



**FUNDAÇÃO CEARENSE DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO
E TECNOLÓGICO – FUNCAP**

DIRETORIA DE INOVAÇÃO

RELATÓRIO TÉCNICO () PARCELA (X) FINAL

**RestauraCocó - Restauração ecológica e gestão participativa da área
incendiada do Parque Estadual do Cocó**

Topografia e Batimetria

Pesquisador(a): Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão - Labomar/UFC

Instituição de execução:

Universidade Federal do Ceará- UFC

Instituto de Ciências do Mar- Labomar

Laboratório de Oceanografia Geológica- LOG

Data: Janeiro de 2025

SUMÁRIO

Lista de Figuras e Tabelas	2
1. Introdução	4
1.1. Contextualização do Problema	4
1.2. Equipe e Atividades	5
1.3. Características Fisiográficas do Rio Cocó	6
1.4. Localização das Áreas dos Levantamentos	7
2. Objetivos	8
2.1. Objetivo Geral do Projeto	8
2.2. Objetivo Específico e Meta	8
3. Metodologia	8
3.1. Topografia da Área Emersa	8
3.2. Batimetria da Área Submersa	14
4. Resultados	21
4.1. Topografia da Área Emersa	21
4.2. Batimetria da Área Submersa	29
4.3. Topobatimetria – Áreas Emersa e Submersa	32
5. Considerações Finais	33
6. Referências	34

Lista de Figuras e Tabelas

Figura 1 – Mapa de localização das áreas emersa e submersa.	7
Figura 2 – Utilização do RTK em campo. Vista para as antenas ‘base’ e ‘rover’.	9
Figura 3 – Utilização do drone RPA Phantom 4 em campo.	11
Figura 4 – Registro de um PC com antena ‘rover’ do RTK.	12
Figura 5 – Tábua de maré do Porto de Fortaleza, CE, correspondente aos dias do levantamento.	15
Figura 6 – Embarcação utilizada no levantamento batimétrico.	15
Figura 7 – Malha do levantamento batimétrico.	16
Figura 8 – Aspectos da utilização do ecobatímetro digital Seafloor Systems HydroLite TM. A – Antena RTK e coletora dos dados de profundidade, coordenadas e hora. B – Sonda abaixo da lâmina d’água. C – Medição dos offsets.	17
Figura 9 – Instalação dos sensores de pressão. A – Nas proximidades da foz, Sabiaguaba. B – Nas proximidades da área do incêndio, Píer do Parque do Cocó.	
	18
Figura 10 – Curvas da maré e equações polinomiais para o intervalo de levantamento do dia 15/10/24. Levantamento batimétrico das 13:30 às 16:30hs. A – Sabiaguaba. B – Píer do Parque do Cocó.	19
Figura 11 – Curvas da maré e equações polinomiais para o intervalo de levantamento do dia 16/10/24. Levantamento batimétrico das 13:00 às 16:00hs. A – Sabiaguaba. B – Píer do Parque do Cocó.	19
Figura 12 – Nuvem total de pontos coletados, após as etapas de tratamento de dados. Total de 10.323 pontos.	20
Figura 13 – Modelo de elevação de terreno (MDE) de parte da área afetada pelo incêndio. Notar a elevação do terreno próximo a margem do rio, referente ao antigo dique da salina.	21
Figura 14 – Perfil topográfico com RTK (Ponto 2 da figura 13) evidenciando os diversos tipos de formações na área. Destaque para os canais de transporte de água e para o dique da salina.	22
Figura 15 – Perfil topográfico com RTK (Perfil 3 da figura 13) evidenciando os diversos tipos de formações na área. Destaque para os canais de transporte de água e para o dique da salina.	22
Figura 16 – Canal de abastecimento das antigas salinhas.	23

Figura 17 – Comparação entre imagem Google Earth de maio de 2023 (antes do incêndio) com ortofotocarta gerada pelas imagens de voo com drone de 31/01/2024. Destaque para área de vegetação mais afetada.	24
Figura 18 – Destaque panorâmico no voo com drone das áreas de vegetação degradada pelo incêndio.	25
Figura 19 – MDE e modelo de sombreamento destacando as estruturas das antigas salinas.	26
Figura 20 – Comparação entre ortofotos dos voos com drone realizados em janeiro e abril de 2024.	27
Figura 21 – Vista para as áreas inundadas das bacias das antigas salinas e vegetação aquática, abril de 2024.	28
Figura 22 – Vista para as áreas inundadas das bacias das antigas salinas, abril de 2024.	28
Figura 23 – Frequência das cotas batimétricas (profundidade) na área do levantamento.	29
Figura 24 – Mapa batimétrico da área do levantamento. Perfis	30
Figura 25 – Perfis sobre o MDE da batimetria ressaltando os bancos arenosos e cotas positivas.	30
Figura 26 – Destaque em imagem de satélite dos bancos arenosos no Rio Cocó.	31
Figura 27 – Vegetação de mangue sobre banco arenoso dentro do curso principal do rio.	31
Figura 28 – MDE e perfis da topobatimetria envolvendo a área do incêndio. Exagero vertical de 5x.	32
Figura 29 – Recorte do perfil topobatimétrico e situação da área em condições de maré alta.	33
Tabela 1 – Atividades e levantamento realizados pela equipe da morfologia.	8
Tabela 2 – Erros dos eixos X, Y e Z. Erro total e tamanho do pixel por produto.	17

1. Introdução

1.1. Contextualização do Problema

O presente projeto trata-se do desdobramento do relatório técnico produzido pelo Grupo de Trabalho instituído pela Secretaria de Meio Ambiente e Mudança do Clima por meio da Portaria 07/2024 de 23 de janeiro de 2024, publicada no DOE do Ceará, ANO XVI No. 16, p. 42 (ANEXO NO PLANO DE TRABALHO). O grupo avaliou a área do Parque Estadual do Cocó (PEC) afetada pelo incêndio ocorrido entre os dias 17 e 21 de janeiro de 2024 (quando o fogo foi considerado controlado), e propôs ao Governo do Estado as ações de restauração que devem ser feitas para recuperar a área e evitar novos episódios como o ocorrido, as quais seguem detalhadas no presente projeto.

O Parque Estadual do Cocó é uma Unidade de Conservação estadual criada por meio do Decreto Estadual nº 32.248/2017, sendo que a área atingida pelo incêndio florestal abrangeu somente um trecho situado no município de Fortaleza-CE, sob as coordenadas SIRGAS 2000 UTM 24S 9.585.061N/557.943E (-3.754360, -38.478255), na margem esquerda do Rio Cocó (baixo curso), tendo como referência espacial a proximidade com a Comunidade Barreiros e o bairro Cidade 2000 (SEMACE, 2024).

O PEC é o maior parque natural em área urbana do Norte/Nordeste, sendo o maior fragmento verde da capital cearense. Possui uma área total de 1.571,29 ha, onde o Trecho 1 está integralmente localizado no município de Fortaleza, enquanto o Trecho 2 abrange o território de Fortaleza, Itaitinga, Maracanaú e Pacatuba.

De acordo com o Plano de Manejo do Parque Estadual do Cocó (2020), a área impactada pelo incêndio ocorrido entre os dias 17 e 21 de janeiro de 2024 possui cobertura vegetal predominantemente caracterizada por ambientes paludosos de brejo, além de uma área de mangue de porte arbóreo ao lado de brejo. Pelo zoneamento do PEC, a área afetada pelo fogo está inserida na Zona de Preservação (ZP) do Parque Estadual do Cocó, mais especificamente a ZP3.

1.2. Equipe e Atividades

A equipe multidisciplinar atua em diferentes áreas do conhecimento para obtenção de dados bióticos e abióticos com o intuito de desenvolver e aplicar as metodologias mais avançadas de restauração para a área.

A equipe que compõe os estudos e atividades (tabela 1) referentes a morfologia, ou mapeamento morfológico das áreas emerse e submersa do estuário, no seu trecho desde a foz até o Lagamar, através de técnica de topobatimetria, é composta pelos seguintes pesquisadores:

- Profa. Dra Lidriana de Souza Pinheiro- Doutora em Oceanografia/ Docente do Instituto de Ciências do Mar (Labomar/UFC).
- Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão - Doutor em Ciências do Mar/Pesquisador do Instituto de Ciências do Mar (Labomar/UFC).

Tabela 1 – Atividades e levantamento realizados pela equipe da morfologia.

