymetry and effective dredging, the levels of the basins were stable, with no occurrences of overflow or spillages for the community of Fumacê and for the São Marcos Estuarine Complex – CESM, in the case of spills to CESM, the water would meet all parameters within current environmental standards, CONAMA 430. We can conclude that the management of basins with bathymetry, dredging and environmental control regarding water quality is effectively guaranteeing compliance with the ESG rules required of organizations.

Keywords: ESG, Bathymetry, Dredging, Silting.

Sumário

1.	Introdução	9
2.	Objetivos	12
2.1.	Geral	12
2.2.	Específico	12
3.	Área de estudo	13
3.1.	Clima	13
3.2.	Localização	14
3.3.	Volume Embarcado no Terminal	18
4.	Materiais e Métodos	19
4.1.	Batimetria	19
4.2.	Aquisição de Dados	20
4.3.	Processamento de Dados	25
4.3.1.	Hypack	25
4.3.2.	Processamento	27
4.4.	Procedimento	28
5.	Resultados e discussões	34
6.	Conclusões e recomendações	56
7.	Referências	57

1. Introdução

São Luís é uma cidade portuária localizada no estado do Maranhão, na região Nordeste do Brasil. A cidade possui vários terminais portuários, (Terminal Marítimo de Ponta da Madeira - TMPM, Porto da Alumar, Porto do Itaqui), que desempenham um papel fundamental no comércio e na economia local e nacional (SANTOS, 2018).

Um dos principais terminais portuários de São Luís é o Porto do Itaqui, que é considerado o segundo maior porto público do Brasil em termos de movimentação de cargas. O Porto do Itaqui possui uma infraestrutura completa para receber navios de grande porte e movimenta principalmente cargas como grãos, minérios e combustíveis (AMARAL et al., 2010). O porto é responsável por grande parte da exportação de soja e milho produzidos na região do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia - Matopiba, além de ser um importante ponto de escoamento para a produção de minério de ferro da região de Carajás, no Pará.

Outro terminal portuário importante em São Luís é o Terminal Marítimo da Ponta da Madeira (TMPM), que pertence à mineradora Vale e é responsável por grande parte da exportação de minério de ferro do Brasil, atualmente o TMPM movimenta cerca de 70% do volume da Vale no Brasil. O terminal é capaz de receber navios de até 400 mil toneladas e movimenta cerca de 230 milhões de toneladas de minério de ferro por ano, que são transportadas por meio de um sistema ferroviário de mais de 900 km de extensão que liga a mina de Carajás ao TMPM.

Além desses dois terminais portuários, São Luís também conta com outros terminais menores, como o Porto do Cujupe, que é responsável pelo transporte de passageiros e veículos entre São Luís e a cidade de Alcântara, e o Terminal de Alumar, que é responsável pela movimentação de alumina, um produto utilizado na produção de alumínio (SANTOS, 2018).

Além de sua relevância no comércio e na economia brasileira, o TMPM tem ganhado destaque também no contexto de questões ambientais e sociais, especialmente relacionadas ao conceito de Environment, Social and Governance (ESG) - Ambiente, Social e Governança (BORSATTO et. al., 2023).

O termo ESG refere-se a critérios ambientais, sociais e de governança corporativa que são utilizados para avaliar o desempenho de empresas e investimentos em termos de sustentabilidade e responsabilidade social (HUANG, D.Z.X. (2021). No caso do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira, a Vale tem adotado

medidas para alinhar suas práticas com esses critérios e melhorar seu desempenho em termos de ESG, como por exemplo: ter um sistema de gestão e monitoramento de ESG, não estar envolvido em eventos de riscos, entre outros.

No âmbito ambiental, a Vale tem investido em tecnologias e processos mais eficientes para reduzir o impacto de suas operações no meio ambiente. Além disso, a Vale possui um programa de reflorestamento, que tem o objetivo de recuperar áreas degradadas e preservar a biodiversidade em regiões próximas às suas operações. A empresa também tem adotado medidas para reduzir a emissão de gases de efeito estufa em suas operações, por meio de investimentos em energia renovável e em tecnologias de captura e armazenamento de carbono (VALE, 2023).

No âmbito social, a Vale tem adotado medidas para promover a segurança e o bem-estar de seus trabalhadores e das comunidades próximas às suas operações. A empresa tem investido em treinamento e capacitação de seus funcionários, além de adotar medidas de segurança e saúde ocupacional em suas operações (VALE, 2023).

A mineração é uma atividade que, em geral, consome grandes quantidades de água. Na maioria dos processos de extração mineral, a água é utilizada como meio de transporte do minério ou como solvente para a separação de minerais. A utilização de água na mineração pode ter impactos significativos no meio ambiente e na qualidade de vida das comunidades próximas às áreas de mineração (OLIVEIRA, 2001).

Um dos principais desafios é a gestão e o tratamento da água utilizada nas operações mineradoras, de forma a minimizar os impactos ambientais. Uma das estratégias comuns na mineração é a construção de bacias de decantação. Essas bacias de decantação são reservatórios utilizados para armazenar a água utilizada nas operações mineradoras. Nessas bacias, as partículas de minério que estão suspensas na água se depositam no fundo, permitindo que a água possa ser reutilizada no processo de extração mineral.

Para minimizar os impactos ambientais da mineração, é importante adotar medidas de gestão e tratamento da água. Além das bacias de decantação, outras tecnologias podem ser utilizadas para tratamento da água, como os sistemas de filtração e os processos de osmose reversa (NUNES, 2004).

As bacias de decantação podem apresentar alguns riscos ambientais, especialmente quando não são bem gerenciadas. Em alguns casos, as bacias podem

vazar ou romper, causando o derramamento de água e rejeitos na região ao redor, contaminando rios e reservatórios de água potável, afetando a fauna e a flora locais, além de prejudicar a saúde das comunidades que dependem desses recursos.

Outra preocupação em relação às bacias de decantação é a possibilidade de acumulação de metais pesados e traços, que podem contaminar a água e o solo na região (NRIAGU et al, 1988; GUILHERME, L. R. G. et al 2005). Os metais, como o chumbo, o mercúrio e o cádmio, podem ser liberados a partir do minério durante o processo de extração e se acumularem na água das bacias de decantação.

A partir desse estudo poderemos analisar a integridade do ecossistema das bacias e lagoas de decantação da Vale. Isso auxiliará na identificação de riscos potenciais de extravasamento e no processo de elaboração de técnicas de manejo para que ocorra uma boa gestão desses ambientes.

Também é importante que as empresas adotem práticas de gestão ambiental responsáveis, que incluam o monitoramento e o controle das emissões de poluentes, a recuperação de áreas degradadas, a minimização da geração de resíduos e a adoção de tecnologias mais eficientes e sustentáveis.

2. Objetivos

2.1. Geral

Avaliar o processo de assoreamento que ocorre nas bacias e lagoas de decantação do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, através de levantamentos batimétricos.

2.2. Específico

- Identificar quais as bacias e lagoas tem os maiores assoreamentos;
- Determinar o percentual de assoreamento em cada uma das bacias de decantação deste estudo;
- Determinar os períodos sazonais onde ocorrem as maiores taxas de assoreamento;

3. Área de estudo

3.1. Clima

São Luís, capital do estado do Maranhão, é conhecida por suas altas temperaturas e elevados índices de precipitação ao longo do ano. A pluviometria é um tema de grande importância na cidade, pois a chuva pode causar alagamentos e outros problemas urbanos, além de ser essencial para a agricultura e outras atividades econômicas (ARAÚJO, 2014).

A distribuição da chuva em São Luís é caracterizada por dois períodos climáticos: o primeiro semestre, que vai de janeiro a junho, e o segundo semestre, que vai de julho a dezembro. Durante o primeiro semestre, a cidade é afetada pela Zona de Convergência Intertropical, que é uma região de alta pressão atmosférica que se desloca ao longo do ano em direção ao Equador. Isso resulta em chuvas frequentes e intensas, com médias de precipitação mensal que variam entre 200 e 400 milímetros. (FERREIRA; MELO, 2005; ARAÚJO, 2014; NUGEO, 2020).

Já no segundo semestre, a Zona de Convergência Intertropical se afasta em direção ao Hemisfério Norte, deixando a cidade sob a influência de massas de ar seco e estável (FERREIRA; MELO, 2005). Isso resulta em um período de estiagem, com precipitações médias mensais que variam entre 50 e 100 milímetros. Esse período de baixa pluviometria pode afetar a produção agrícola e a disponibilidade de água para consumo humano. (ARAÚJO, 2014).

Para medir a quantidade de chuva em São Luís, são utilizados pluviômetros, que são equipamentos que medem a altura da água acumulada em um determinado período. Os dados coletados pelos pluviômetros são usados para calcular a média mensal de precipitação na cidade, que varia de acordo com o período do ano. Essas informações são importantes para a tomada de decisões em diversos setores, como agricultura, construção civil e gestão urbana.

Além disso, é importante destacar que as mudanças climáticas podem afetar a pluviometria em São Luís e em outras regiões do mundo (BORK, 2015). Estudos indicam que as temperaturas estão aumentando em todo o planeta, o que pode levar a um aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como secas e enchentes (THUILLER, 2007). É importante que os governos e a sociedade em geral estejam atentos a essas mudanças e busquem medidas para adaptar-se a elas.

3.2. Localização

O Complexo Portuário de Ponta da Madeira, formado pelo Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TMPM) e pelo Terminal Ferroviário Ponta da Madeira (TFPM), está localizado no Distrito Industrial de São Luís, ocupando uma área de aproximadamente 1.000 hectares da porção noroeste do município de São Luís, estado do Maranhão, região nordeste do Brasil, conforme ilustrado na Figura 1.

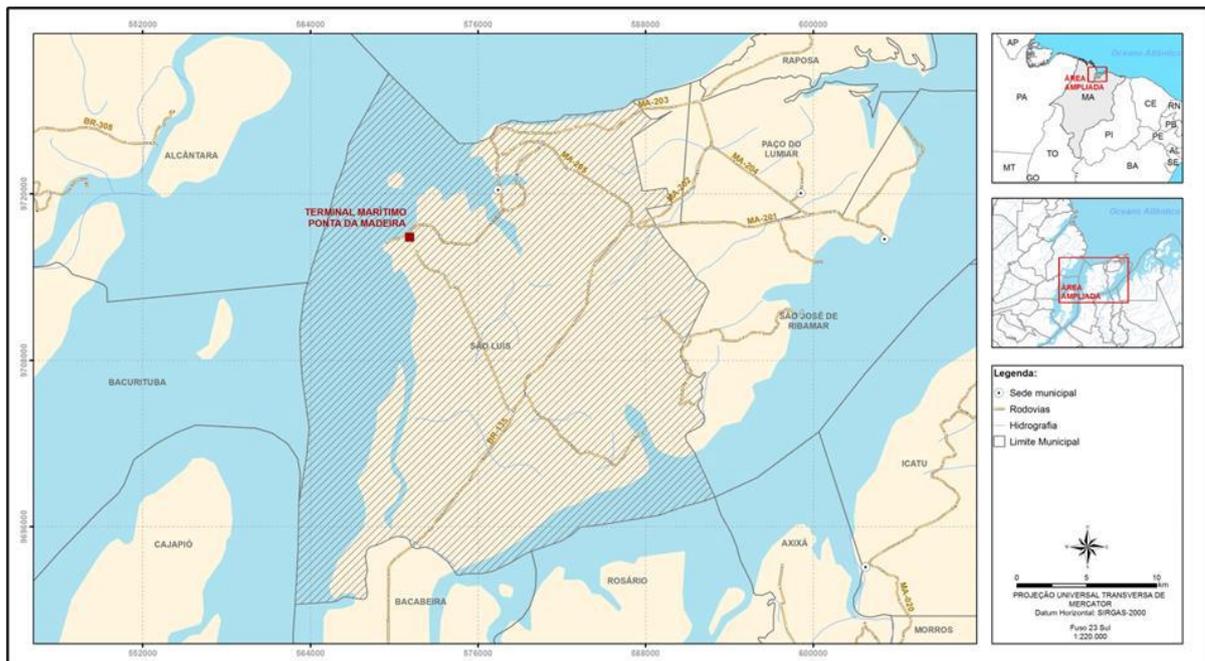


Figura 1. Localização do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira. (Figura do autor).

O Terminal Marítimo Ponta da Madeira é caracterizado por dois conjuntos de pátios de estocagem os Pátios Norte e Pátios Sul. Esses Pátios armazenam o minério de ferro que é transportado do Complexo Minerário de Carajás por via férrea, e por uma Usina de Pelotização.

Já o sistema de drenagem de águas pluviais e contenção de sedimentos é constituído, basicamente, por:

- doze bacias artificiais (escavadas em solo ou construídas em concreto), responsáveis primordialmente pela contenção de sedimentos afluentes e por evitar defluências/vertimentos para as drenagens ou mananciais naturais. Em segundo plano, essas bacias permitem o acúmulo de vazões que abastecem as demandas industriais, seja no período chuvoso ou seco.
- Três lagoas formadas por barramentos de terra, implantados pela VALE na bacia de contribuição ao reservatório da Bacia Leste, e que agem com a função de amortecimento de cheias.

- Duas lagoas formadas em decorrência de alterações viárias e ferroviárias realizadas na região (Boqueirão e Mapaúra), destinadas a diluição das vazões provenientes da área industrial; e,
- Um reservatório de distribuição de água para os pontos de consumo e/ou utilização do empreendimento (Mirante) conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Localização das bacias do sistema de drenagem de águas pluviais e contenção de sedimentos. (Figura do autor).

- Os itens subsequentes apresentam uma descrição sucinta do sistema operacional das lagoas e bacias que compõem o sistema de drenagem do TMPM.
- Bacia Leste Superior: recebe e acumula o escoamento superficial e os sedimentos provenientes de parte da área dos Pátios 'O' a 'T', bem como da bacia incremental e natural adjacente. As vazões acumuladas no reservatório desta bacia são direcionadas para a Bacia Oeste Superior, por meio de bombeamento, e para o curso de água Gapara Norte, por vertimentos.
- Bacia Oeste Inferior: recebe e acumula o escoamento superficial e os sedimentos provenientes de parte da área dos Pátios 'O' a 'T'. As vazões acumuladas no reservatório desta bacia são direcionadas para a Bacia Oeste Superior, por meio de bombeamento, e para a Lagoa Mapaúra, por vertimentos.

- Bacia Oeste Superior: recebe e acumula o escoamento superficial e os sedimentos provenientes de parte da área dos Pátios 'O' a 'T'. As vazões acumuladas no reservatório desta bacia são bombeadas para o reservatório do Mirante e o excedente para a Lagoa Mapaúra, por vertimentos.
- Lagoa Mapaúra: formada no final da década de 80, em decorrência da implantação da Pera Ferroviária do TFPM e que, atualmente, recebe e acumula o escoamento superficial proveniente de sua bacia de contribuição natural e os vertimentos das Bacias Oeste Superior e Oeste Inferior. As vazões acumuladas no reservatório desta lagoa são direcionadas, para o reservatório do Mirante, por meio de bombeamento, principalmente durante o período seco. O vertimento dessa lagoa é direcionado para drenagens que desembocam no oceano Atlântico.
- Lagoa Anjo da Guarda: constitui em reservatório irregular, formado pelo acúmulo do escoamento superficial proveniente de sua bacia de contribuição natural, a montante de maciço implantado pela VALE. As vazões vertidas desse reservatório, controladas por uma comporta seguimento, são direcionadas para a Lagoa do Bambuzal.
- Lagoa do Bambuzal: constitui em reservatório irregular, formado pelo acúmulo do escoamento superficial e sedimentos provenientes de sua bacia de contribuição. As vazões liberadas desse reservatório, por meio de um canal controlado no emboque por uma comporta, são direcionadas para a Bacia Leste.
- Lagoa do Jacaré: constitui em reservatório irregular, formado pelo acúmulo do escoamento superficial e sedimentos provenientes de sua bacia de contribuição. As vazões liberadas desse reservatório, são direcionadas para a Bacia Leste, após confluência com as vazões advindas da Lagoa do Bambuzal.
- Bacia do Peneiramento: recebe e acumula o escoamento superficial e os sedimentos provenientes de parte da área dos Pátios Norte de Estocagem de Minério, bem como de parte da área industrial do TFPM adjacente. As vazões acumuladas no reservatório desta bacia são direcionadas para a Bacia Leste.
- Bacia Leste: recebe e acumula as vazões liberadas pelas Lagoas Anjo da Guarda, Bambuzal, do Jacaré e pela Bacia do Peneiramento, bem como de sua bacia de contribuição incremental, em área industrial. Operacionalmente,

recebe eventuais vertimentos da Bacia de Pelotização Usina e as vazões acumuladas ao longo do tempo são direcionadas para o reservatório do Mirante e para a Lagoa do Boqueirão, por meio de bombeamento.