TIPO	ATIVIDADES / LEVANTAMENTOS	PESQUISADOR(A)	DATA
Topografia	Reconhecimento da área emerse e levantamento de perfis topográficos com GNSS RTK e registro do antigo dique	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	29/01/2024
Topografia	Mapeamento em MDE de toda a área emerse com GNSS RTK e RPA Drone	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	31/01/2024
Processamento de dados	Processamento dos dados topográficos coletados em 29/01/24	Dra. Lidriana Pinheiro	Fevereiro de 2024
Relatório	Relatório dos dados coletados em 29/01/24	Dra. Lidriana Pinheiro	Março de 2024
Registro de Imagens	Registro de imagens da área emerse no período chuvoso com Drone	Dr. Fco. Gleidson	18/04/2024
Processamento de dados	Processamento dos dados topográficos coletados em 31/01/24	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	Maio de 2024
Processamento de dados	Processamento dos dados topográficos coletados em 31/01/24	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	Junho de 2024
Processamento de dados	Processamento dos dados de registro de imagens coletadas em 18/04/24	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	Julho de 2024
Pré-campo	Visita acompanhada do Tenente Araújo e reconhecimento de embarcação para o levantamento batimétrico	Dr. Fco. Gleidson	Julho de 2024
Processamento de dados	Processamento dos de registro de imagens coletadas em 18/04/24	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	Agosto de 2024

Pré-campo	Visita acompanhada do Tenente Araújo, ajuste e apresentação da malha para o levantamento batimétrico	Dr. Fco. Gleidson	Agosto de 2024
Processamento de dados	Processamento dos dados topográficos coletados em 31/01/24	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	Setembro de 2024
Batimetria	Levantamento batimétrico da área submersa com Seafloor Systems HydroLite TM com antena RTK	Dr. Fco. Gleidson	Outubro de 2024
Processamento de dados	Processamento dos dados batimétricos coletados na área submersa	Dr. Fco. Gleidson	Novembro de 2024
Registro de Imagens	Registro de fotografias da área emersa (incêndio) no período de estiagem	Dr. Fco. Gleidson	Novembro de 2024
Processamento de dados e Relatório	Processamento dos dados batimétricos coletados na área submersa. Confecção de relatório de todos os dados coletados. Dados de topobatimetria	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	Dezembro de 2024
Relatório	Confecção de relatório de todos os dados coletados. Dados de topobatimetria	Dra. Lidriana Pinheiro Dr. Fco. Gleidson	Janeiro de 2025

1.3. Características Fisiográficas do Rio Cocó

As nascentes do rio Cocó se situam na encosta leste da serra da Pacatuba/Aratanha, quando os pequenos riachos se encontram e, tem o nome de Pacatuba. Ao descer a serra, ele se junta ao Gavião, e, dele, leva o nome. Já na planície da depressão sertaneja, depois de receber as águas do riacho Alegrete, da bacia do sistema Pacoti-Riachão, e da barragem do Gavião, ele passa a ser denominado rio Cocó. Deste ponto, em que suas águas a montante são controladas pelo açude Gavião, ele percorre mais 45,6 quilômetros até atingir o mar, entre Sabiaguaba e a Praia do Futuro. Neste trajeto, ele recebe água de 29 afluentes na margem direita, inclusive o seu principal, que é o rio Coaçú, e 16 outros, na margem esquerda. É barrado em 15 locais, além de possuir 36 lagoas (Leal, 2009).

É um rio cuja bacia está restrita à Região Metropolitana de Fortaleza e recorta os municípios de Guaiuba, Pacatuba, Maranguape, Maracanaú, Itaitinga, Eusébio e Aquiraz, antes de desaguar em Fortaleza, onde drena 2/3 da área do município (215 km²). Ocupa uma área de 517 km². Tem direção

dominante SW-NE, na planície, onde o relevo é arrasado, até desviar-se para NW-SE. Desde sua parte média, o rio recorta terrenos de cota média inferior a quatro metros. Em Sabiaguaba, ao contornar as dunas, ele muda o curso para norte, até desaguar no mar (Leal, 2009).

Na área do Parque Ecológico do Cocó (BR 116-Foz), antigas salinas foram abandonadas, e onde os terrenos mais baixos não foram aterrados, houve expansão dos mangues até os limites com os salgados e o canal do rio. As dunas bordejam as duas margens principalmente nas proximidades da foz. Porém, na margem esquerda, um alinhamento de paleodunas e dunas fixadas pela vegetação se destacam na morfologia, nas proximidades da Cidade 2.000 (Leal, 2009).

1.4. Localização das Áreas dos Levantamentos

O presente relatório versa sobre as atividades executadas e os levantamentos feitos para a caracterização morfológica das áreas emersa, que corresponde a área do incêndio de janeiro de 2024, e submersa, curso do rio desde a foz até as proximidades do Lagamar (Figura 1). Os dados e resultados da morfologia irão dar suporte para a modelagem hidrodinâmica (modelagem de inundação) naquelas áreas, quando será feito o modelo do comportamento das correntes de maré no Rio Cocó.

Figura 1 – Mapa de localização das áreas emersa e submersa.



2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral do Projeto

O projeto RestauraCocó tem como objetivo documentar os impactos históricos sobre um trecho do Parque Estadual do Cocó, registrar os danos derivados do incêndio de janeiro de 2024 e realizar a restauração ecológica da área afetada recentemente pelo incêndio.

2.2. Objetivo Específico e Meta

Mapeamento morfológico (topografia) da área emersa composta pelas margens do rio na área degradada pelo incêndio, a partir da aplicação da técnica de aerofotogrametria digital por meio de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) e receptor GNSS RTK (Real Time Kinetics), além de dados secundários LiDAR; e levantamento batimétrico monofeixe do estuário (batimetria), incluindo a área intermarés, desde a foz em Sabiaguaba até a região do Lagamar. As técnicas de topografia e batimetria compõem a técnica de topobatimetria, que por sua vez deu suporte para a caracterização morfológica geral.

A meta alcançada do presente levantamento foi a caracterização morfológica da área emersa, área degradada pelo incêndio, a fim de detectar dique de antiga salina; além do mapeamento da morfologia da área submersa do estuário e área intermarés. E por fim, a junção destes dados e geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) final para a modelagem hidrodinâmica.

3. Metodologia

3.1. Topografia da Área Emersa

A topografia da área emersa foi feita a partir da aquisição de dados utilizando um equipamento RTK (*Real-time Kinematic*), marca Trimble, modelo R10, ou equipamento que utiliza o Sistema de Navegação Global por Satélite (Global Navigation Satellite System – GNSS); e dados de aerofotogrametria digital, ou dados de Aeronaves Remotamente Pilotadas ou RPA (Remotely Piloted Aircraft), também chamadas de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) ou drones. Estes equipamentos fornecem agilidade e precisões planimétrica e altimétrica na hora da aquisição, valores importantes para esse tipo de trabalho, uma vez que, se trata de um levantamento em área onde há relativa rápida “perda” de área no setor intermarés, devido a subida da coluna d’água pela maré. Também auxiliou este levantamento dados de ortofotocartas e LiDAR da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) na escala de 1:1000, datadas de 2021.

O sistema de aquisição de dados topográficos com RTK é composto por duas antenas GPS's interconectadas entre si através de ondas curtas de rádio. Uma das antenas é selecionada para trabalhar como ‘base’, recepcionando os dados dos satélites orbitados no campo visual de coleta. À esta base está conectada a outra antena selecionada para trabalhar como ‘rover’, que faz o registro dos dados topográficos da área ou perfil levantado (Figura 2).

Figura 2 – Utilização do RTK em campo. Vista para as antenas ‘base’ e ‘rover’.



Os dados obtidos em campo a partir do RTK foram processados utilizando o programa Trimble Business Center. Uma vez que os dados foram adquiridos pelos métodos Pós-processado e RTK, fez-se necessária a correção para a escala de maior detalhe, utilizando duas estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), as estações CEEU e CEFT, localizadas no Eusébio e no Porto do Mucuripe, respectivamente. Através do método de triangulação foi possível corrigir as coordenadas UTM e altitude geométrica da base e consequentemente os dados de rover.

Como etapa final da correção, os dados em modelo geométrico, adquiridos pelo RTK, e que obedecem ao modelo matemático do elipsoide, foram corrigidos para o modelo ortométrico no software MAPGEO2015 que projeta os dados para o zero hidrográfico da maré, conforme a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) do IBGE e o proposto por Alencar (1990) e Guimarães (2003). Esta correção se faz necessária para que

a ‘amarração’ dos dados topográficos (área emersa) com os batimétricos (área submersa) seja feita sob o mesmo *datum* vertical.

Os dados de RTK serviram para a validação dos dados das ortofotocartas da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) na escala de 1:1000, datadas de 2021, e dos dados LiDAR. Também foram utilizados como Pontos de Controle (PCs) para a correção dos dados de VANT.

Os dados de VANT ou drone foram utilizados para auxiliar na geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área emersa. A técnica de aerofotogrametria digital consta de um processo de aquisição de imagens obtidas Drone. Tal aquisição requer uma série de cuidados para a obtenção adequada das imagens para o processamento digital fotogramétrico, como: a distância focal e abertura da câmera; o recobrimento lateral e longitudinal, que deve ser de no mínimo 60% para duas imagens adjacentes e 30% para duas faixas de voo; e escala de voo.

O presente trabalho contou com o equipamento RPA Phantom 4 (Figura 3) produzido pela DJI Technology Co. A automatização do trabalho para aquisição dos dados de campo, feita por este equipamento, propõe excelentes resultados pós-processamento, como mosaico ortofotos e MDE, fiéis à área estudada, com escala alta precisão.

Figura 3 – Utilização do drone RPA Phantom 4 em campo.



Os planos de voo (dias 31/01/24 e 18/04/24) foram realizados no software Dronedeploy para sistema IOS. Neste mesmo aplicativo também foram executados os voos dos levantamentos aerofotogramétricos. Os voos foram planejados a partir da inserção de *waypoints* que também orientaram a rota de voo sobre uma área do incêndio. Os voos foram executados perpendicular à margem do Rio Cocó a fim de priorizar a otimização (diminuição de distorções) dos produtos cartográficos (ortofotos e MDEs) com base na variação topográfica da área. Em um tempo de voo de

aproximadamente 60 minutos, foram adquiridas um total de 723 fotografias aéreas no levantamento do dia 31/01/24 e 863 no dia 18/04/24.

O ajuste do sistema de coordenadas da imagem gerada pelas fotografias aéreas com o sistema de coordenadas do terreno foi feito a partir da utilização de cinco pontos de controle (PCs) coletados pelo RTK (Figura 4). Foram utilizados alvos artificiais previamente inseridos em GPS para serem locados em campo. O Datum horizontal utilizado para o presente trabalho foi o SIRGAS 2000, no sistema de coordenadas UTM zona 24 Sul.

Figura 4 – Registro de um PC com antena ‘rover’ do RTK.



O ajuste de coordenadas por PCs é uma etapa imprescindível no processamento das fotografias aéreas por RPA's, uma vez que os dados

coletados por estes equipamentos possuem precisões métricas, o que geram distorções geométricas inseridas durante o processo do imageamento. Estas distorções fazem com que não haja correspondência entre as posições dos elementos da imagem e as posições dos objetos na superfície da Terra. O ajuste de coordenadas por PCs propõe, por tanto, o controle espacial tanto horizontal como vertical, auxiliando no melhoramento da acurácia dos produtos finais, tais como ortomosaicos de fotos e Modelo Digital de Elevação (MDE). A tabela 2 mostra o erro residual para os eixos X (Easting), Y (Northing) e Z (Altitude) de todos os Pontos de Controle, ou rótulos, bem como o erro total que foi de 2,68 cm e o tamanho do final do pixel para os produtos que foi de 0,15cm. Estes valores garantem o mapeamento em uma escala de 1:500.

Tabela 2 – Erros dos eixos X, Y e Z. Erro total e tamanho do pixel por produto.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
1	-2.05004	-2.36586	-0.406028	3.15671	0.198 (11)
2	3.64055	3.03394	0.687845	4.78869	0.149 (18)
3	-0.918573	0.39405	-0.215339	1.02246	0.082 (8)
4	-0.922725	-1.04736	-0.426611	1.45959	0.169 (20)
5	0.243138	-0.0333998	0.173937	0.300808	0.135 (8)
Total	1.96013	1.79195	0.423465	2.68934	0.157

O processamento das fotografias áreas adquiridas pelo Drone DJI Phantom 4 foi realizado no software OpenDroneMap, trata-se de é um conjunto de ferramentas de código aberto para o processamento de fotografias aéreas. O software permitiu criar o MDE e o ortomosáico, principais produtos desta etapa.

3.2. Batimetria da Área Submersa

Batimetria, de acordo com Brasil (2011), é toda pesquisa que abrange os ambientes aquáticos navegáveis, com o objetivo de obter dados de interesse para o conhecimento da morfologia de fundo, seja para a instalação de equipamentos, dentro os quais, os mais comuns são emissários, espiões, enrocamentos, marinas, etc; ou ainda, para a medição, ou cubagem, do volume de sedimento a ser dragado em canais de acesso de embarcações, ou para a navegação segura em rios e estuários.

Os dados batimétricos são obtidos a partir de medições de profundidade que estão associadas a uma posição da embarcação na superfície da água. Essas informações podem estar inseridas em uma carta, representando a morfologia de fundo de um rio, reservatório, canal ou oceânico (GAGG, 2016). E o conjunto dessas informações pode ser usado para o entendimento dos processos morfológicos de fundo que ocorrem em diversas áreas. Também podem ser importantes no auxílio de práticas de navegação, seja ela para fins recreativos ou econômicos.

Os levantamentos batimétricos foram feitos durante o processo de enchente de maré, de acordo com a tábua de maré do Porto de Fortaleza, CE (Figura 5), culminado nas proximidades da estofa da preamar, situação que favorece o registro maior de números de cotas batimétricas situadas próximas a margem do rio. Desta forma, foi possível contemplar toda a área durante o mapeamento, além de manter a segurança da embarcação na navegação.

A embarcação utilizada para o levantamento foi do tipo alumínio, com calado próximo de zero, que permitiu a navegação e levantamento dos dados batimétricos em profundidades abaixo de 0,5 metros. A embarcação possui motor de polpa guiado nesta mesma posição (Figura 6).

Figura 5 – Tábua de maré do Porto de Fortaleza, CE, correspondente aos dias do levantamento.

Porto do Mucuripe - CE			15/10/2024
			Fonte: DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN)
15/10/2024 - Terça			
Hora Maré e Altura	Fase da Lua	Nascer e Pôr do Sol	
02:31:00	🌊 2.9m		
08:47:00	🌊 0.2m	🌑 Crescente	🌅 05:13
15:02:00	🌊 2.9m		🌇 17:25
21:06:00	🌊 0.2m		
16/10/2024 - Quarta			
Hora Maré e Altura	Fase da Lua	Nascer e Pôr do Sol	
03:17:00	🌊 3.0m		
09:29:00	🌊 0.0m	🌑 Crescente	🌅 05:12
15:47:00	🌊 3.1m		🌇 17:25
21:53:00	🌊 0.0m		

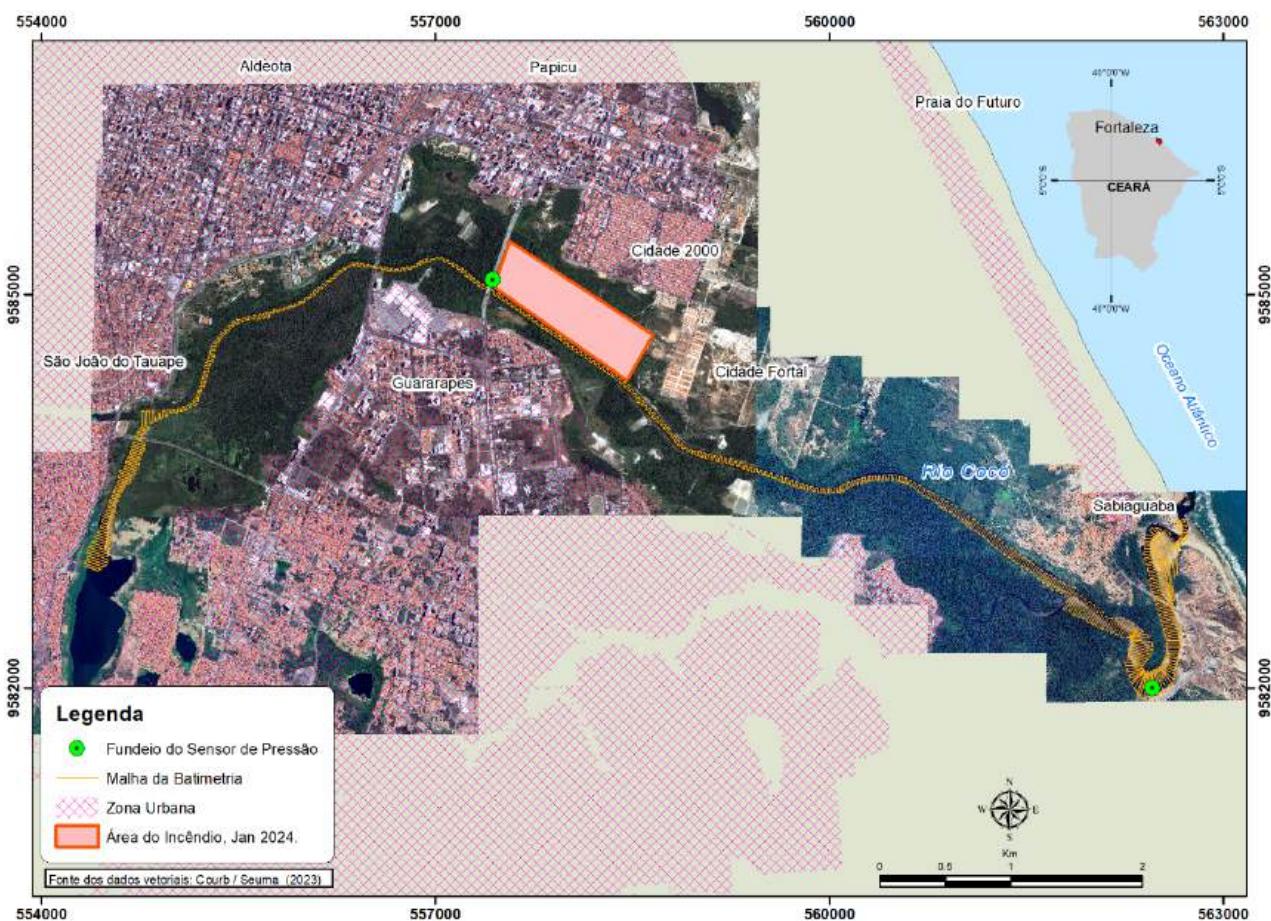
Fonte: Funceme, 2024.