- A Bacia Leste representa hoje um ponto crítico do sistema de drenagem do TMPM, pois seu sistema extravasor direciona todo o fluxo excedente (vertimento) para a bacia do córrego Fumacê, cujos cerca de 1 km iniciais atravessam uma área urbanizada (margem direita), denominada Vila Fumacê. Para evitar o lançamento de vazões fora dos padrões de qualidade aceitáveis neste córrego, os bombeamentos de vazões na Bacia Leste são intensificados durante o período chuvoso, com destino sendo particionado entre a Lagoa do Boqueirão e outro curso de água, paralelo e afluente ao córrego, situado em área não urbanizada. Nesse mesmo período, as vazões defluentes das Lagoas Anjo da Guarda, Bambuzal e Jacaré são desviadas diretamente para o córrego Fumacê, impedindo sua mistura com águas oriundas do escoamento superficial da área industrial e acumuladas na Bacia Leste.
- Bacia da Usina de Pelotização: recebe e acumula o escoamento superficial e os sedimentos provenientes da área da Usina de Pelotização. As vazões acumuladas no reservatório desta bacia são direcionadas, eventualmente e por meio de bombeamento, para o reservatório do Mirante, e por gravidade para a Bacia Leste.
- Lagoa do Boqueirão: formada no final da década de 70, em decorrência da implantação da Avenida dos Portugueses, que passou a funcionar como barramento local, retendo todo o escoamento superficial afluente. Atualmente, o reservatório desta lagoa recebe, além do escoamento de sua bacia de contribuição natural, as vazões vertidas da Bacia Oeste e o bombeamento da Bacia Leste, durante o período chuvoso. Para evitar possível alagamento da avenida, foi implantado um sistema extravasor que direciona as vazões vertidas para o oceano Atlântico.
- Bacia Oeste: recebe e acumula o escoamento superficial e os sedimentos provenientes da área do Pátio Norte de Estocagem de Minério e as vazões bombeadas da Lagoa do Boqueirão e da Bacia do Píer IV. Posteriormente, esta bacia também receberá o bombeamento da nova bacia de acumulação que está sendo implantada no caminho para os Píeres I e III. O sistema de

bombeamento implantado na Bacia Oeste é direcionado para o reservatório do Mirante e os eventuais vertimentos, que ocorrem durante o período chuvoso, são liberados para a Lagoa do Boqueirão.

- Bacia do Píer IV: recebe e acumula o escoamento superficial e os sedimentos provenientes da área industrial adjacente, incluindo o Píer IV, bem como as vazões liberadas diretamente pela Bacia CT16A e indiretamente pelas Bacias CT16 e Intermediária. As vazões acumuladas no reservatório desta bacia são bombeadas para a Bacia Oeste.
- Bacia CT16A, CT16 e Intermediária do Píer IV: correspondem a pequenas bacias de acumulação de sedimentos e água pluvial de toda a área abrangida pelo acesso aos Píeres I e III.
- Bacia do Píer III: recebe e acumula as vazões bombeadas da área do Píer III, direcionando-as, por meio de bombeamento, para a Bacia Oeste.
- Bacia Nova ou Laje Finos: está sendo implantada na área de acesso aos Píeres I e III, ao longo da orla marítima, para receber e acumular as vazões e sedimentos gerados na área industrial adjacente, direcionando o fluxo afluente, por meio de bombeamento, para a Bacia Oeste.
- Reservatório do Mirante: reservatório de distribuição de água para uso industrial em da área do TMPM, que recebe o bombeamento das bacias da Usina, Oeste Superior, Leste e Oeste durante todo o período de vazões disponível e da Lagoa Mapaúra, nos períodos de estiagem

3.3. Volume Embarcado no Terminal

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM) é um dos principais centros de exportação de minério de ferro do Brasil, desempenhando um papel crucial na movimentação desse recurso estratégico. A eficiência operacional do terminal, no entanto, é fortemente influenciada pelas condições climáticas tanto em São Luís, no Maranhão, onde o terminal está localizado, quanto nas minas de Carajás, no Pará, de onde provém grande parte do minério.

Nos primeiros seis meses do ano, a região experimenta um período de chuvas intensas. Isso tem um impacto direto na produção, resultando em um volume médio mensal de cerca de 12 milhões de toneladas (Mt). À medida que o segundo semestre se desenrola, as condições climáticas melhoram, permitindo um aumento significativo

na produção. Nesse período, a média mensal atinge cerca de 17 Mt. Essa variação sazonal na produção está diretamente ligada às condições climáticas adversas observadas no primeiro semestre.

Considerando essa flutuação ao longo do ano, a movimentação anual de minério de ferro no TMPM tem se mantido em torno de uma média de 175 Mt nos últimos anos. Essa consistência é notável, dada a influência direta das chuvas nas operações.

Durante os primeiros seis meses, a alta pluviosidade resulta em um aumento no volume das bacias utilizadas no transporte do minério. O pico de chuvas, geralmente em março, representa um ponto crítico. Se nesse período ocorrer um volume de produção significativamente maior, há um risco maior de assoreamento das bacias.

É fundamental destacar que todo o transporte de minério de ferro no TMPM é realizado por gravidade, desde os pátios de armazenamento até as bacias de decantação. A logística intrincada desse processo exige uma gestão cuidadosa para minimizar impactos ambientais e garantir a continuidade operacional.

Em resumo, a movimentação de minério de ferro no TMPM é uma dança complexa entre a produção nas minas, as condições climáticas e os desafios logísticos. A compreensão desses elementos é crucial para otimizar as operações, garantindo a sustentabilidade e eficiência do terminal.

4. Materiais e Métodos

4.1. Batimetria

A batimetria pode ser definida como o conjunto dos princípios, métodos e convenções utilizadas para determinar a medida do contorno, da dimensão e da posição relativa da superfície submersa dos mares, rios, lagos, açudes, represas e canais (ALMEIDA et al, 1993).

A batimetria pode ser realizada utilizando diferentes técnicas, como o uso de sonares, ecobatímetros e instrumentos acústicos. Esses equipamentos emitem sinais sonoros que são refletidos no fundo do corpo d'água, permitindo que a profundidade seja medida com precisão.

As informações obtidas por meio da batimetria são importantes para diversas aplicações, como o monitoramento da qualidade da água, a prevenção de inundações, o planejamento de obras hidráulicas, a gestão de recursos hídricos.

No caso das bacias, a batimetria é uma ferramenta essencial para entender a topografia do fundo e a distribuição de sedimentos, o que pode influenciar a qualidade da água e a vida aquática. Além disso, a batimetria permite identificar áreas mais profundas ou rasas, que podem ser utilizadas para diferentes fins, como irrigação, turismo, atividades de pesca, entre outras.

Já em relação às lagoas, a batimetria é importante para determinar a capacidade de armazenamento de água e para identificar áreas que podem estar sofrendo assoreamento, ou seja, acúmulo de sedimentos que diminuem a profundidade do corpo d'água. A batimetria também é útil para avaliar a necessidade de dragagem, que consiste na remoção de sedimentos do fundo da lagoa.

Em resumo, a batimetria de bacias e lagoas é uma técnica importante para o monitoramento e a gestão dos recursos hídricos, permitindo uma melhor compreensão da dinâmica desses corpos d'água e contribuindo para a preservação da biodiversidade aquática e do meio ambiente em geral.

A batimetria monofeixe é uma técnica utilizada para medir a profundidade de corpos d'água, como rios, lagos, lagoas e bacias. Essa técnica utiliza um único feixe de som para medir a profundidade do fundo do corpo d'água.

4.2. Aquisição de Dados

Até o ano de 2019 o processo de levantamento batimétrico das bacias e lagoa do TMPM era realizado com um barco de alumínio, montado um dia antes com todo sensores para a realização da atividade. Atividade essa que envolvia muito risco com elevado tempo de execução (Figura 3).



Figura 3. Realização de levantamento batimétrico até o ano de 2019. (Figura do autor).

Foi então lançado um desafio para toda a equipe com objetivo de buscar tecnologia para a atividade. Assim, a solução encontrada foi a utilização de um drone marítimo. Embarcação não tripulada que pode ser operada remotamente com muito mais segurança e agilidade na atividade (Figura 4).



Figura 4. Embarcação portátil não tripulada, operado via rádio. (Figura do autor).

Os levantamentos batimétricos das bacias e lagoas do TMPM foram feitos através de método acústico, utilizando o ecobatímetro CEEPULSE 100 series,

fabricado pela CEE HydroSystem (Figura 5). Este equipamento emite ondas acústicas de frequência entre 190 e 210 kHz.



Figura 5. ecobatímetro CEEPULSE 100 series. (Figura do autor).

Através da frequência de resposta do material do leito, este equipamento determina a distância entre a fonte e o receptor. O aparelho foi acoplado a uma embarcação portátil não tripulada, operada via rádio (Figura 4). Após configurada, realiza a batimetria de forma autônoma que percorrerá toda a área, coletando pares de coordenadas e a respectiva profundidade do ponto.

Foi utilizado como nível de referência a cota da soleira, para que possamos realizar a comparação entre as batimetrias. Para isso, no início e final de cada levantamento foi medido o nível d'água em um ponto seguro com cota conhecida e determinada por topografia. A altura da lâmina d'água até a soleira será somado a dados brutos simulando a profundidade dos reservatórios em sua capacidade máxima, conforme figura 6.

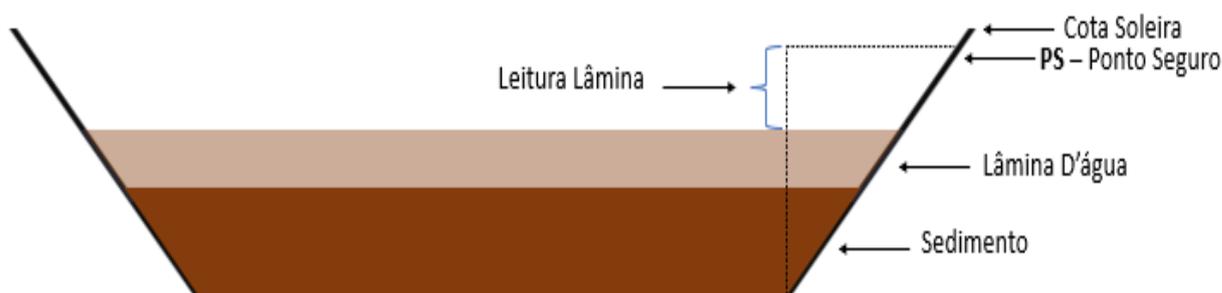


Figura 6. Ilustração da forma de cálculo do volume da bacia. (Figura do autor).

Os dados obtidos em campo foram processados no software Hypack 2021, gerando arquivos xyz com as informações coletadas em campo. Os arquivos obtidos foram utilizados para cálculo de volume e utilizando o método TIN.

O método de interpolação TIN (Triangulated Irregular Network) é uma técnica utilizada para estimar valores em locais não amostrados dentro de uma determinada região. Este método é particularmente útil em modelagem topográfica, cartografia e geociências. Vamos explorar em detalhes como o método TIN funciona:

O processo inicia-se com a criação de uma rede irregular de triângulos que conectam os pontos de amostragem conhecidos ou dados de elevação. Esses pontos formam a malha triangular, sendo chamados de vértices do TIN, figura 7.

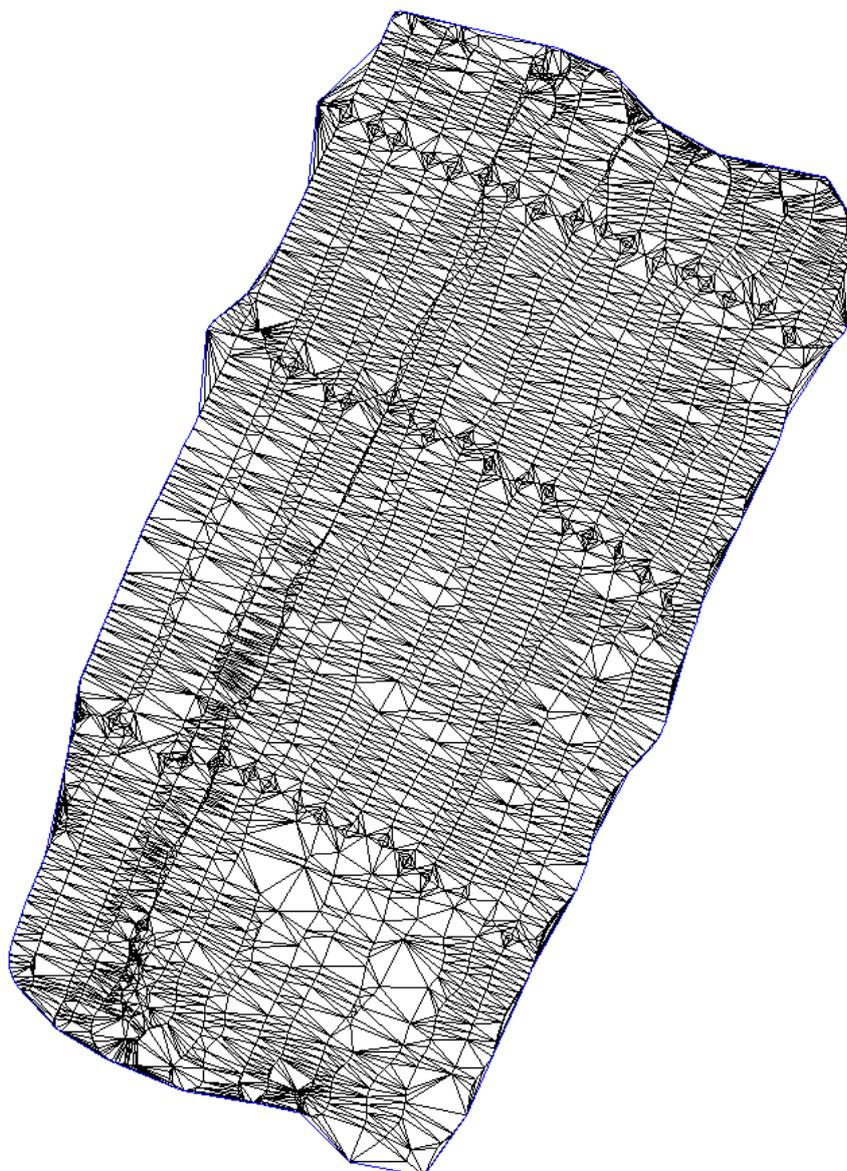


Figura 7 – Exemplo da malha triangular da bacia CT15. (Figura do autor).

Cada triângulo na malha representa uma superfície plana. A ideia central é que, dentro de cada triângulo, a superfície pode ser aproximada de maneira linear.

Para estimar valores em locais não amostrados, o método TIN utiliza a interpolação bilinear ou uma abordagem mais sofisticada, como a interpolação baricêntrica. Isso implica calcular a média ponderada dos valores conhecidos nos vértices do triângulo, considerando a posição relativa do ponto dentro do triângulo. Ao calcular os valores para todos os pontos não amostrados, uma superfície contínua é gerada, representando uma estimativa da variação da propriedade (como elevação) ao longo da área de interesse.

O TIN permite uma resolução dinâmica, concentrando mais triângulos em áreas onde há uma variação significativa nos dados e usando triângulos maiores em áreas com menor variação. Isso resulta em uma representação mais eficiente e precisa da superfície.

A estrutura triangular do TIN facilita a visualização e análise dos dados, pois os triângulos se ajustam naturalmente às variações da topografia.

O método TIN é frequentemente utilizado em sistemas de informações geográficas (SIG), modelagem 3D, análises hidrológicas, simulação de terreno e outras aplicações onde a representação precisa da superfície é essencial.

É importante notar que, embora o método TIN seja eficaz em muitos casos, ele pode exigir uma quantidade significativa de cálculos, especialmente para grandes conjuntos de dados. Outras técnicas de interpolação, como o IDW (Inverse Distance Weighting) ou krigagem, também são comumente empregadas dependendo das características específicas do conjunto de dados e das necessidades da aplicação.

O processo de execução da batimetria segue um roteiro bem definido. Primeiro, montamos uma base de apoio para acomodar a equipe e proteger os equipamentos de comunicação da estação base do drone. Em seguida, realizamos a referência do nível de redução (NR) em um ponto topograficamente demarcado. Aqui, medimos o nível da água no início e no final da batimetria com o auxílio de uma trena. Se houver variação no nível da água nesse intervalo, fazemos as correções necessárias utilizando a ferramenta TIDE MASTER no software hypack.

Antes de lançarmos o drone na água, efetuamos os testes de comunicação entre o drone e a estação base, garantindo que todos os equipamentos estejam

funcionando e se comunicando adequadamente. Além disso, realizamos a aferição dos equipamentos utilizados na batimetria.

Após esses procedimentos iniciais, aguardamos até o DGPS (Differential Global Positioning System) do drone receber o sinal com status DIFERENCIAL, o que garante a precisão das coordenadas coletadas durante o levantamento hidrográfico (LH). Também utilizamos um perfilador (SVP – Sound Velocity Profiles) para medir a velocidade do som na água da bacia estudada, cujo valor é inserido no ecobatímetro para assegurar a medição correta da profundidade.

Com a demarcação do local a ser levantado, navegamos com o drone ao longo das bordas da bacia, registrando as coordenadas XYZ (Coordenadas UTM - UTM DGS84 Zona 23 e profundidades). A partir desses dados, planejamos as linhas de navegação no software hypack, organizando-as de forma paralelas, a cada 5 metros, para garantir um levantamento uniforme de toda a bacia.

O plano de navegação é então inserido no sistema do drone, que executará a navegação de maneira autônoma. O técnico de campo é responsável por iniciar e finalizar a coleta de dados durante todo o processo.