Figura 6 – Embarcação utilizada no levantamento batimétrico.



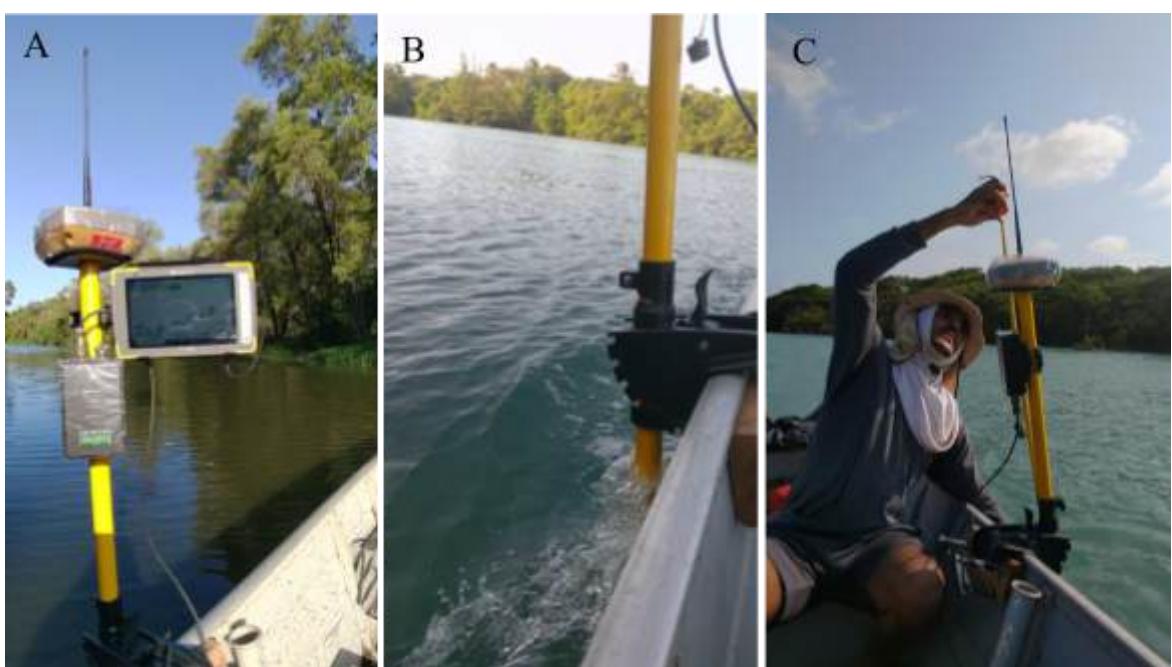
O levantamento batimétrico teve como finalidade registrar dados de profundidade do Rio Cocó, e consequentemente a morfologia de fundo marinho através de 51 km de perfis (transectos) orientadores e previamente elaborados para o levantamento, com distância média de 20 metros entre eles, desde a foz do rio até as proximidades do Lagamar (Figura 7). Estes mesmos transectos foram transferidos para o GPS ecossaona, marca GARMIN GPSmap 526s Sounder, que orientou a navegação durante o levantamento. O registro dos dados de profundidade, além das coordenadas e do horário de levantamento de cada ponto, foi feito no ecobatímetro digital Seafloor Systems HydroLite TM com antena RTK (Figuras 8A e 8B). Os dados foram registrados em formato de arquivo georreferenciados, Datum SIRGAS 2000, no sistema de coordenadas UTM zona 24 Sul.

Figura 7 – Malha do levantamento batimétrico.



Para todos os dias de levantamento foram feitas medições da profundidade do transdutor sob a água *offset* (Figura 8C), a fim de adicionar os valores no fim do cálculo de profundidade, uma vez que a sonda, em estado submerso, faz a aquisição do dado a partir da sua posição até o fundo marinho, registrando um valor que ainda não representa a profundidade real do ponto. O *offset* médio para todo o levantamento foi de 0,50 m.

Figura 8 – Aspectos da utilização do ecobatímetro digital Seafloor Systems HydroLite TM. A – Antena RTK e coletora dos dados de profundidade, coordenadas e hora. B – Sonda abaixo da lâmina d’água. C – Medição dos *offsets*.



A correção de maré ou redução de maré foi feita utilizando os dados de dois sensores de pressão, um instalado próximo a foz, na Sabiaguaba (Figura 9A) e outro nas proximidades da área do incêndio, Píer do Parque do Cocó (Figura 9B). Este equipamento mede a variação de subida e decida da coluna d’água de acordo com regime de maré no ponto onde foi instalado. Estes dados proporcionam a correção de maré para o nível zero hidrográfico, permitindo a elaboração de uma carta batimétrica e um modelo com profundidades corretas, ideal para as diversas aplicações, dentre elas, a modelagem hidrodinâmica.

Figura 9 – Instalação dos sensores de pressão. A – Nas proximidades da foz, Sabiaguaba. B – Nas proximidades da área do incêndio, Píer do Parque do Cocó.



A correção de maré é feita a partir de uma equação gerada pela curva correspondente ao intervalo do levantamento do dia. A equação polinomial de ordem três (Figuras 10 e 11) ajusta e reduz os valores de cotas para o nível zero hidrográfico da maré.

Ainda, em etapa de processamento dos dados, foi feita a exclusão dos pontos com cotas e valores anômalos (*outliers*) ao levantamento, gerados por eventuais perturbações das ações hidrodinâmica das ondas e marés, que pudessem causar uma distorção na interpolação (krigagem) dos dados das etapas seguintes, a partir de histograma de todos os valores, ficando ao final 10.323 cotas (Figura 12) do total inicial.

Os dados foram processados pelo método de krigagem. A krigagem é uma técnica de regressão linear generalizada que, a partir de um modelo de covariância, torna a estimativa mais precisa ou com variância mínima em relação a sua verdadeira forma (Deutsch & Journel, 1998). A partir da análise espacial os pesos de cada ponto são determinados baseados no

semivariograma experimental, ou seja, as posições mais próximas vão possuir pesos maiores do que os pontos mais distantes.

Figura 10 – Curvas da maré e equações polinomiais para o intervalo de levantamento do dia 15/10/24.
Levantamento batimétrico das 13:30 às 16:30hs. A – Sabiaguaba. B – Píer do Parque do Cocó.

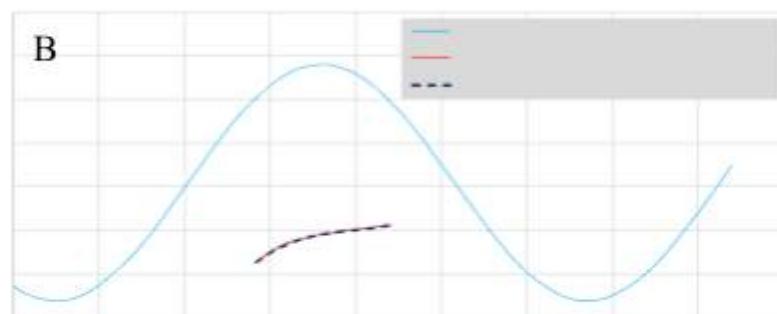
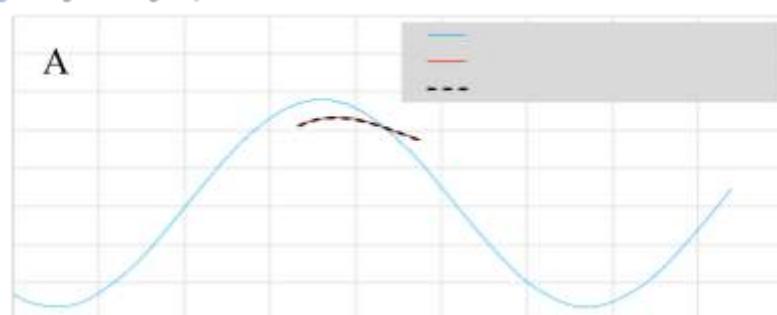


Figura 11 – Curvas da maré e equações polinomiais para o intervalo de levantamento do dia 16/10/24.
Levantamento batimétrico das 13:00 às 16:00hs. A – Sabiaguaba. B – Píer do Parque do Cocó.

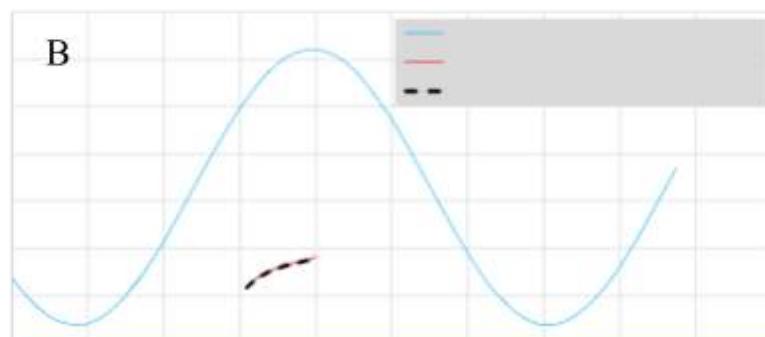
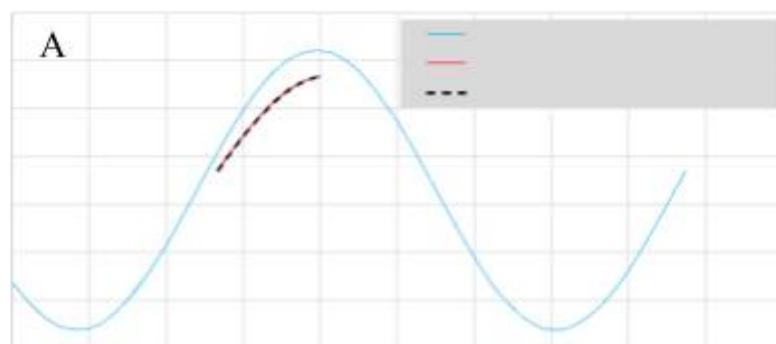
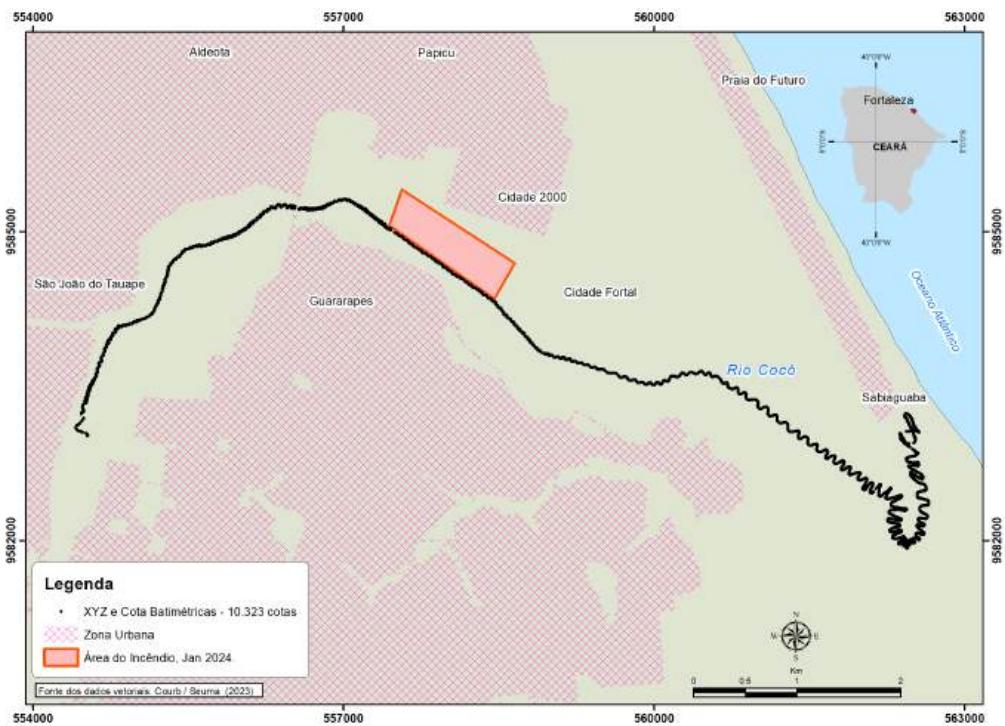


Figura 12 – Nuvem total de pontos coletados, após as etapas de tratamento de dados. Total de 10.323 pontos.



Após a interpolação dos dados através da krigagem foi feita a modelagem dos dados e geração da carta batimétrica final com as curvas de nível, bem como do MDE para destacar os trechos com as variações de relevo, como canais e bancos arenosos. Todas as cartas e modelos foram elaborados utilizando *datum* horizontal SIRGAS 2000, no sistema de coordenadas UTM zona 24 Sul. E todas as cotas de profundidades batimétricas estão reduzidas ao zero hidrográfico da maré.

Os dados topográficos e batimétricos foram integrados permitindo a geração de um MDE cujos dados representam as áreas emersa e submersa juntas. Uma matriz de dados em formato raster foi gerada, onde estão armazenadas as informações de localização geográfica e cotas de altitude e profundidade, ou cota batimétrica em cada célula. Deste raster MDE, foi possível extrair perfis coincidentes ao mesmo lineamento dos perfis topográficos desde terra ao rio, a partir da ferramenta Terrain Profile do

Quantum GIS v.2.4.0. A ferramenta permite armazenar e extrair os dados de altitude e profundidade, além de distância para planilha eletrônica, gerando assim o perfil. A partir destes perfis foi possível dar destaque aos canais e bancos arenosos existentes na área submersa, ou área do rio, e o relevo da área emersa, sobretudo do dique de antigas salinas, situado próximo a margem do rio.

4. Resultados

3.1. Topografia da Área Emersa

Os dados coletados em 29/01/2024 geraram um Modelo Digital de Elevação inicial na área do incêndio, a partir do uso das ortofotocartas da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) na escala de 1:1000, datadas de 2021, validados por dois perfis topográficos em campo com o uso de RTK (*Real Time Kinetics*). Esse levantamento revelou a presença de acidentes topográficos presentes no local, que influenciam na dinâmica hidrológica da área (Figura 13). Os perfis revelaram que há a presença de elevações no terreno entre 1 e 1,5 m de altura próximos a margem do rio, que podem ser os limites do antigo dique da salina (Figuras 14 e 15). Da mesma forma, é possível observar depressões no solo que podem ser os canais (Figura 16) para entrada de água da atividade salineira que ocorria na área.

Figura 13 – Modelo de elevação de terreno (MDE) de parte da área afetada pelo incêndio. Notar a elevação do terreno próximo a margem do rio, referente ao antigo dique da salina.

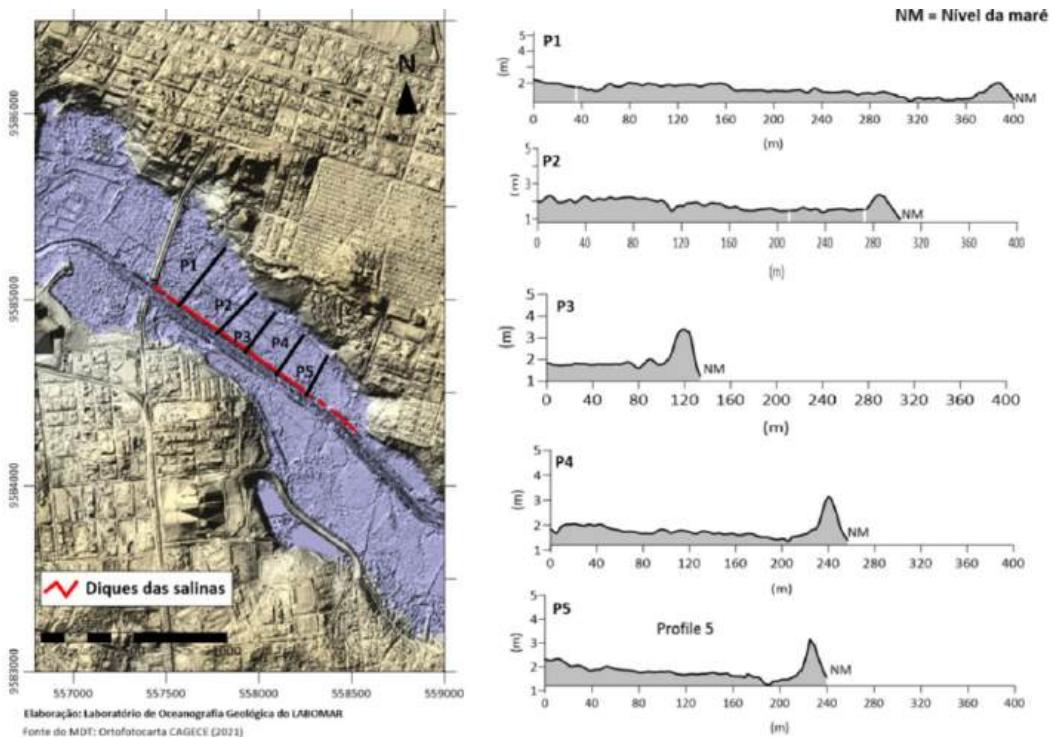


Figura 14 – Perfil topográfico com RTK (Ponto 2 da figura 13) evidenciando os diversos tipos de formações na área. Destaque para os canais de transporte de água e para o dique da salina.