Após a conclusão da coleta dos dados batimétricos, o técnico de campo analisa minuciosamente as informações. Caso não sejam identificados erros, inicia-se a etapa de processamento dos dados.

Com os resultados processados, é possível gerar as plantas batimétricas, que fornecem informações detalhadas sobre as profundidades da área mapeada. Esse processo de batimetria é fundamental para manter um controle preciso das condições hidrográficas no TMPM.

4.3. Processamento de Dados

4.3.1. Hypack

O Hypack é um software de processamento de dados de levantamentos hidrográficos que permite a criação de mapas batimétricos, bem como a análise de dados e a visualização de imagens (HYPACK, 2021).

Utiliza as informações coletadas pelo equipamento acústico para criar um mapa batimétrico do corpo d'água. Esse mapa mostra as áreas mais rasas e profundas, bem como a distribuição de sedimentos e a vegetação aquática.

O processamento de dados envolve vários estágios, como a limpeza e o ajuste dos dados, a interpolação de dados ausentes, a filtragem e a suavização de dados, a correção de erros e a geração de relatórios.

O Hypack é uma ferramenta importante para a análise de dados batimétricos, pois permite a visualização de dados em diferentes formatos, como gráficos e mapas, facilitando a compreensão dos resultados. Além disso, o software oferece recursos para a criação de relatórios detalhados e personalizados, o que é útil para a tomada de decisões e o planejamento de projetos hidrográficos (HYPACK, 2021).

Ademais, é amplamente utilizado na indústria hidrográfica para processar dados de batimetria e gerar mapas batimétricos (PRADITH et. al, 2015). Ele é capaz de processar dados de várias fontes, incluindo sistemas de sonar, e oferece várias ferramentas de processamento de dados, que produzem dados precisos e confiáveis. Algumas das fórmulas e etapas de processamento de batimetria no Hypack incluem (HYPACK, 2021):

- a. Correção da velocidade do som: o som viaja mais rápido na água do que no ar, e sua velocidade é influenciada por fatores como temperatura, salinidade e pressão. Para calcular a profundidade correta, a velocidade do som precisa ser corrigida.
- b. Correção de inclinação: o sonar é montado em um ângulo em relação ao fundo do corpo d'água, e isso pode resultar em medidas imprecisas.
- c. Limpeza de dados: o Hypack utiliza várias técnicas para limpar os dados, incluindo a detecção e a remoção de valores aberrantes, a interpolação de dados ausentes e a filtragem de ruídos.

A interpolação garante que não haja lacunas nos dados, o Hypack interpola os pontos ausentes usando uma fórmula de interpolação que leva em conta os valores dos pontos vizinhos.

Filtros de ruído usa diferentes filtros de ruído para remover dados espúrios e melhorar a qualidade dos dados. Esses filtros incluem o filtro médio, o filtro gaussiano e o filtro de mediana.

A suavização é um processo que suaviza os dados, tornando o mapa batimétrico mais fácil de ler e interpretar. O Hypack usa diferentes técnicas de suavização, incluindo a suavização por média, a suavização por spline e a suavização por Fourier.

Geração de relatórios: o Hypack é capaz de gerar relatórios detalhados sobre os dados batimétricos, incluindo a profundidade média, a profundidade máxima, a profundidade mínima, a distribuição de sedimentos, a vegetação aquática e a topografia do fundo

4.3.2. Processamento

Durante a coleta de dados, o Hypack permite a visualização em tempo real das linhas coletadas. Assim, é possível verificar se há falhas na coleta de dados ou se os valores coletados são extremos, caracterizando spikes. Para eliminar esses spikes, o Hypack oferece a opção de filtragem, que pode ser configurada pelo usuário de acordo com o tipo de dados coletados e o grau de filtragem desejado.

Na tela de visualização em tempo real, o Hypack exibe um gráfico que representa a intensidade do sinal do sonar em função da profundidade. O usuário pode aplicar filtros para remover spikes, como o filtro de mediana ou o filtro de média móvel, que reduzem a influência de valores extremos no cálculo da profundidade.

Esses filtros são aplicados em tempo real, permitindo que o usuário verifique imediatamente os resultados.

Além disso, o Hypack também permite a eliminação de spikes após a coleta de dados, durante o processamento. Isso é feito utilizando a ferramenta "Spike Removal", que identifica e remove os pontos de dados com valores extremos ou ruídos. Essa ferramenta permitiu a definição de um limite superior e um limite inferior para a eliminação dos spikes e a visualização dos dados antes e depois do processo de eliminação.

Em resumo, o Hypack nos permitiu a configuração do espaçamento entre linhas para a realização de coleta de dados de batimetria e nos ofereceu ferramentas que possibilitou a eliminação spikes e assim garantindo a precisão dos dados coletados e melhorando a qualidade do mapa batimétrico resultante.

A batimetria monofeixe com embarcação autônoma é realizada no TMPM pela equipe de Supervisão de Náutica Portuária com a periodicidade mensal, sempre que as condições de navegabilidade e de segurança estão garantidas.

4.4. Procedimento

Nesta etapa, apresentamos um resumo detalhado do procedimento completo para a realização das batimetrias. Abordamos desde a montagem do barco, passando pela operacionalização das linhas de sondagem, até o processamento final dos dados coletados. O objetivo é fornecer uma visão clara e compreensiva de cada etapa, destacando os principais aspectos técnicos e metodológicos envolvidos no processo.

Abaixo o passo a passo detalhado:

- Mobilização da embarcação autônoma para bacia a ser realizada a sondagem;
- Montagem da base de apoio para realização das sondagens de forma confortável e segura conforme figura 8.



Figura 8. Base de apoio. (Figura do autor).

- Início do processo da montagem do barco;



Figura 9 e 10. Ilustração da montagem do barco. (Figura do autor).

- Verificação das cargas das baterias do barco autônomo;



Figura 11. Carga das Baterias. (Figura do autor).

Tabela de tensão das baterias Li-Ion.			
Quantidade de células	Tensão da Bateria 100% Carregada	Tensão da Bateria Descarregada	Tensão de segurança para retornar com o barco
2S	8,2 V	6,2V	6,5V
4S	16,4V	12,4 V	13,0 V

Tabela 1. Tensão das baterias

- Montagem das baterias no barco;
- Montagem da antena DGPS e antena de rádio;



Figuras 12 e 13. Imagem das antenas (Figura do autor).

- Conexão das hélices com a caixa de força;
- Montagem da central de comando;
- Posicionamento do barco autônomo na água;

- Estabelecer conexões com o barco;
- Estabelecer conexões dos equipamentos com o CEEPULSE;



Figura 14. Equipamento CEEPULSE (Figura do autor)

- Testar conexões dos equipamentos com o software de levantamentos hidrográficos;
- Planejamento das áreas a serem levantadas, realizar a navegação com uso do controle remoto para delimitar a área segura que o drone poderá navegar (criação da borda) na sequência, no Hypack realizar a criação do plano de linha por onde o Drone irá navegar.

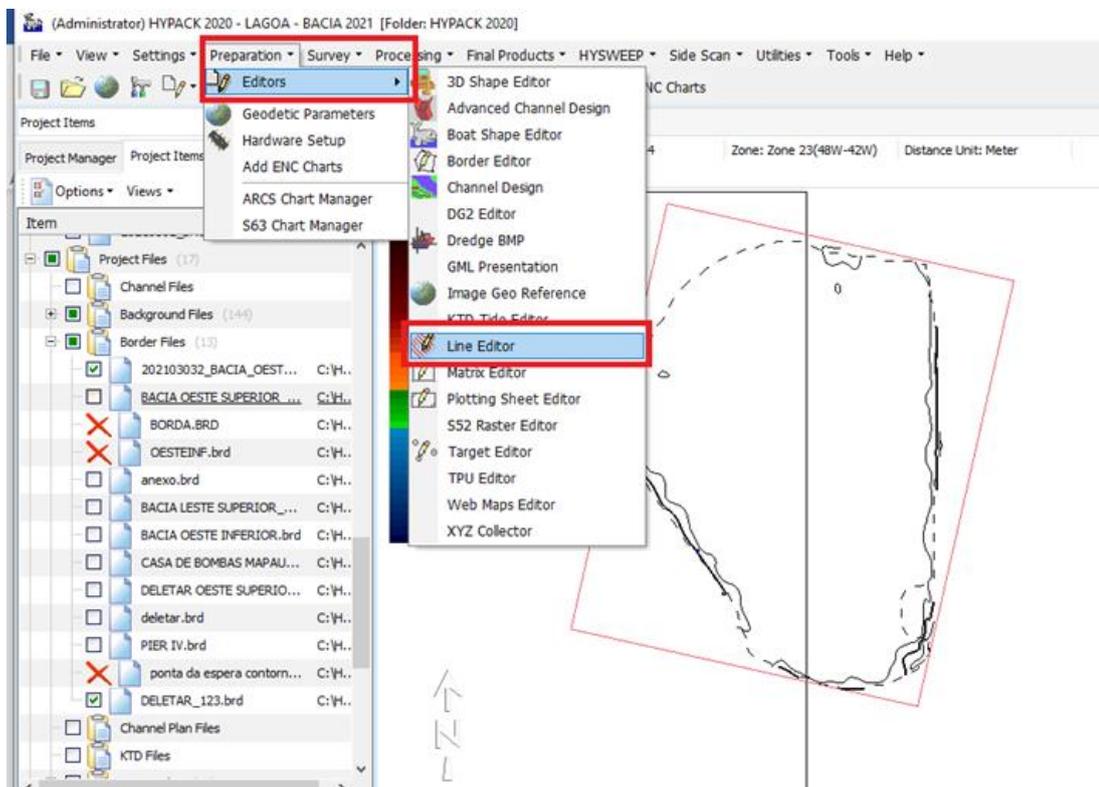


Figura 15. Imagem da borda da bacia. (Figura do autor).

- No plano de linha delimitar 5 metros de distância após a criação da borda para que o drone realize a navegação.

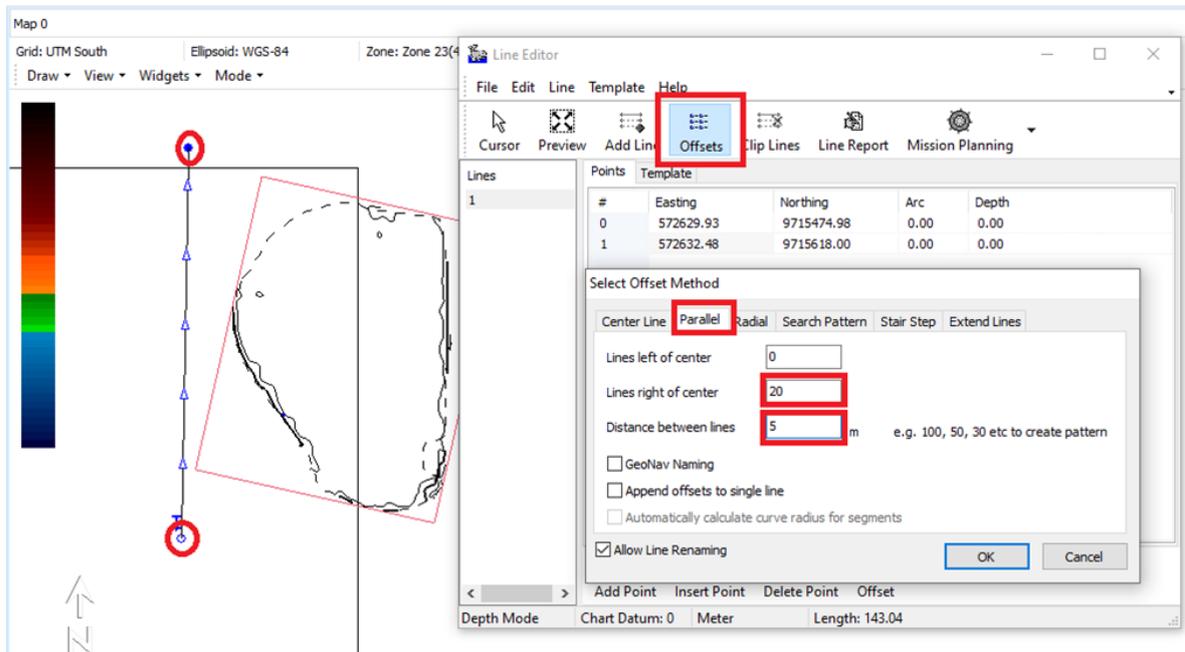


Figura 16. Ilustração da parametrização dos distanciamentos dos linhas. (Figura do autor)

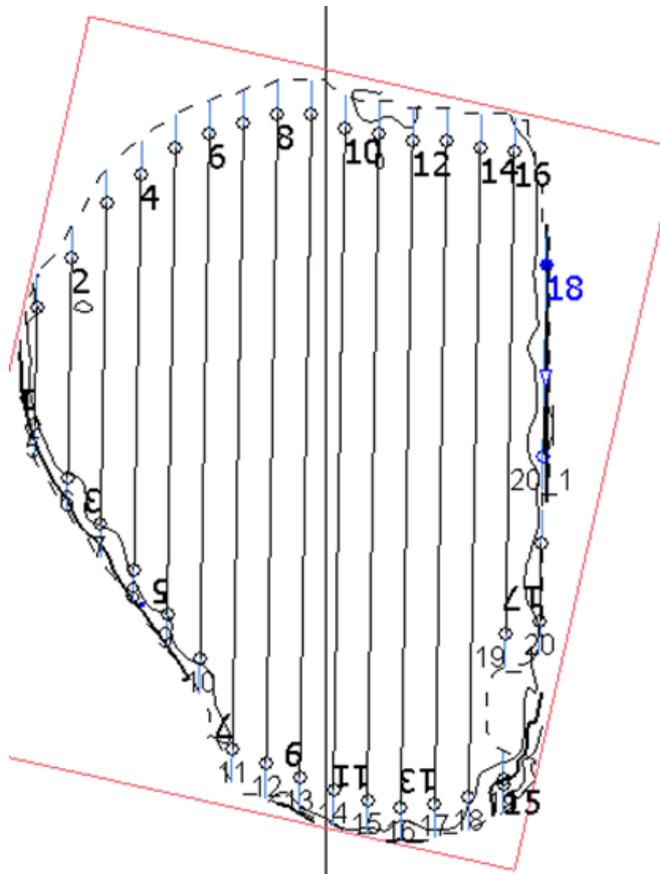


Figura 17. Imagem com a plotagem das linhas mais a borda. (Figura do autor).

- Criar plano de navegação autônomo;

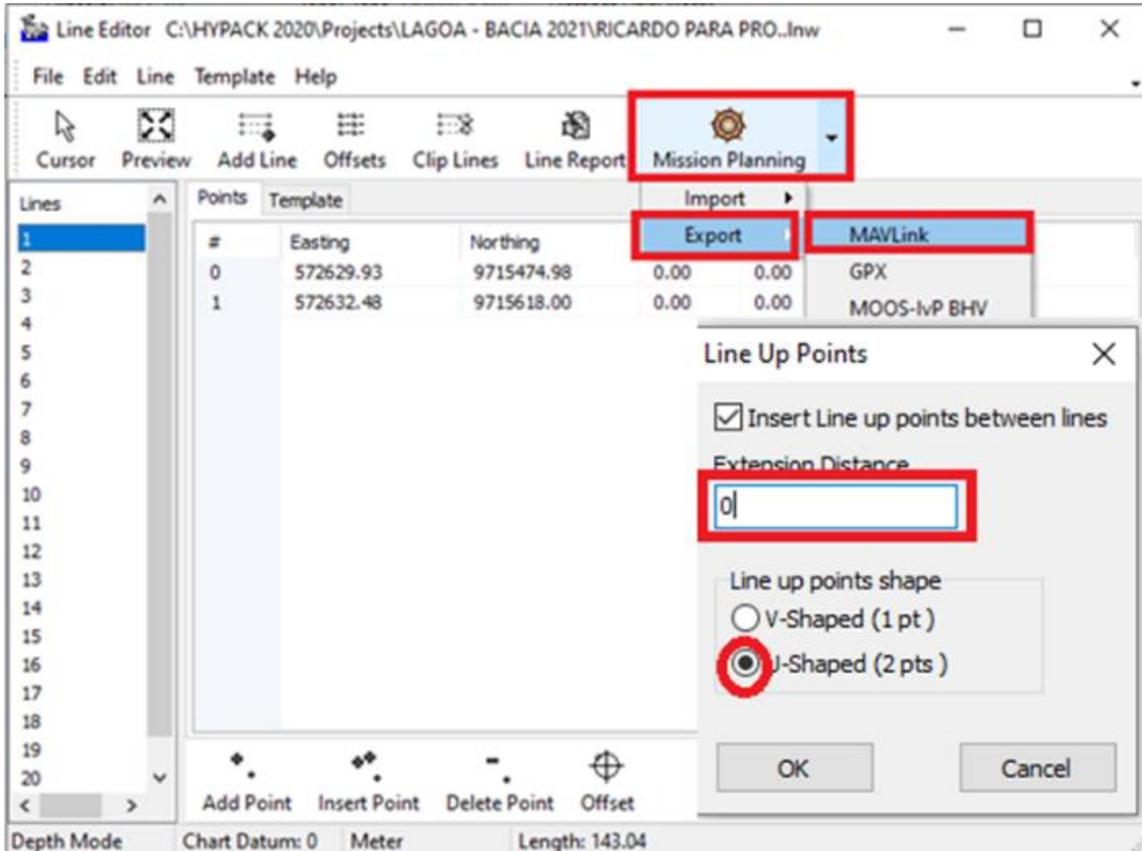


Figura 18. Imagem parametrização do plano de navegação. (Figura do autor).

- Monitorar execução da batimetria sendo realizada pelo barco autônomo;



Figuras 19 e 20. Ilustração do monitoramento. (Figura do autor).

- Coleta de dados brutos e nível da bacia;

Data	Reservatório	Lamina D'água p/ P.S. (m)	Profundidade de Projeto (m)	Lamina D'água p/ Soleira (m)	Volume Útil na Soleira do Extravaso (m³)	Volume Disponível Batimetria (m³)	Volume Assoreado Estimado (m³)	Volume sob a batimetria Prof. Projeto (m³)	Insitu Estimado (ton)	Volume Assoreado Estimado (%)	Área do reservatório (m²)	Área Levantada (m²)	% de Área levantada
07/01/2022	Oeste Norte (CT15)	0.240	3.000	0.030	52,000	34651.05	17,349	10837.58	46,842	33.4%	20,031	10837.58	54%
12/01/2022	Bacia Leste #1	2.200	3.680	2.236	76,228	57795.14	18,432	5738.14	49,768	24.2%	20,714	17159.63	83%
16/01/2022	Oeste Inferior	0.170	4.000	-0.015	38,138	27916.44	10,222	11359.56	27,598	26.8%	10,831	9819	91%
22/02/2022	Oeste Norte (CT15)	0.190	3.000	-0.020	52,000	29680.79	22,319	10231.21	60,262	42.9%	20,031	13304.0	66%
25/02/2022	Bacia Leste #1	2.070	3.680	2.106	76,228	55644.64	20,583	72.14	55,574	27.0%	20,714	15248	74%
28/02/2022	Oeste Inferior	0.450	4.000	0.265	38,138	26,891	11,247	10201.35	30,368	29.5%	10,831	9273	86%
24/03/2022	Oeste Norte (CT15)	0.070	3.000	-0.140	52,000	29961.67	22,038	10878.83	59,503	42.4%	20,031	13613.5	68%
29/03/2022	Bacia Leste Superior	0.270	4.000	0.040	65,059	55599.48	9,460	9892.52	25,541	14.5%	18,828	16373	87%
30/03/2022	Oeste Inferior	0.110	4.000	-0.075	38,138	26357.05	11,781	11574.94	31,809	30.9%	10,831	9483	88%
18/04/2022	Bacia Leste Superior	0.280	4.000	0.050	65,059	53108.66	11,950	8733.34	32,266	18%	18,828	16075	85%
19/04/2022	Oeste Norte (CT15)	0.070	3.000	-0.140	52,000	28075.39	23,925	11301.11	64,596	46%	20,031	13125.5	66%
20/04/2022	Oeste Inferior	0.150	4.000	-0.035	38,138	25,962	12,176	13,060	32,877	32%	10,831	9,006	83%
03/05/2022	Oeste Inferior	0.020	4.000	-0.165	38,138	25,075	13,063	14,503	35,271	34%	10,831	9,895	91%
04/05/2022	Bacia Leste Superior	0.300	4.000	0.070	65,059	54,160	10,899	10,578	29,426	17%	18,828	16,185	86%
07/05/2022	Oeste Norte (CT15)	0.011	3.000	-0.199	52,000	29,308	22,692	15,229	61,269	44%	20,031	14,846	74%
17/05/2022	Lagoa do Boqueirão	1.100	4.500	-0.529	514,306						-		

Figura 21. Tabela de correção de nível (Figura do autor).

- Correção dos Spikes;

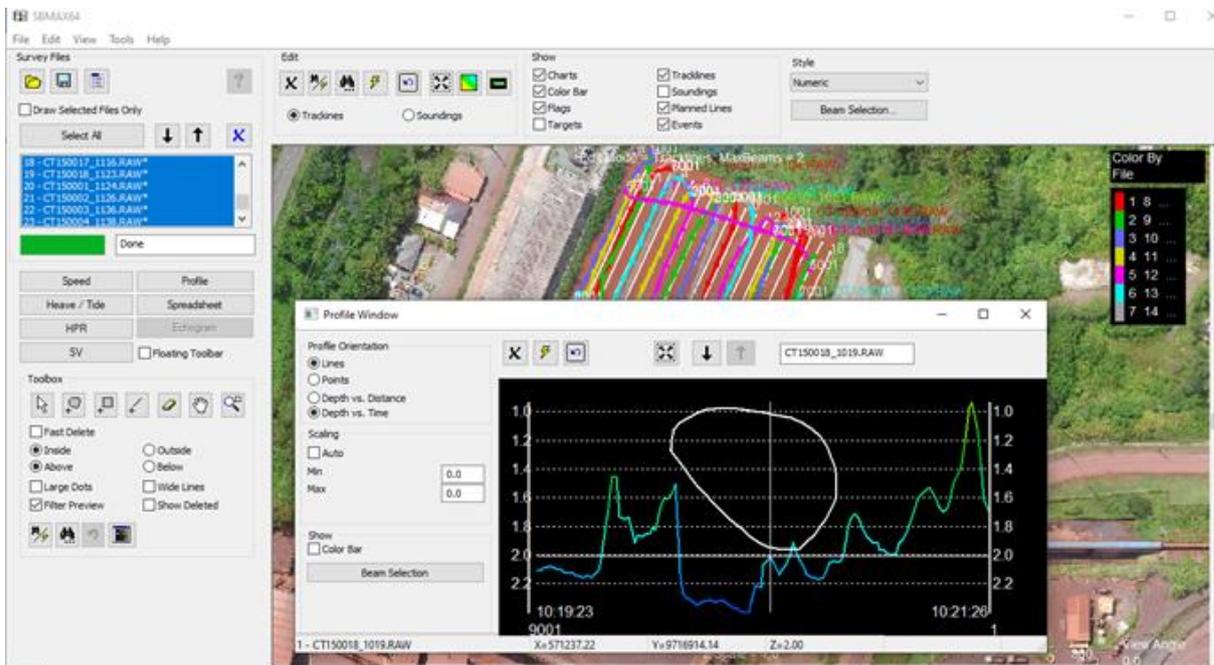


Figura 22. Exemplo de "Spike" a ser desconsiderado (Figura do autor).

- Processamento de Dados;
- Elaboração da Planta;

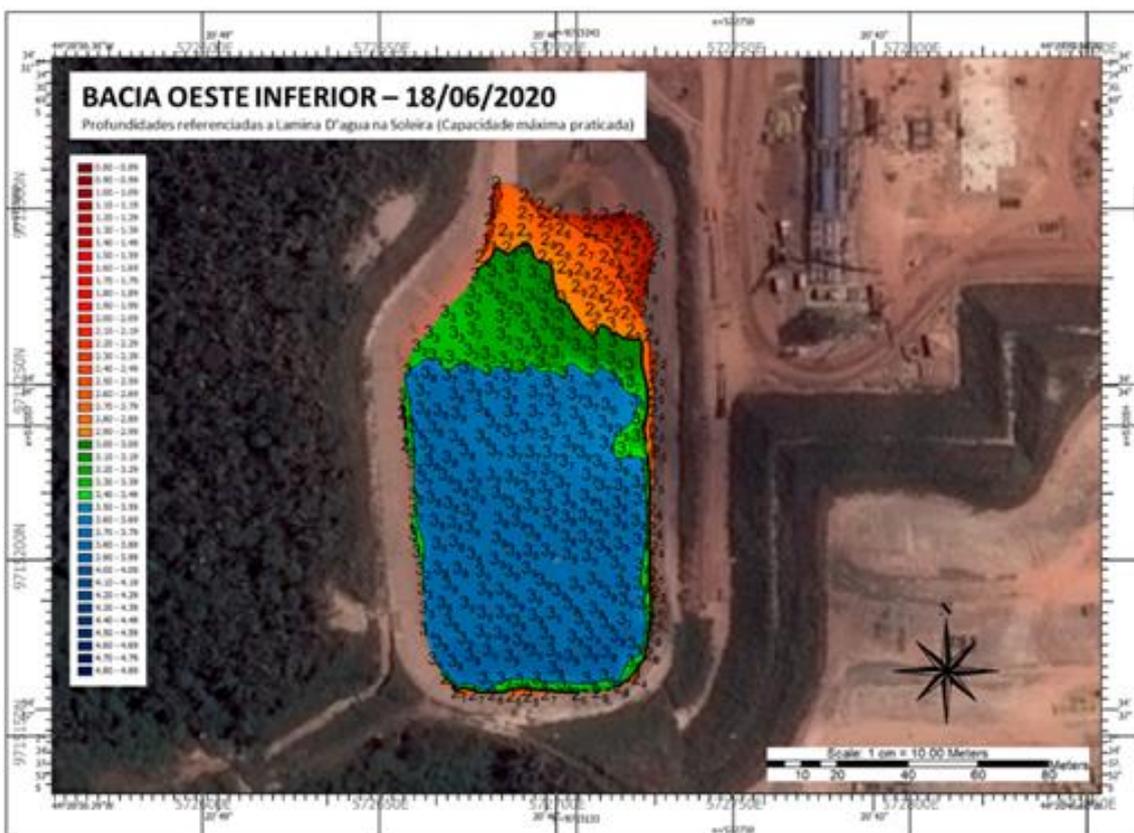


Figura 23. Planta Final (Figura do autor).

- Atualização dos indicadores;

VOLUME ESTIMADO	
DATA	24/06/2023
Reservatório	Oeste Superior
Profundida de Projeto (m)	4,00
Volume Útil na Soleira do Extravasor (m³)	38,138
Volume Disponível Batimetria (m³)	19916,12
Volume Assoreado Estimado (m³)	12883,88
Insitu Estimado (ton)	29324
Volume Assoreado Estimado (m³)	35%
Área levantada	94%

Tabela 2. Tabela indicadores

- Divulgação Final.

5. Resultados e discussões

A bacia primária, denominada de CT15, Figura 24, que recebe contribuições diretas das drenagens dos pátios, é uma área de extrema importância para o ambiente

circundante. Devido à sua relevância, são realizadas campanhas frequentes de batimetria para monitorar suas condições hidrográficas. Na Figura 25, podemos verificar o histórico de assoreamento.



Figura 24 – Em destaque a CT5, circulado em vermelho que recebe contribuição direta dos pátios de estocagem. (Figura do autor).

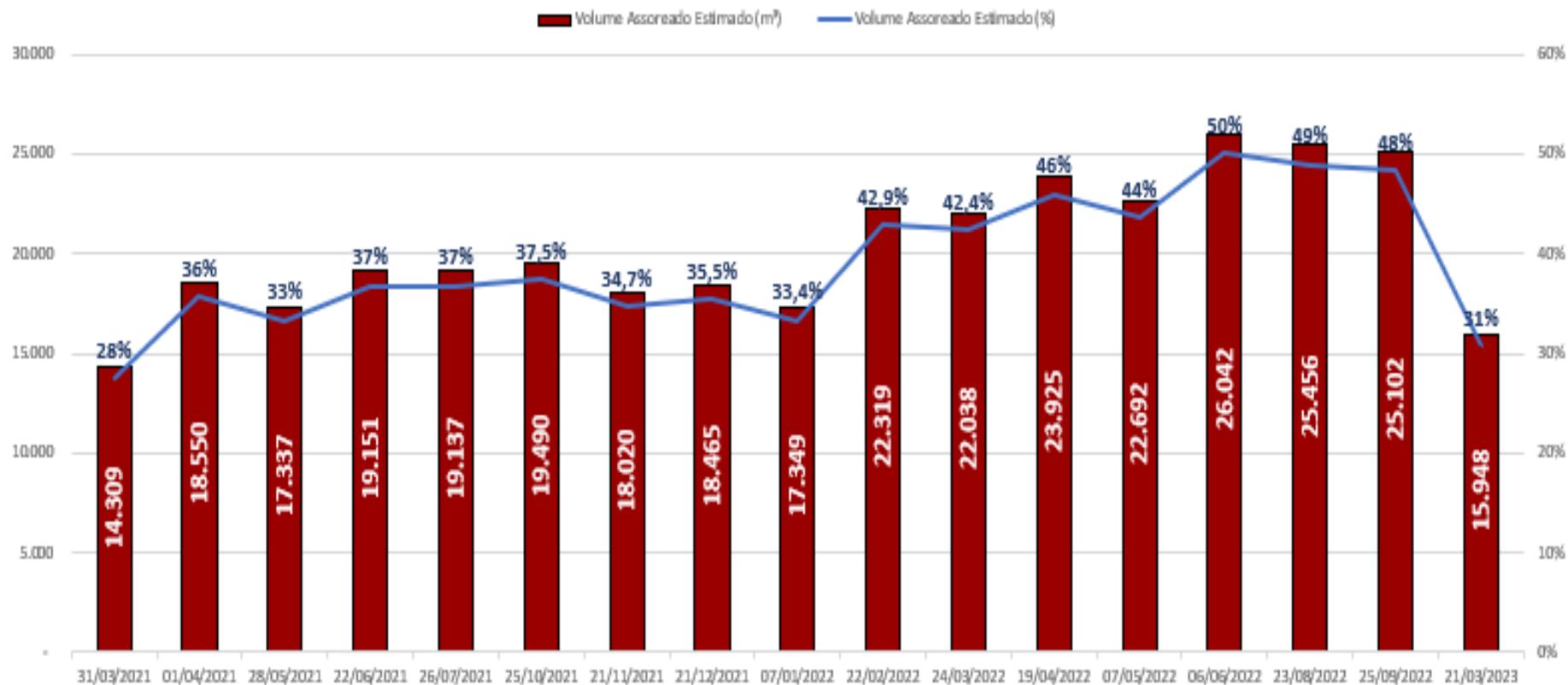


Figura 25 – Evolução do Assoreamento da bacia CT15, dados de 2021 a 2023 (Figura do autor).

Na Figura 25, temos o histórico de 31/03/2021 a 21/03/2022, neste período tivemos todo o acompanhamento da evolução do assoreamento, saímos de um patamar de 28% para 50% ao final de 2022. Em 25/09/22, penúltima barra do gráfico temos 25,1m³ de material sedimentado (Figura 25), com apenas 50% de disponibilidade da bacia foi necessária uma intervenção de dragagem.

Com realização de dragagem, todo o material foi removido conforme orientação da batimetria realizada (Figura 26). Finalizado a campanha de dragagem na bacia, foi realizado nova campanha batimétrica para verificar os resultados, e como podemos observar na Figura 27, a profundidade da bacia alcançou níveis aceitáveis. Análise gráfica das batimetrias indicam cores fortes maior nível assoreado e cores mais claras, maior profundidade.

A profundidade da bacia retornou aos níveis normais, indicando que a dragagem foi bem-sucedida em remover os sedimentos e revitalizar o ecossistema e aumentando sua capacidade de reservação. Na Figura 28, temos a diferença entre as batimetrias do dia 25/09/22 e 21/03/2023, em alguns pontos da bacia tivemos ganho de até 2.6m de profundidade pós dragagem, voltando ao patamar de 31% de volume assoreado com 15m³ de material apenas contra os 25m³ iniciais.

Em suma, o resultado do levantamento batimétrico após a dragagem demonstra uma recuperação bem-sucedida da profundidade da bacia primária, restabelecendo seus parâmetros normais.