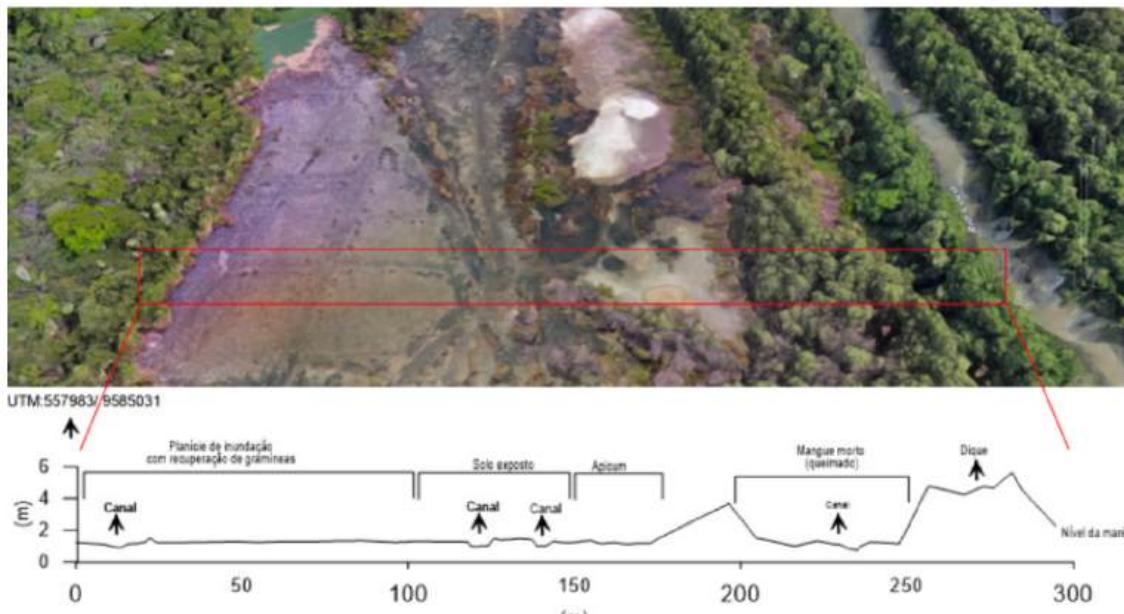


Figura 15 – Perfil topográfico com RTK (Perfil 3 da figura 13) evidenciando os diversos tipos de formações na área. Destaque para os canais de transporte de água e para o dique da salina.

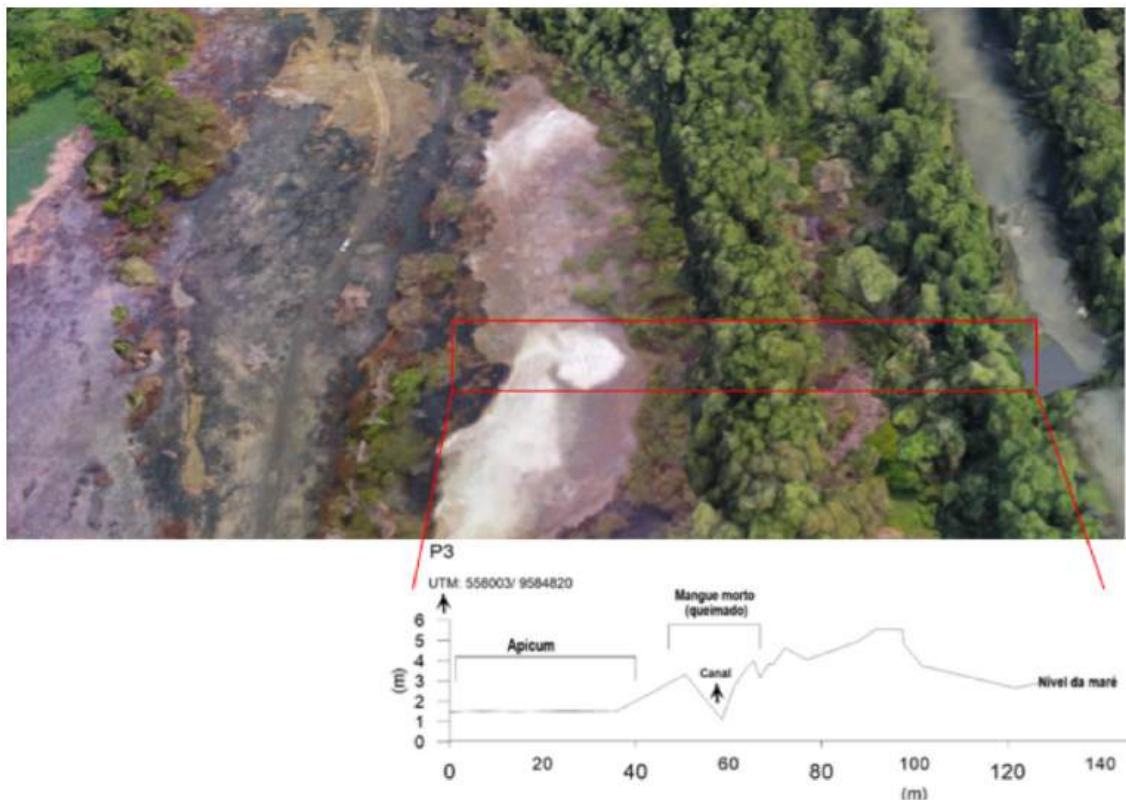


Figura 16 – Canal de abastecimento das antigas salinhas.



O levantamento topográfico realizado no dia 31/01/24, que contou com dados de RTK e Drone, gerou uma ortofotocarta atualizada, que deu destaque à situação da área e suas condições logo após o incêndio, mostrando a área de vegetação mais afetada pelo fogo, em vista aérea (Figuras 17 e 18).

O MDE da área do incêndio, gerado a partir dos dados de voo com drone feito em janeiro de 2024, e o modelo sombreado extraído do MDE, destacam alguns elementos do relevo que não são possíveis de ver na ortofotocarta como os antigos tanques definidos pelos diques mais baixos e alguns canais de abastecimento (Figura 19).

Figura 17 – Comparação entre imagem Google Earth de maio de 2023 (antes do incêndio) com ortofotocarta gerada pelas imagens de voo com drone de 31/01/2024. Destaque para área de vegetação mais afetada.