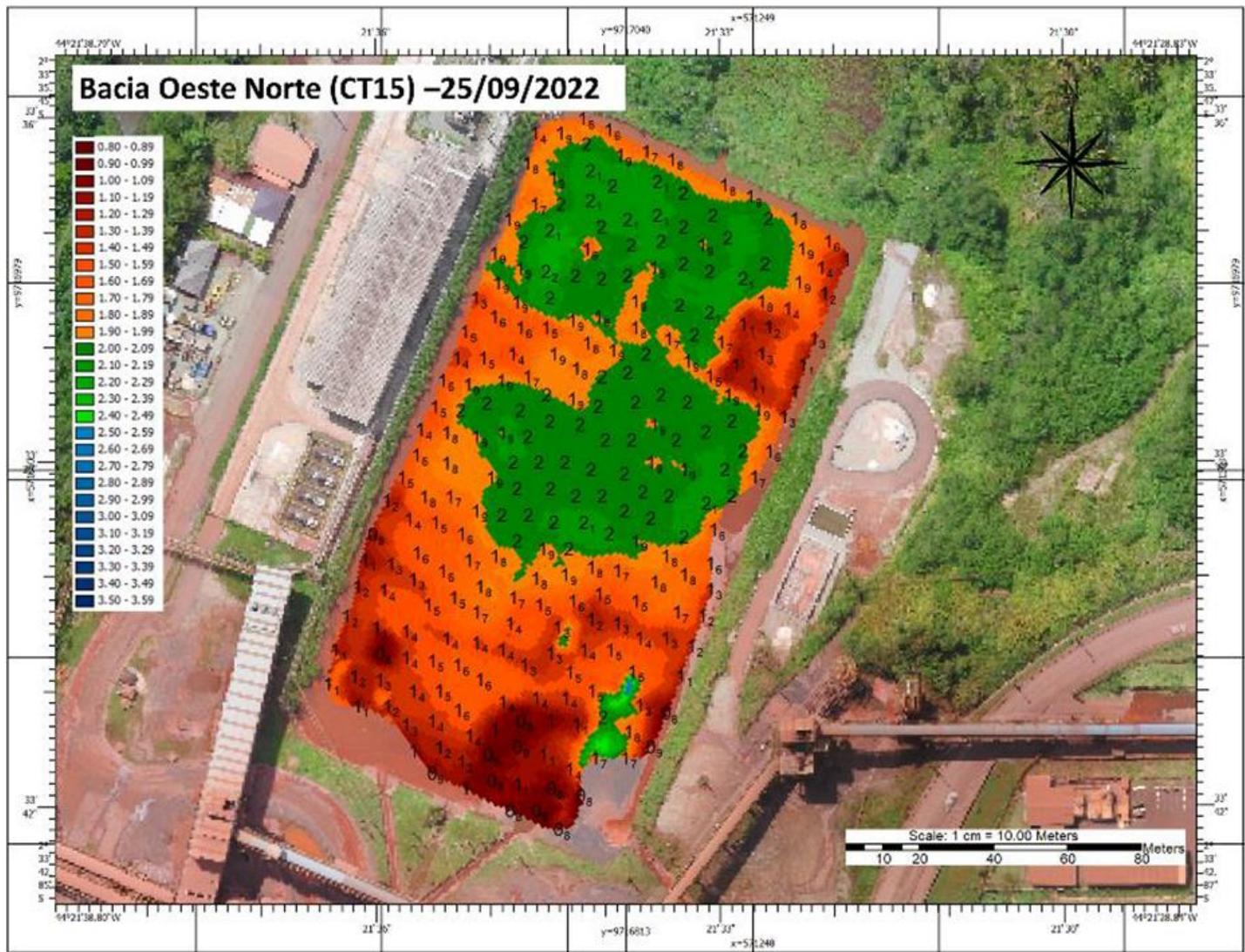


Figura 26. Bacia Oeste Norte (CT15) – 25/09/2022. (Figura do autor).

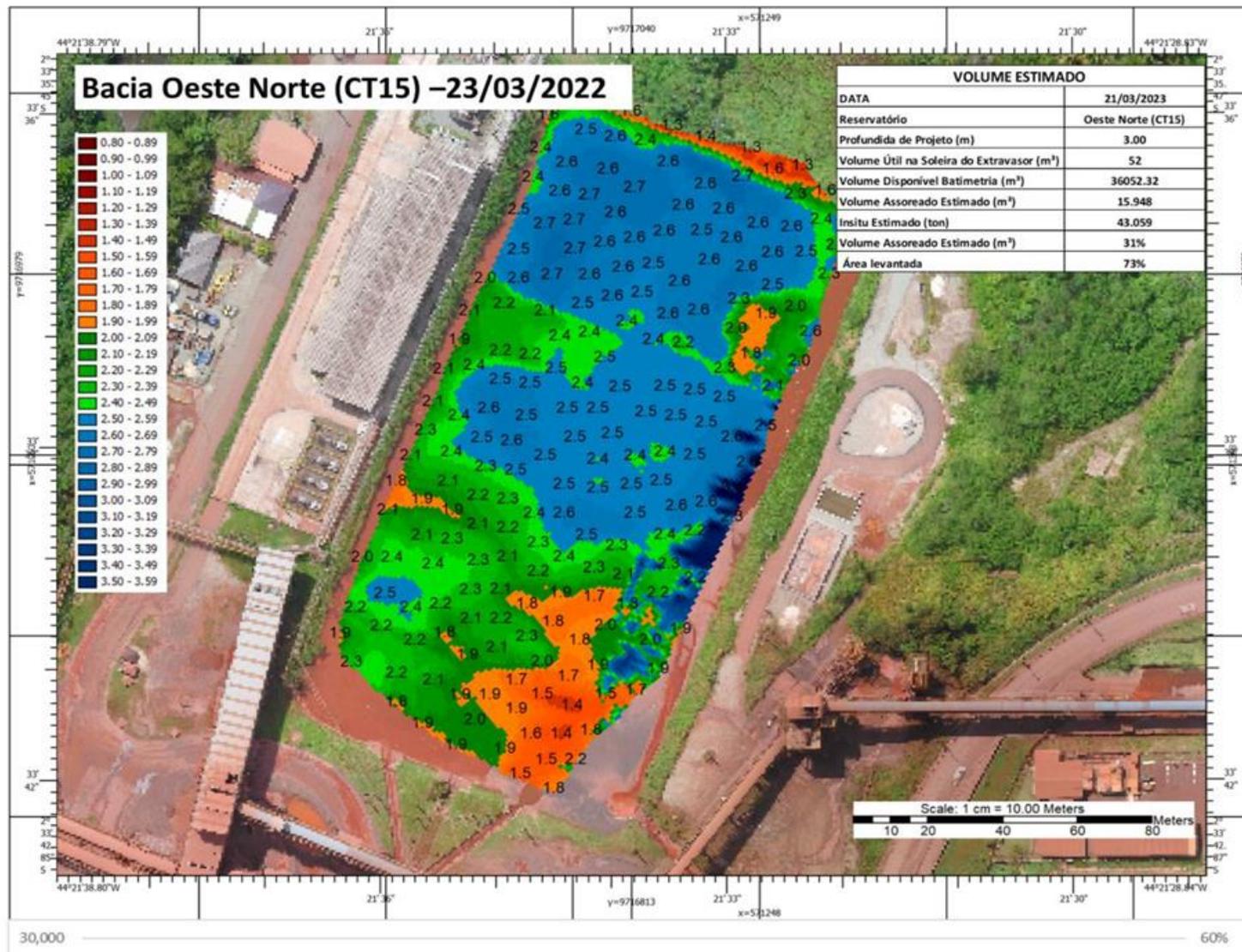


Figura 27. Baía Oeste Norte (CT15) – 23/03/2022. (Figura do autor).

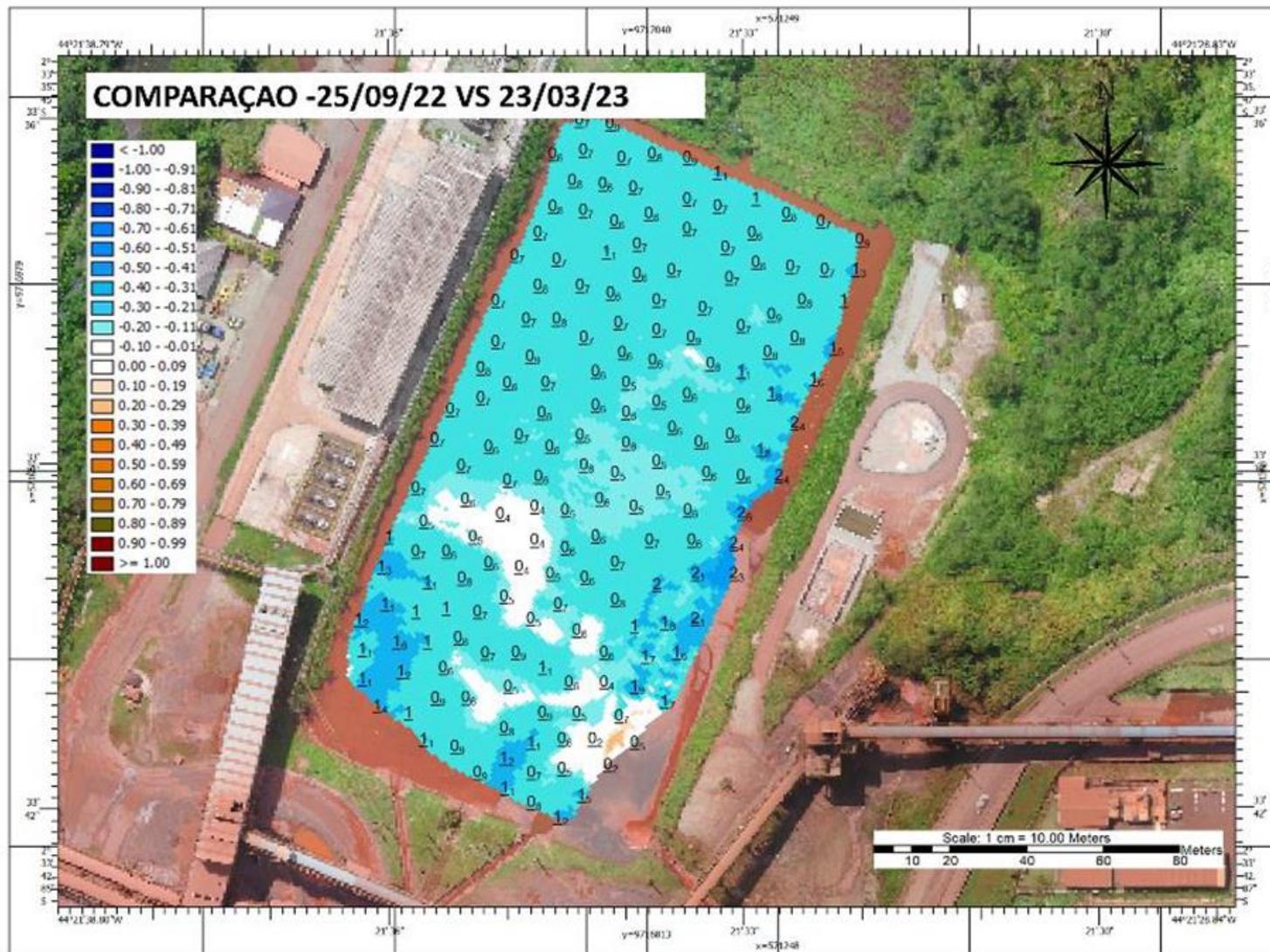


Figura 28. Bacia Oeste Norte (CT15) – Comparação entre 25/09/2022 e 23/03/2022. (Figura do autor).

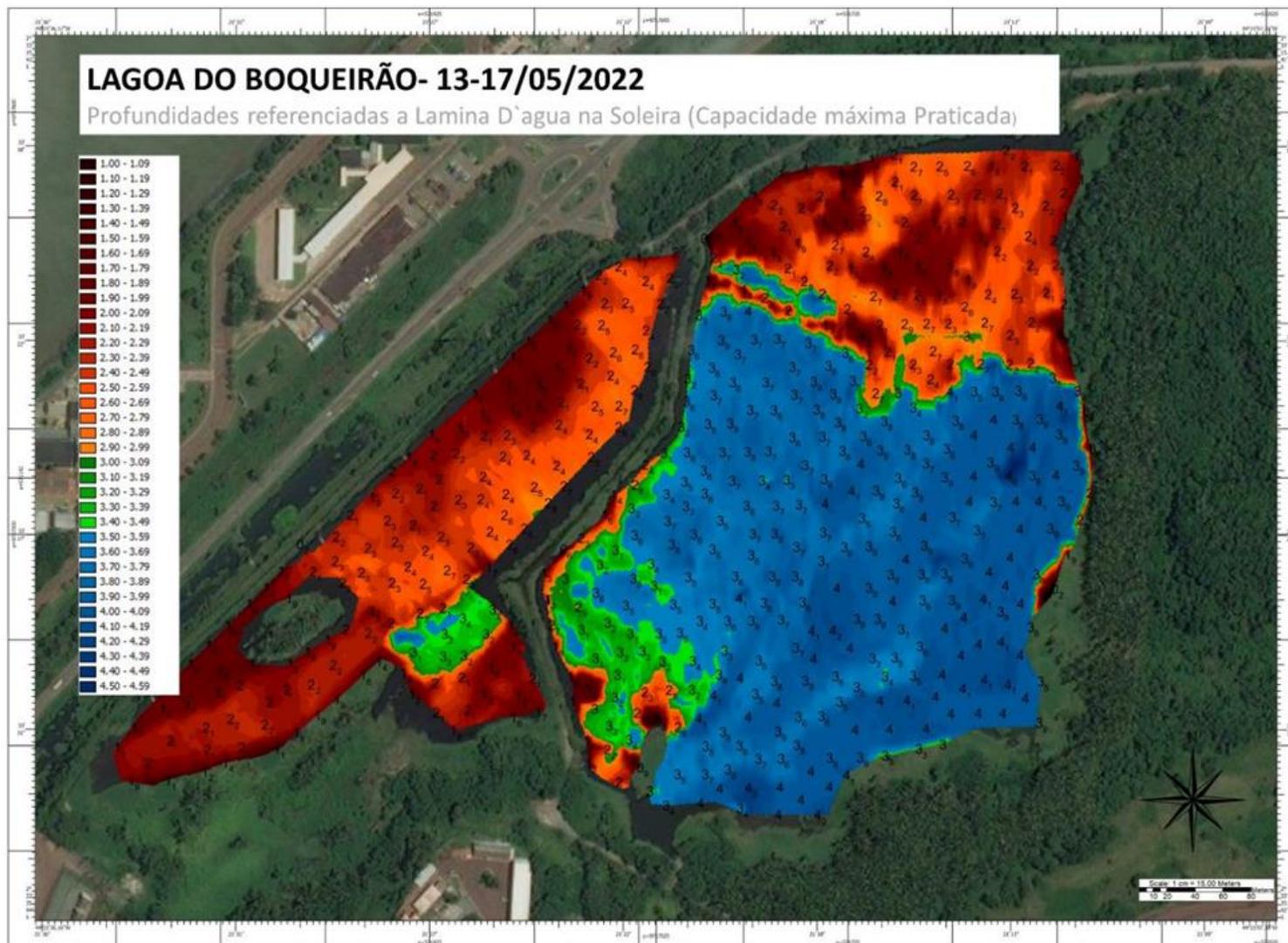


Figura 30. Lagoa do Boqueirão – 13 a 17/05/2022. (Figura do autor).

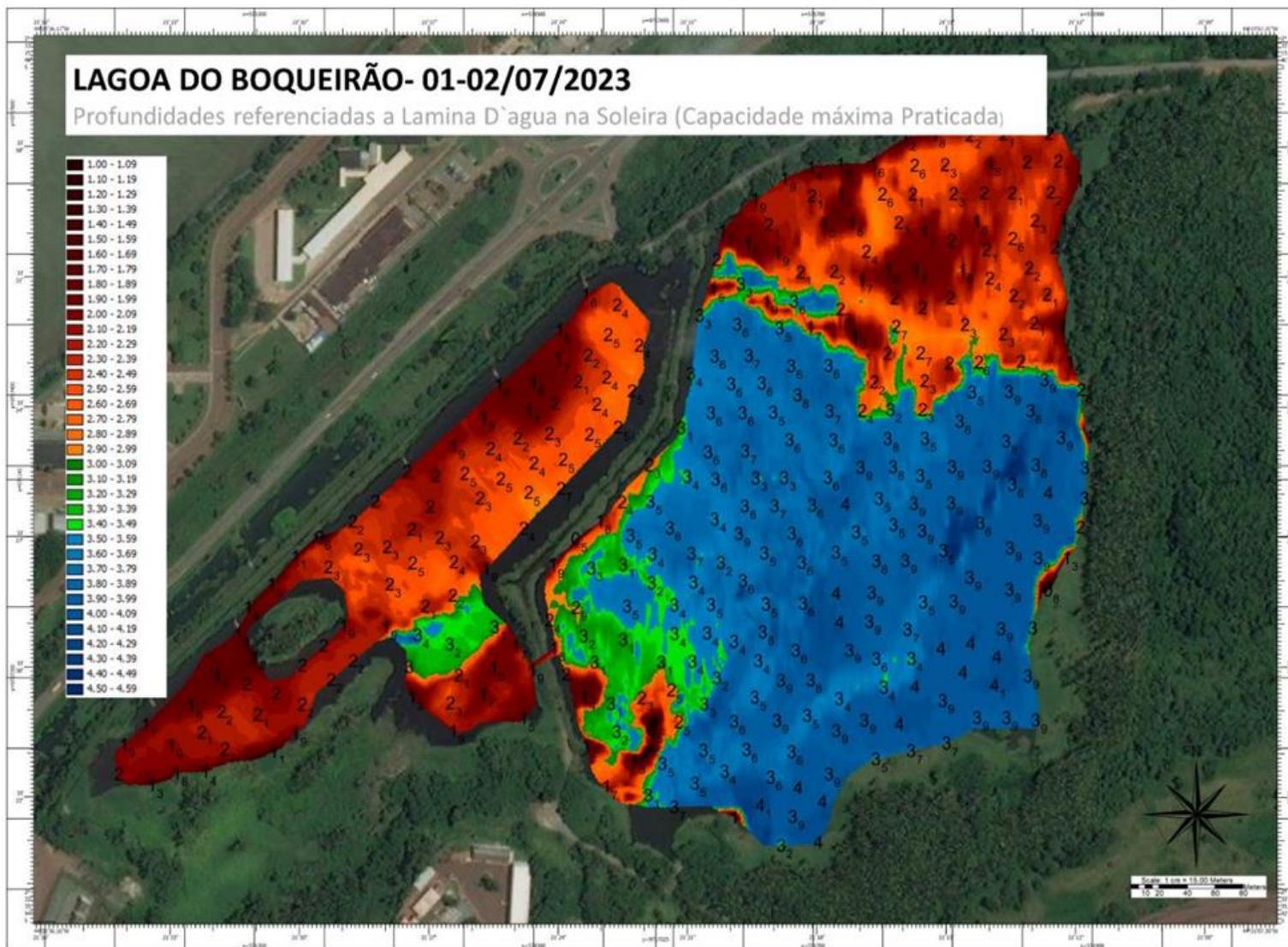


Figura 31. Lagoa do Boqueirão – 01 a 02/07/2023. (Figura do autor).

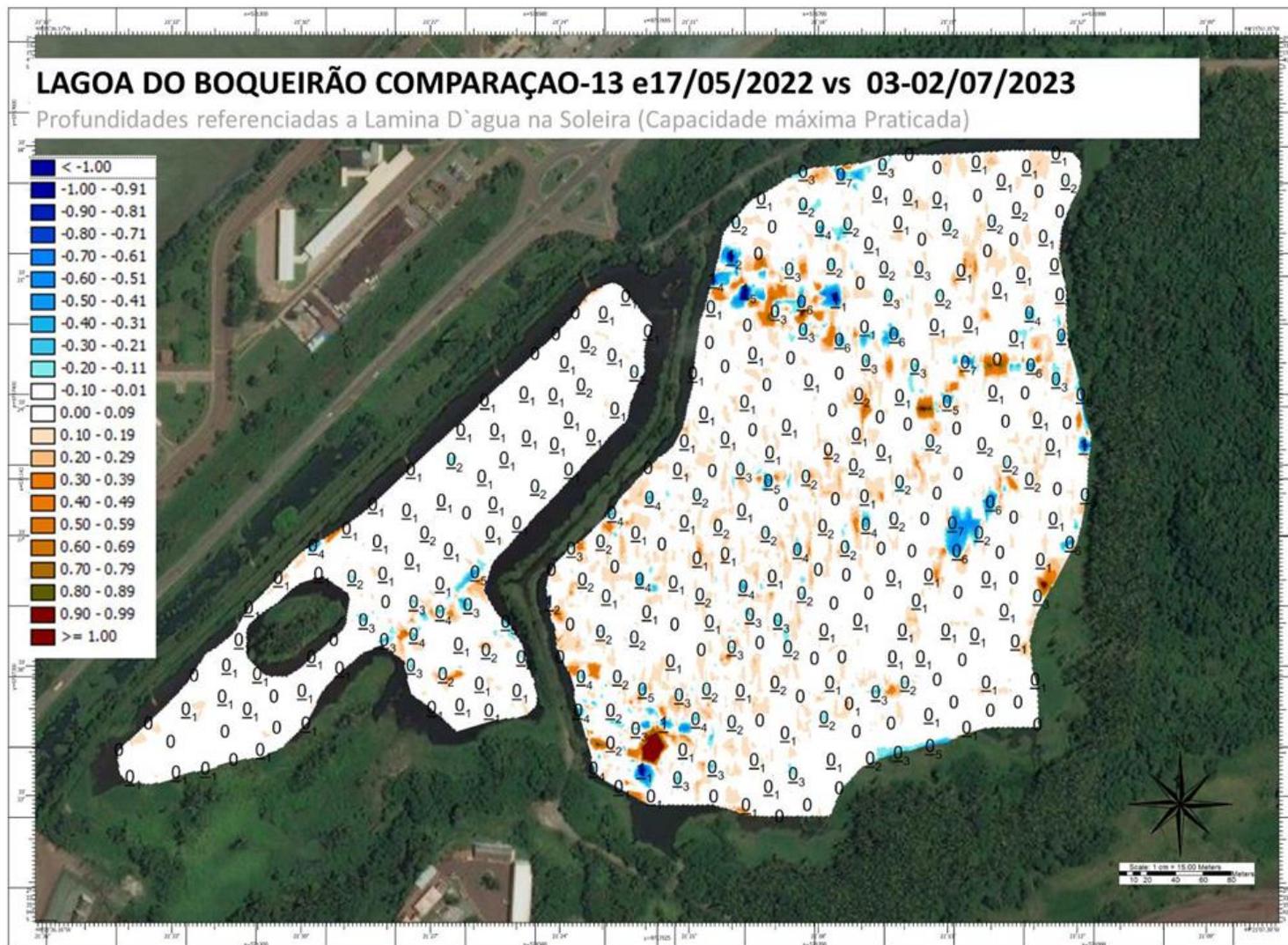


Figura 32. Lagoa do Boqueirão – Comparação 13 e 17/05/2022 vs 01 a 02/07/2023. (Figura do autor).

Essa constância nas medidas é crucial para garantir a integridade do ecossistema da lagoa e para a proteção das comunidades que dependem dela. Os riscos potenciais de extravasamento, que poderiam levar poluentes e alterar a qualidade das águas, não se manifestaram durante o período analisado. Isso atesta a eficácia das medidas de controle e manejo adotadas, bem como a conscientização da comunidade local sobre a importância da preservação desse recurso natural.

É importante ressaltar que a estabilidade ambiental da lagoa terciária também possui reflexos positivos na biodiversidade do ecossistema marinho adjacente. O fato de não haver alterações significativas no nível de água e nas características do leito evitou que possíveis impactos negativos chegassem ao ambiente costeiro.

Com base nas informações coletadas e analisadas, a lagoa terciária apresenta-se como um exemplo bem-sucedido de preservação e gerenciamento sustentável.

A Bacia Leste C1 é uma componente essencial do sistema hidrológico estudado, recebendo exclusivamente contribuições de bombas instaladas estrategicamente na região. A batimetria, que é a medição da profundidade e do relevo do fundo da bacia, é fundamental para monitorar a estabilidade e a capacidade de armazenamento hídrico ao longo do tempo.

As bombas desempenham um papel crucial na manutenção dos níveis de água na Bacia Leste C1. Durante o período analisado, observou-se que a entrada de água na bacia foi consistentemente controlada pelas bombas. Essa operação contínua e regulada é essencial para manter os níveis de água dentro dos limites desejados e para garantir a estabilidade da bacia.

Ao longo de um ano de monitoramento, as análises das batimetrias da Bacia Leste C1 mostraram-se estáveis. As imagens produzidas em diferentes momentos revelaram que não houve variações significativas na profundidade ou na configuração do fundo da bacia. Esta estabilidade pode ser atribuída ao controle eficiente das contribuições de água pelas bombas (Figuras 33 e 34).

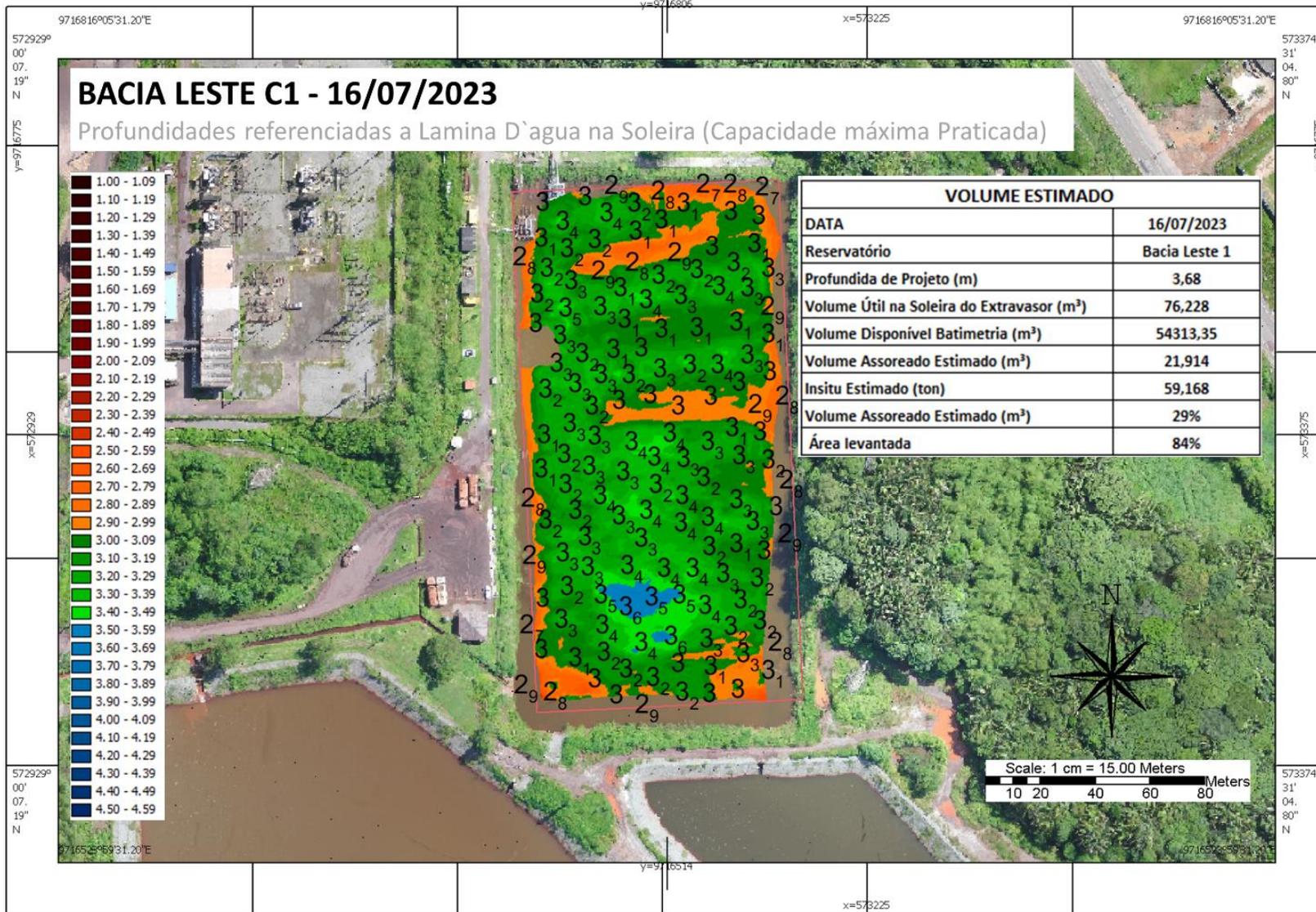


Figura 33. Bacia Leste C1 – 16/07/2023. (Figura do autor)

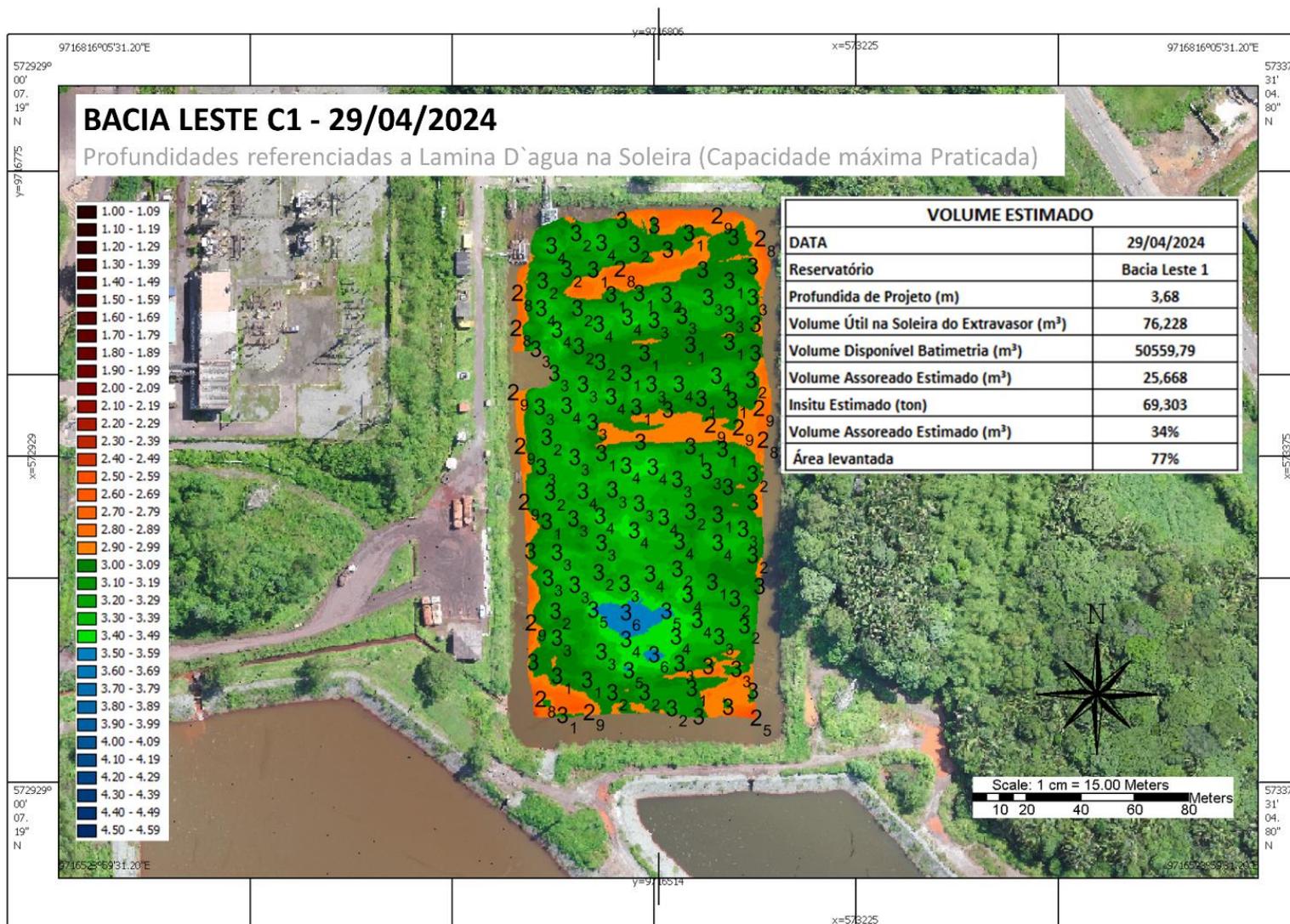


Figura 34. Bacia Leste C1 – 29/04/2024. (Figura do autor).

As batimetrias foram realizadas periodicamente e os dados indicam que a profundidade da bacia permaneceu constante, sem sinais de assoreamento ou erosão excessiva. A uniformidade nas medições sugere que a gestão do volume de água foi eficaz, mantendo a capacidade de armazenamento e prevenindo flutuações que poderiam comprometer a integridade da bacia.

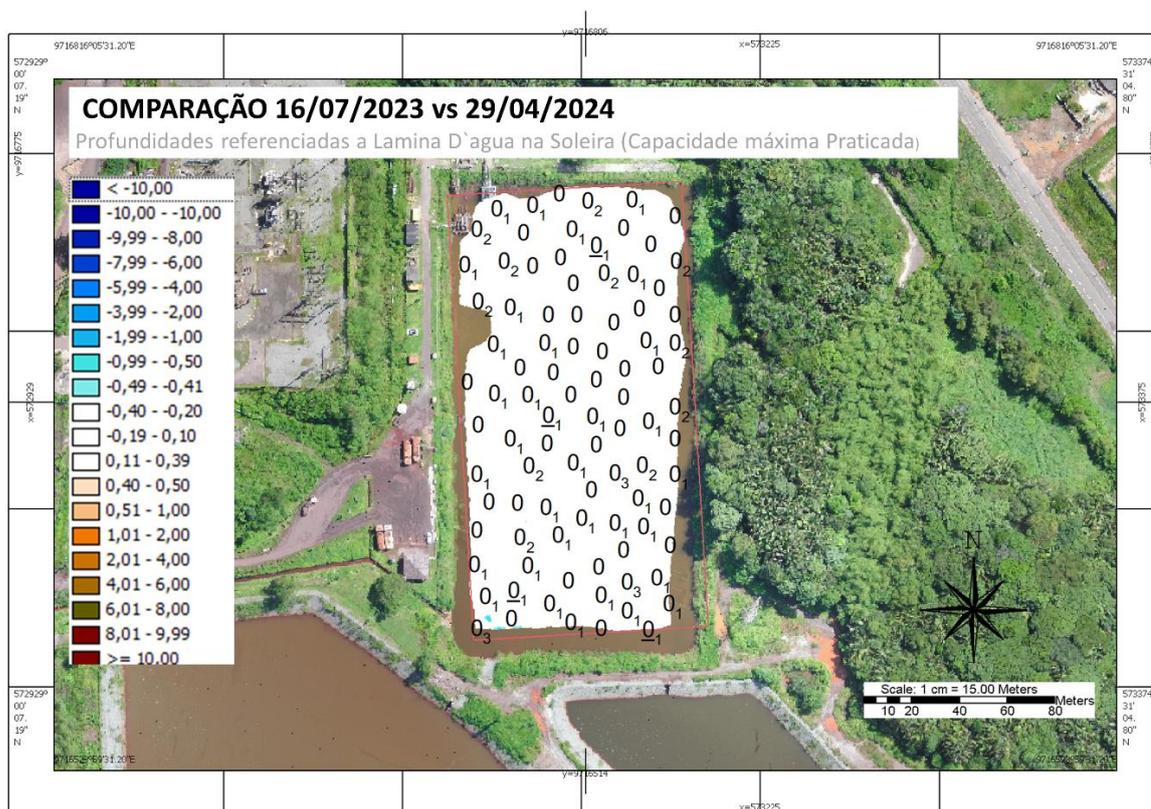


Figura 35. Bacia Leste C1 – comparação de 16/07/2023 e 29/04/2024. (Figura do autor).