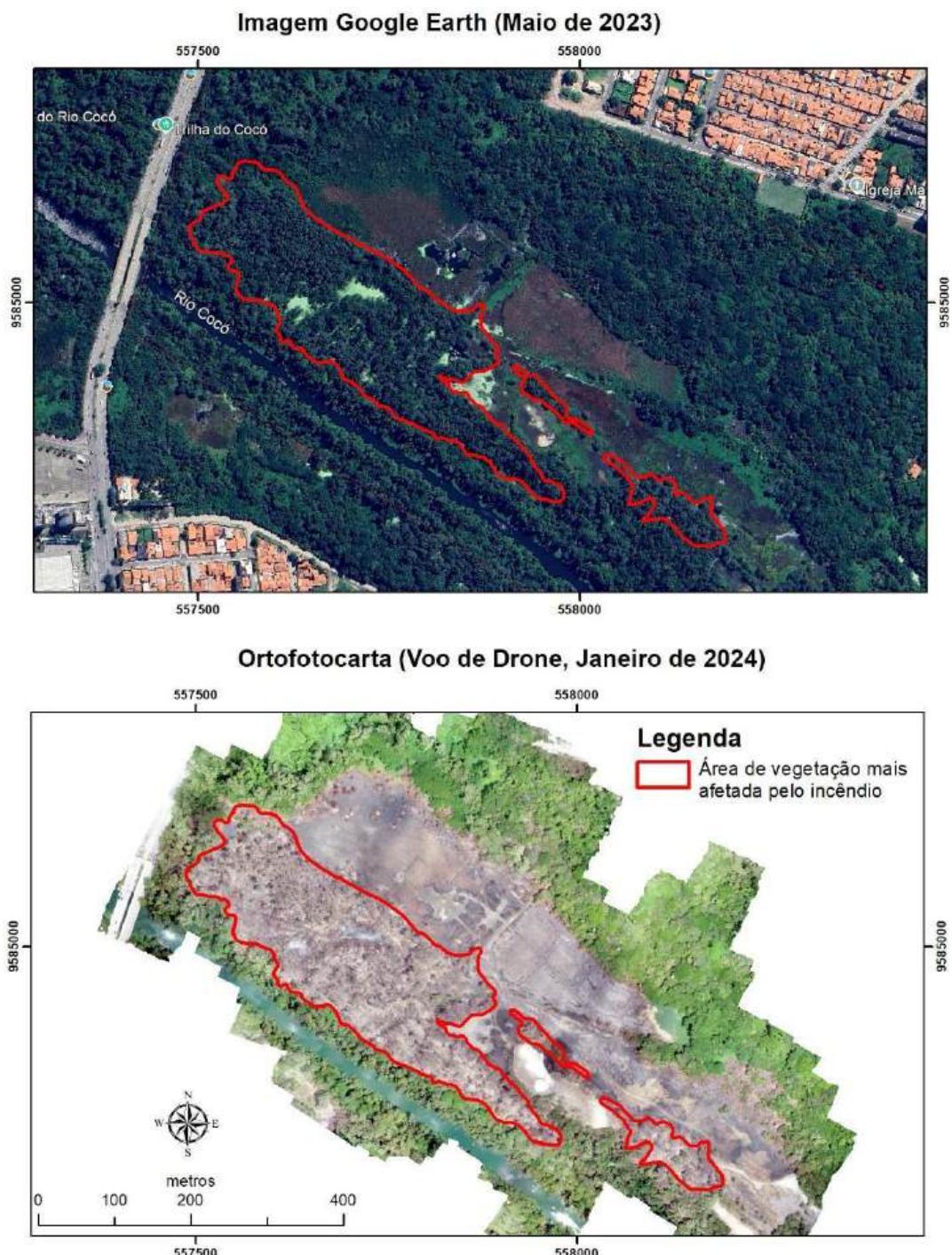


Figura 18 – Destaque panorâmico no voo com drone das áreas de vegetação degradada pelo incêndio.

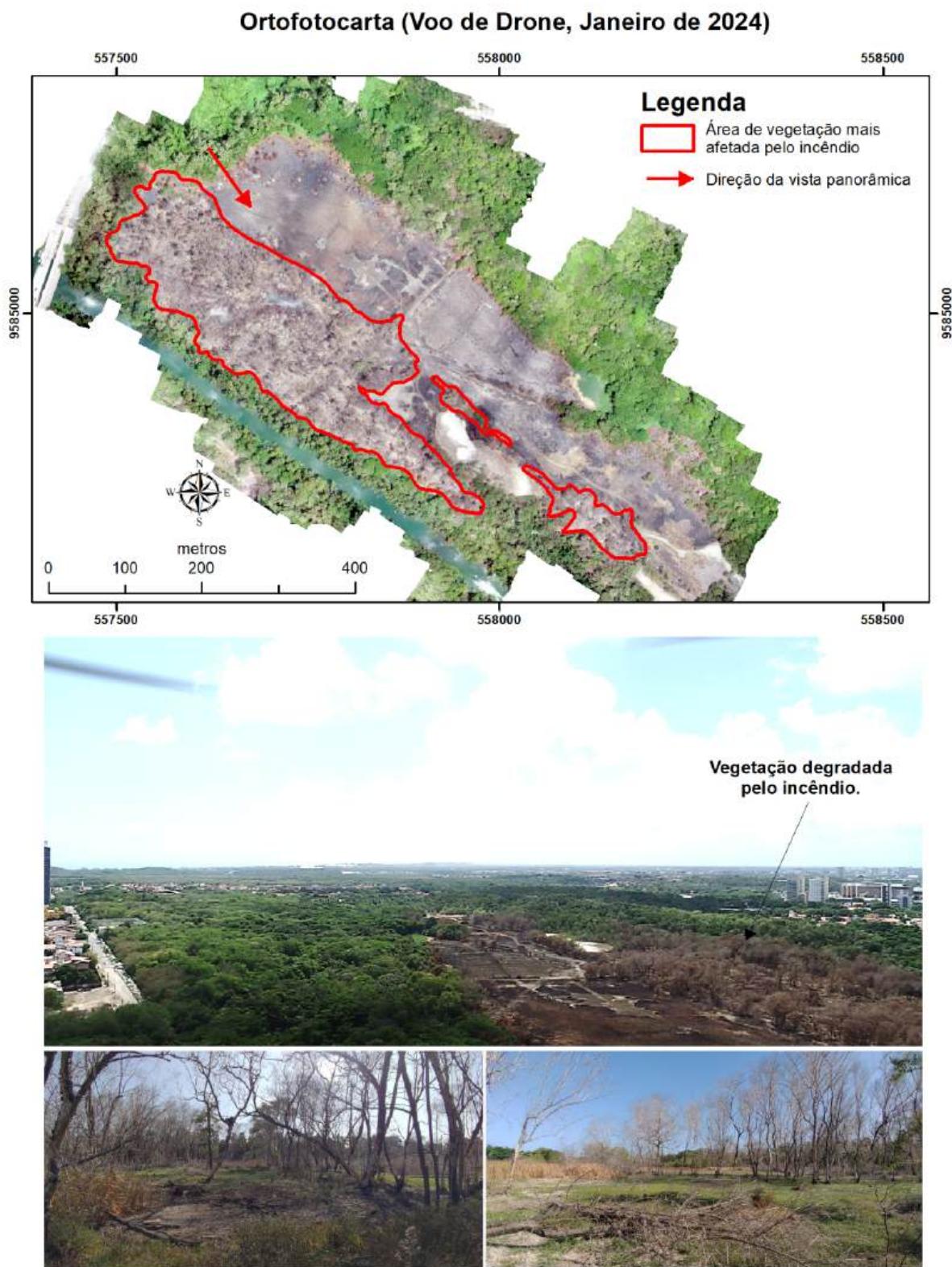
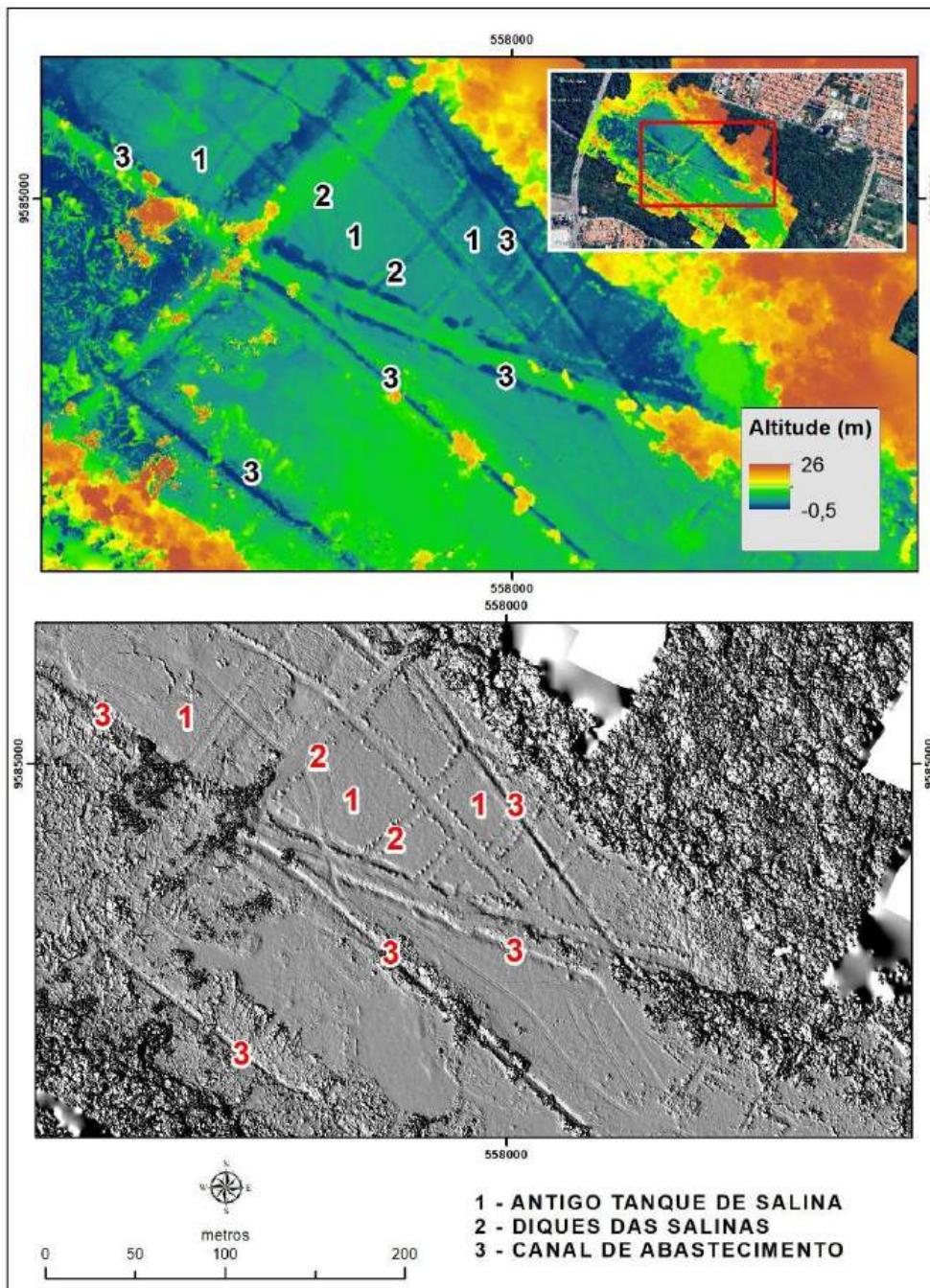


Figura 19 – MDE e modelo de sombreamento destacando as estruturas das antigas salinas.