As imagens e as análises batimétricas da Bacia Leste C1 indicam que, durante um ano, a bacia manteve-se estável, graças às contribuições reguladas das bombas. A consistência na profundidade e no relevo do fundo da bacia demonstra a eficácia do sistema de gestão hídrica implementado. Manter essa estabilidade é crucial para a segurança hídrica e para a prevenção de problemas associados ao desequilíbrio hídrico. Recomenda-se, portanto, a continuidade do monitoramento e da manutenção das bombas para garantir a estabilidade e a capacidade de armazenamento da bacia a longo prazo.

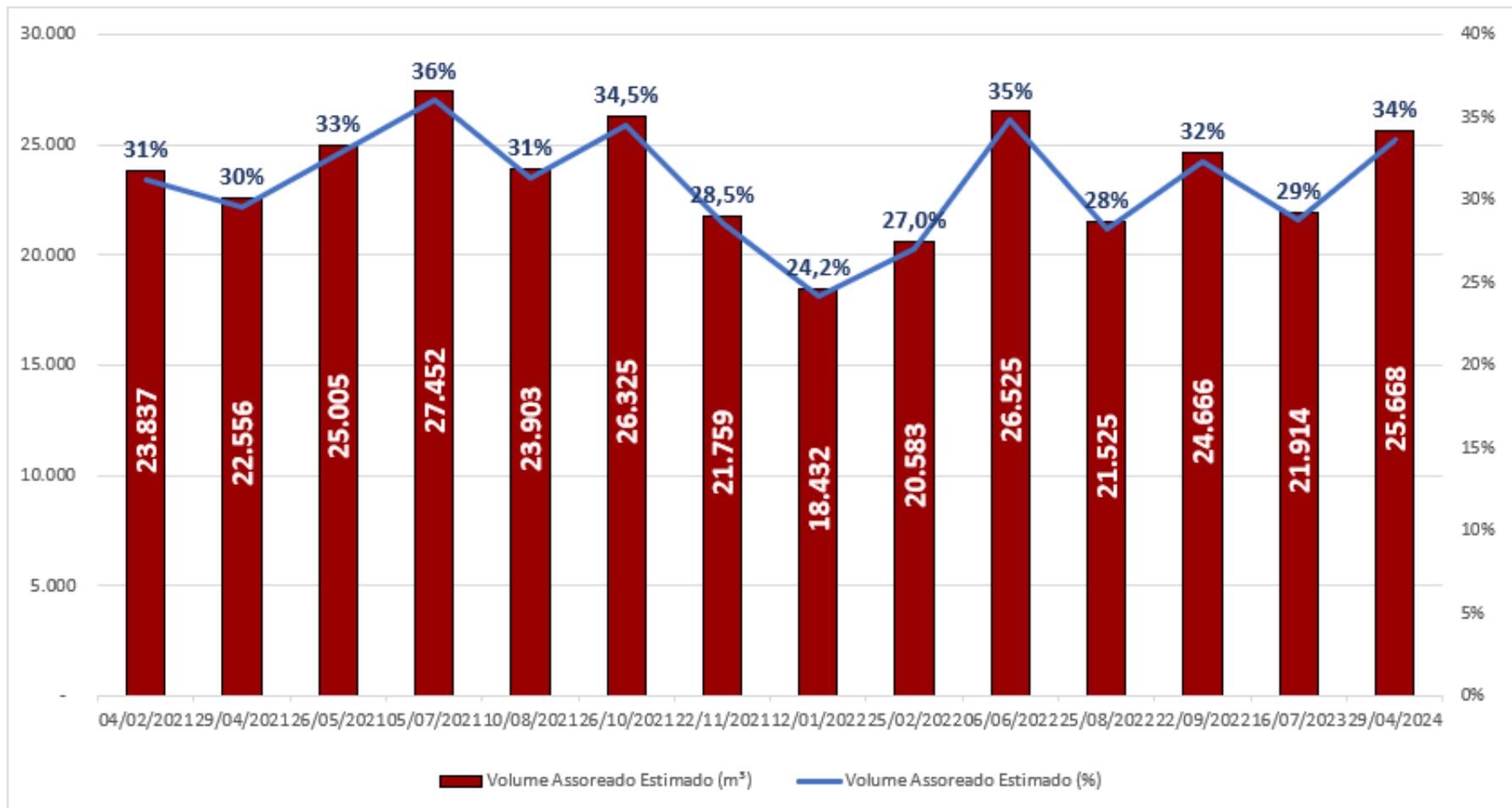


Figura 36. Evolução do Assoreamento da Bacia Leste C1, dados de 2021 a 2024. (Figura do autor).

A Bacia Leste C2 é outra componente crítica do sistema hidrológico analisado. Durante o período de três anos, essa bacia apresentou sinais de assoreamento gradual. O assoreamento é o acúmulo de sedimentos no fundo da bacia, que pode reduzir sua capacidade de armazenamento e afetar a eficiência do sistema hídrico. A análise dos dados batimétricos foi fundamental para entender a progressão deste fenômeno e propor medidas corretivas.

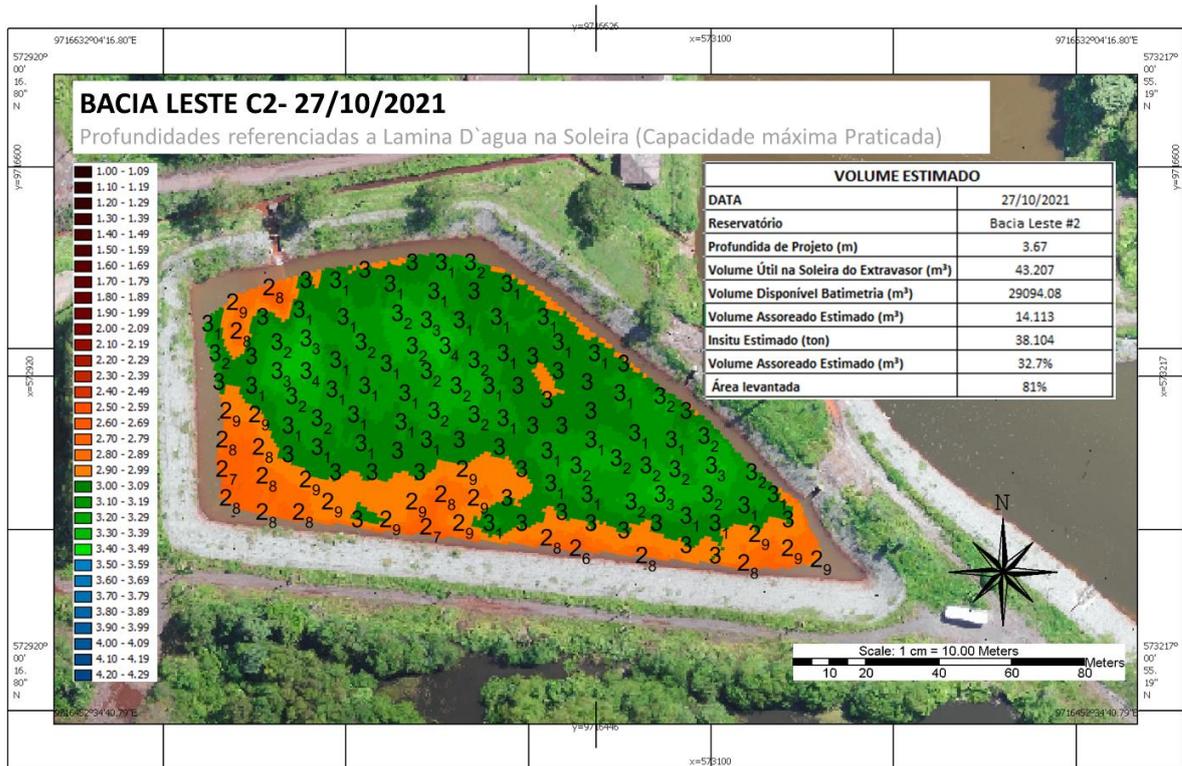


Figura 37. Bacia Oeste C2 – 27/10/2021. (Figura do autor)

As análises batimétricas realizadas ao longo de três anos indicaram que a Bacia Leste C2 sofreu um assoreamento gradual. Este processo foi monitorado periodicamente e os dados mostraram um aumento constante na quantidade de sedimentos acumulados no fundo da bacia. Embora o assoreamento não tenha ocorrido de forma abrupta, a sua progressão contínua é uma preocupação para a gestão hídrica.

O assoreamento gradual observado sugere que, apesar da estabilidade relativa na entrada de água, há uma contribuição significativa de sedimentos, possivelmente devido à erosão das margens e à entrada de materiais particulados através das águas pluviais e das contribuições externas.

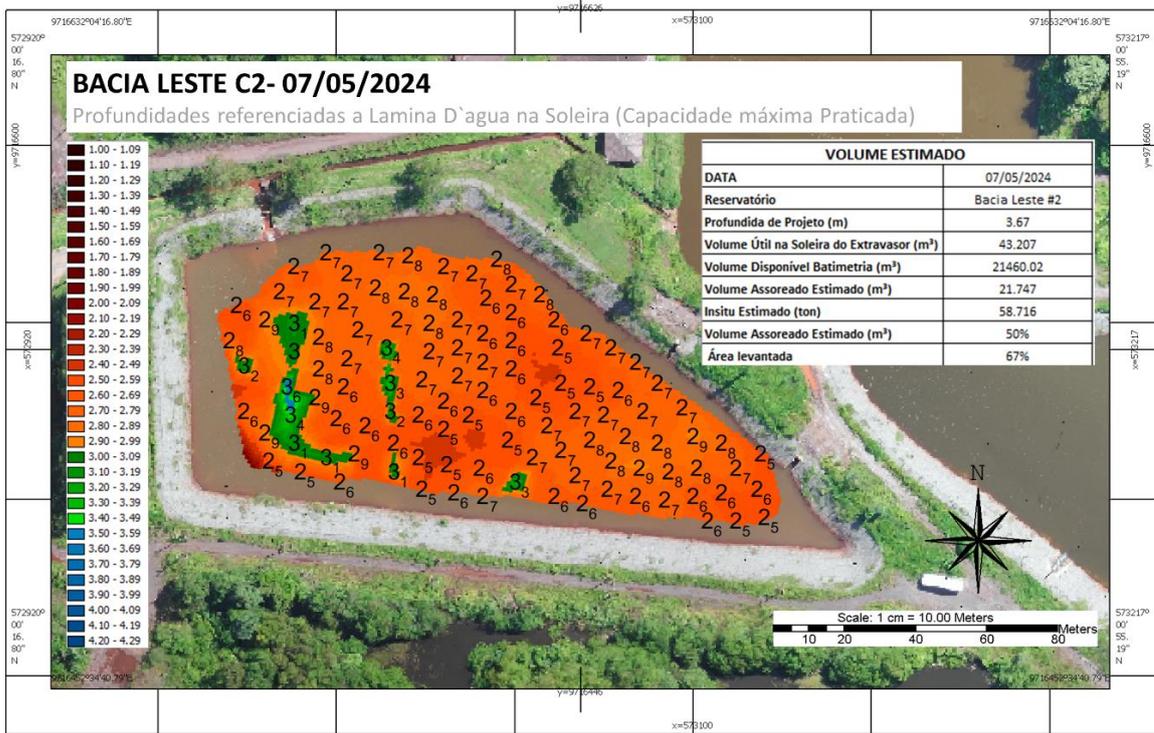


Figura 38. Bacia Oeste C2 – 07/05/2024. (Figura do autor).

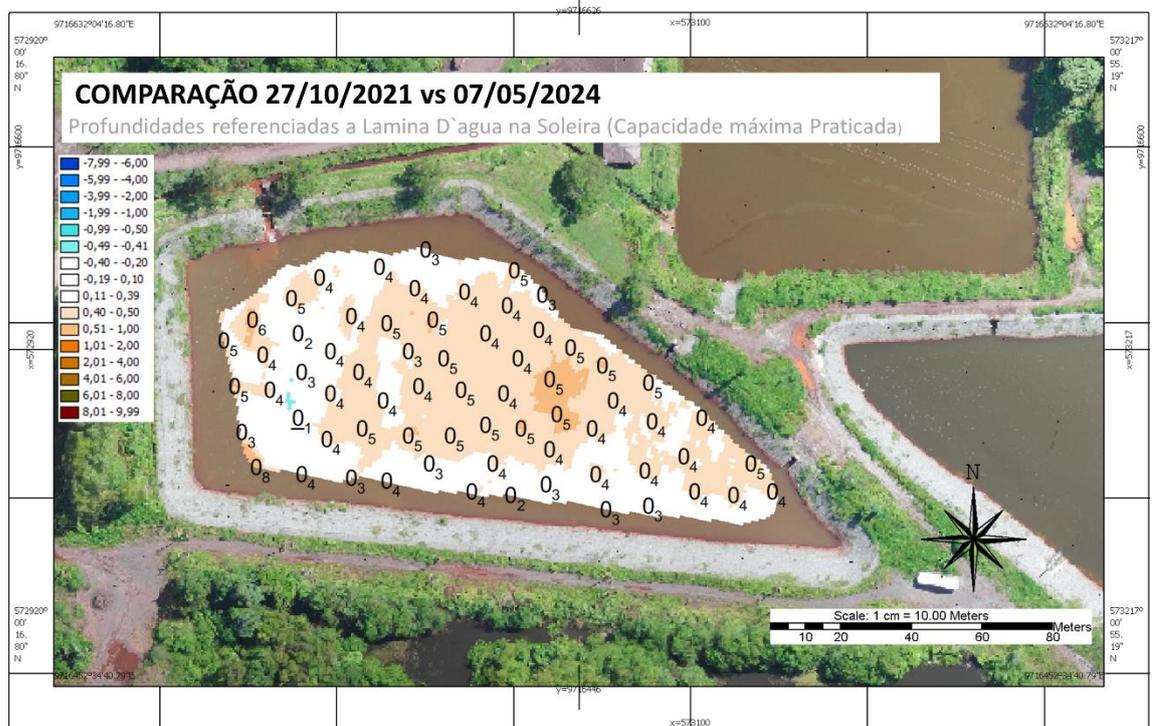


Figura 39. Bacia Oeste C2 – comparação entre 27/10/2021 e 07/05/2024. (Figura do autor).

Com base nos dados de assoreamento observados, a principal recomendação deste estudo é a realização de dragagens regulares na Bacia Leste C2. A dragagem é o processo de remoção dos sedimentos acumulados no fundo da bacia, restaurando sua capacidade de armazenamento e eficiência operacional.

Especificamente, recomenda-se que a dragagem seja realizada a cada dois anos. Esta frequência foi determinada com base na taxa de assoreamento observada e é considerada suficiente para prevenir o acúmulo excessivo de sedimentos, garantindo que a bacia mantenha sua capacidade operacional ideal.

Além disso, é recomendável implementar medidas complementares para minimizar a entrada de sedimentos, como o reforço das margens da bacia, o controle da erosão nas áreas circundantes e a instalação de barreiras de sedimentos nas áreas de entrada de água.

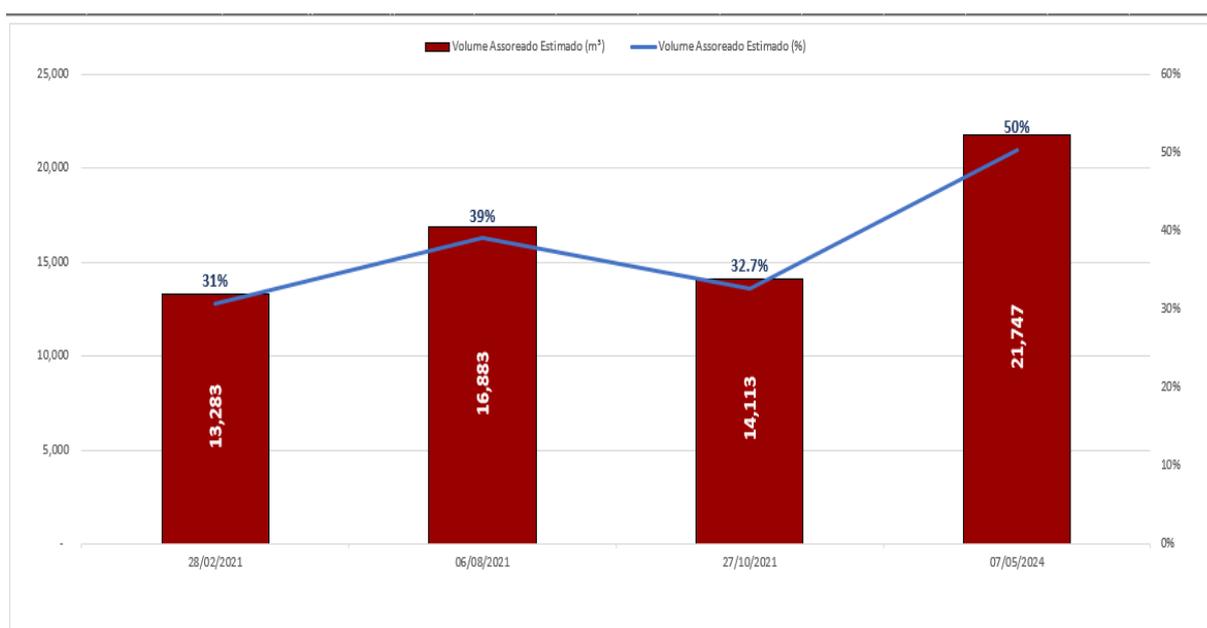


Figura 40. Evolução do Assoreamento da bacia Oeste C2, dados de 2023 a 2024. (Figura do autor).

A Bacia Leste C2 apresentou um assoreamento gradual ao longo de três anos, conforme indicado pelas análises batimétricas. Para garantir a eficiência e a capacidade de armazenamento da bacia, recomenda-se a realização de dragagens a cada dois anos. Essa medida, juntamente com outras ações de controle de sedimentos, é essencial para manter a funcionalidade e a sustentabilidade hídrica da bacia a longo prazo.

A Bacia Leste Superior, dentro do contexto do sistema hidrológico estudado, apresentou um caso de assoreamento pontual ao longo de um ano. O assoreamento pontual refere-se ao acúmulo de sedimentos em áreas específicas, em vez de uma distribuição uniforme por toda a bacia. A identificação e análise deste fenômeno são cruciais para implementar soluções corretivas de maneira eficiente e direcionada.

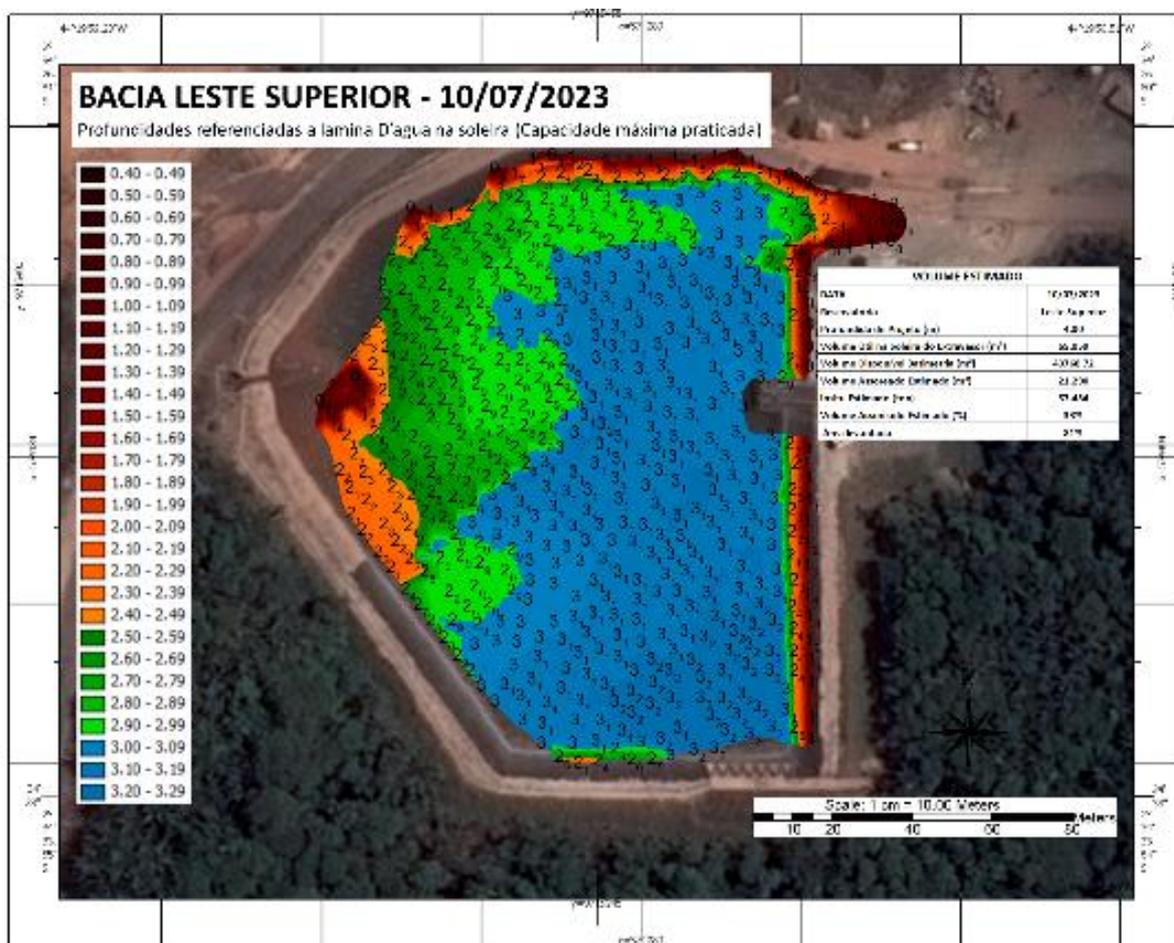


Figura 41. Bacia Leste Superior – 10/07/2023. (Figura do autor).

Durante o período de um ano, as análises batimétricas da Bacia Leste Superior revelaram um assoreamento concentrado próximo à entrada da bacia. Este acúmulo de sedimentos foi significativo o suficiente para ser identificado como uma área crítica que requer intervenção, mas não se espalhou de forma considerável pelo restante da bacia.

O assoreamento pontual geralmente ocorre devido à entrada de materiais particulados que se depositam rapidamente ao entrarem na bacia, muitas vezes exacerbado por fluxos de água com alta carga sedimentar. As imagens e dados batimétricos mostraram que, além da área de entrada, o restante da bacia manteve-se relativamente estável em termos de profundidade e relevo do fundo.

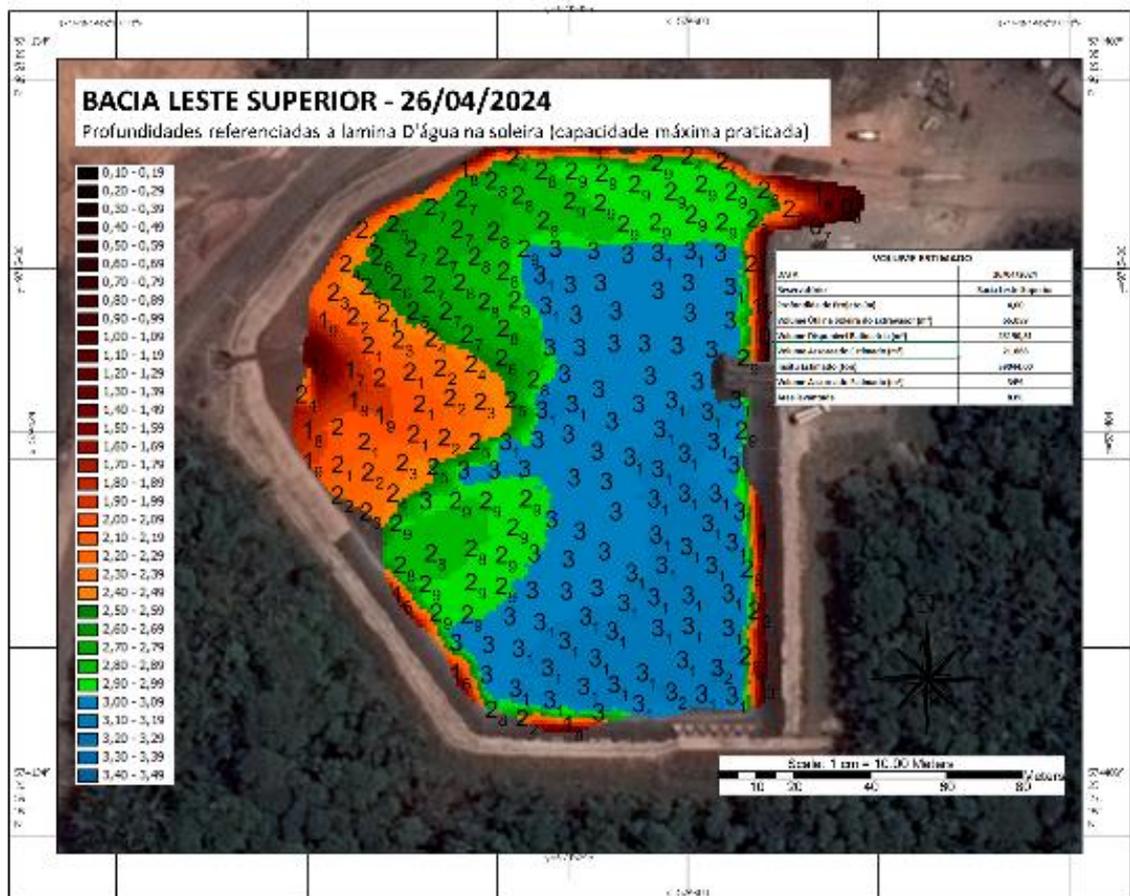


Figura 42. Bacia Leste Superior – 26/04/2024. (Figura do autor).

Com base nas observações e análises, a principal recomendação é realizar uma dragagem direcionada, focada especificamente na área próxima à entrada da bacia. Esta abordagem seletiva é eficiente tanto em termos de custo quanto de esforço, pois evita a necessidade de dragagem em toda a extensão da bacia, onde não foi observado um assoreamento significativo.

A dragagem direcionada permitirá a remoção dos sedimentos acumulados, restaurando o fluxo eficiente de água para o interior da bacia e prevenindo futuros problemas de obstrução. Além disso, é recomendável implementar medidas preventivas, como barreiras de sedimentos ou técnicas de controle de erosão nas áreas circundantes, para minimizar a entrada de novos sedimentos.

A Bacia Leste Superior apresentou um caso de assoreamento pontual ao longo de um ano, com acúmulo de sedimentos concentrado próximo à entrada da bacia. Para abordar esse problema de forma eficaz, recomenda-se a realização de uma dragagem direcionada na área afetada. Esta medida específica é suficiente para

restaurar a funcionalidade da bacia, sem a necessidade de intervenções mais extensivas. A implementação de medidas preventivas adicionais ajudará a manter a estabilidade da bacia a longo prazo.



Figura 43. Bacia Leste Superior – Comparação entre 10/07/2023 e 26/04/2024. (Figura do autor).

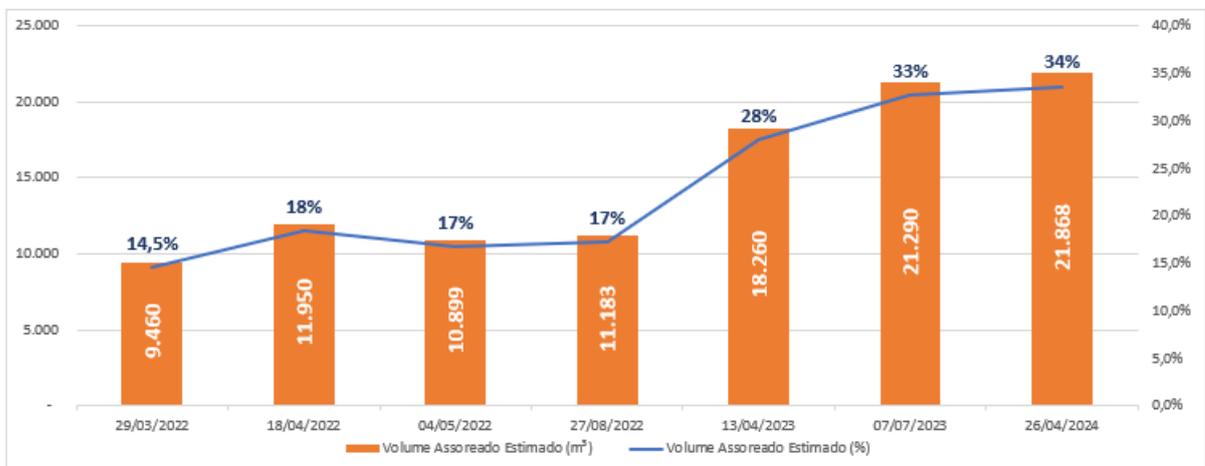


Figura 44. Evolução do Assoreamento da bacia Leste Superior, dados de 2022 a 2024. (Figura do autor).

6. Conclusões e recomendações

A continuidade das campanhas mensais de batimetria é fundamental para monitorar a evolução da bacia e garantir a manutenção de suas condições hidrográficas ideais. O controle rigoroso desses parâmetros é essencial para assegurar o bem-estar tanto do ecossistema aquático quanto da população que depende desse recurso.

As batimetrias realizadas e analisadas nas bacias e lagoas do TMPM apresentaram excelentes resultados para tomada de decisão do terminal. Dentre eles, podemos destacar:

- Maior assertividade do material a ser dragado/limpo de cada uma das bacias;
- Maior previsibilidade de onde e quando dragar/limpar o material;
- Maior preparação do cenário das bacias para o período chuvoso;
- Identificação das bacias em primárias, secundárias e terciárias.
- Definição do percentual de 40% para gatilho para limpeza das bacias.

As bacias foram divididas em três tipos principais: primárias, secundárias e terciárias, de acordo com a maneira como recebem os rejeitos. As primeiras bacias coletam todo o rejeito dos pátios. As bacias secundárias são auxiliadas pelos sistemas de drenagem das bacias primeiras ou diretamente pelos sistemas de bombeamento. Eles servem como intermediários no processo de tratamento e transporte dos rejeitos.

Finalmente, os sistemas de bombeamento alimentam as bacias terciárias, que recebem o rejeito tratado e remanescente das bacias secundárias. Isso completa o ciclo de manejo e controle dos resíduos líquidos. Essas três camadas de bacias são essenciais para a gestão eficaz dos rejeitos em sistemas de drenagem complexos, pois garantem a mitigação de impactos ambientais e a preservação da qualidade da água.

Trata-se de um primeiro trabalho a abordar o tema sobre gestão de bacias e lagoas do TMPM. Apesar da continuidade que esse trabalho irá apresentar, mais estudos podem ser realizados para aprofundar outros questionamentos, por exemplo, a fauna existente no local, tipo de sedimento, entre outros. Esses novos estudos podem gerar mais insumos para uma completa compreensão desses ambientes.

7. Referências

- AMARAL, R.F.; ALFREDINI, P. 2010. **Modelação hidrossedimentológica no Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, p. 5-14.
- ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues. **Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na população urbana do município de São Luís (MA)**. 2014. 289 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.
- BORK, C. K. **Projeções de temperatura e precipitação para detecção de mudanças climáticas na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2015.
- BORSATTO, A. L.; BAGGIO, D. K.; BRUM, A. L. **Conceitos e definições do ESG – Environmental, social and corporate governance – no contexto evolutivo da sustentabilidade**. Desenvolvimento em questão. v. 21 n. 59 (2023): Nº 59 - 2023.
- BRASIL. **Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 9 dez. 1997.
- BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/>. Acesso em: março de 2023.
- FERREIRA, Antonio Geraldo; MELLO, Namir Giovanni da Silva. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 1, n.1. p. 15-26, 2005.
- GRUBER, A., 1971. **Fluctuations in the Position of the ITCZ in the Atlantic and Pacific Oceans**. National Environmental Satellite Service, NOAA, Washington.

- GUILHERME, L.R.G. et al. **Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. Tópicos em Ciências do Solo**, v. 4, p. 345-390, 2005.
- HUANG, D.Z.X; **Environmental, social and governance (ESG) activity and firm performance: a review and consolidation. Account Finance**, 61:335-360. 2021. <https://doi.org/10.1111/acfi.12569>
- HYPACK, Inc. **Hypack – A Xylem Brand**. Middletown, USA, 2651p., 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, Precipitações e Intensidade 64 dos Ventos históricos (1961 – 1990) para Ilha de São Luis**. Em: (<http://www.inmet.gov.br>). Acesso em abril de 2023.
- NRIAGU, J.O.; PACYNA, J.M. **Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals**. Nature, v. 33, p. 134-139,1988.
- NÚCLEO GEOAMBIENTAL DA UEMA (NUGEO). **Relatório Técnico da Previsão de Chuva para o período de janeiro a abril de 2020 no Maranhão. Janeiro de 2020**. 2020
- NUNES, J. **Tratamento Físico-Químico de águas residuárias industriais**. 4ª Edição revista e ampliada. Aracaju: Gráfica Editora J.Andrade Ltda, 2004.
- PAIVA, C. T.; CANÇADO, R. Z. L. **Melhoria da qualidade da água em bacias de decantação localizadas em áreas de extração de areia**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 61(3): 309-315, jul. set. 2008.
- PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- THUILLER, W. (2007). **Climate change and the ecologist**. Nature, 448 (7153), 550–552. doi:10.1038/448550a
- V. PRADITH, PE'ERI, S., MADDOCK, D., OROSHNIK, D., RILEY, J., AND MURRAY, B., **“Integrating Industrial Laser Scanners for Small Vessel Operations”**, US Hydrographic Conference 2015. 2015.
- VALE. **Relato Integrado 2023**. Vice-presidência Executiva de Sustentabilidade. 2023.
- OLIVEIRA, A. P. de; LUZ, A. B. da. **Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 36 p. 2001.