O voo com drone feito em 18 de abril de 2024, durante o período chuvoso, mostra que a área tem elevado potencial de alagamento e retenção da água doce (Figura 20). Esta potencialidade pode estar associada ao tipo de solo menos permeável dentro das bacias das antigas salinas (Figuras 21 e 22),

cujo material deve ser mais fino, típico de planície fluvio-marinha. Outro fator que favorece o acúmulo de água da chuva dentro da área do incêndio e sua retenção é a presença do dique principal das antigas salinas paralelo ao curso principal do Rio Cocó, cuja cota topográfica é mais elevada. Dunas localizadas mais a nordeste da área, também funcionam como fonte de entrada de água no lençol freático.

Figura 20 – Comparação entre ortofotos dos voos com drone realizados em janeiro e abril de 2024.

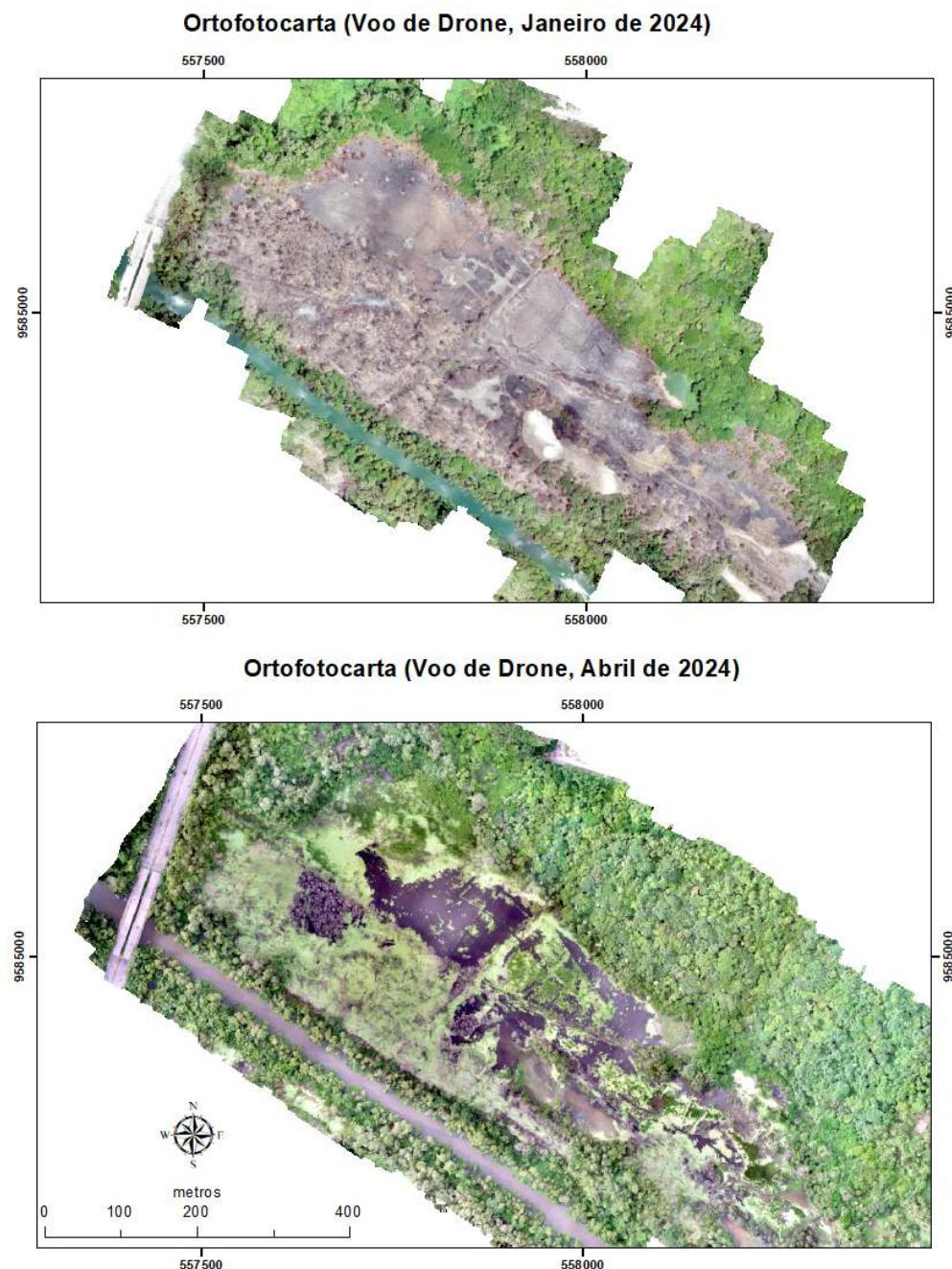


Figura 21 – Vista para as áreas inundadas das bacias das antigas salinas e vegetação aquática, abril de 2024.



Figura 22 – Vista para as áreas inundadas das bacias das antigas salinas, abril de 2024.



3.2. Batimetria da Área Submersa

O histograma das costas batimétricas (Figura 23) mostra que cerca de 65% das cotas registradas na área do levantamento são positivas, com maior concentração entre as cotas +1,5 e 0 metros. Isso se deve a existência de vários bancos arenosos concentrados desde a foz do rio até as proximidades da Cidade Fortal (Figura 24, 25 e 26), ressaltando a forte tendência de assoreamento do rio. Em algumas situações, sobre estes bancos, percebe-se o crescimento de vegetação de mangue (Figura 27).

As costas negativas se concentram, em sua maioria, entre as profundidades de -0,5 e -2,0 metros, representando cerca de 20% do total. As cotas com maior profundidade, abaixo de 2 metros, representam os 15% do total (Figura 23). Estas cotas estiveram mais concentradas desde as proximidades da Cidade Fortal até a ponte da Av. Engenheiro Santana Júnior, passando próximo a área do incêndio (Figura 24). Desta ponte, de jusante para montante, até a localidade do Lagamar, a profundidade diminui devido a presença de bancos arenosos menores.

Figura 23 – Frequência das cotas batimétricas (profundidade) na área do levantamento.

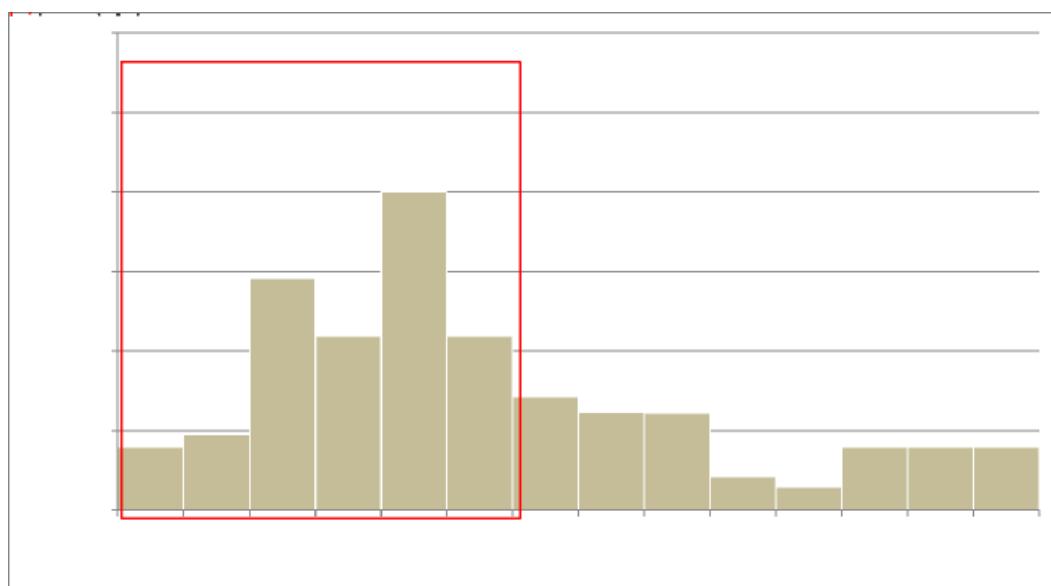


Figura 24 – Mapa batimétrico da área do levantamento. Perfis

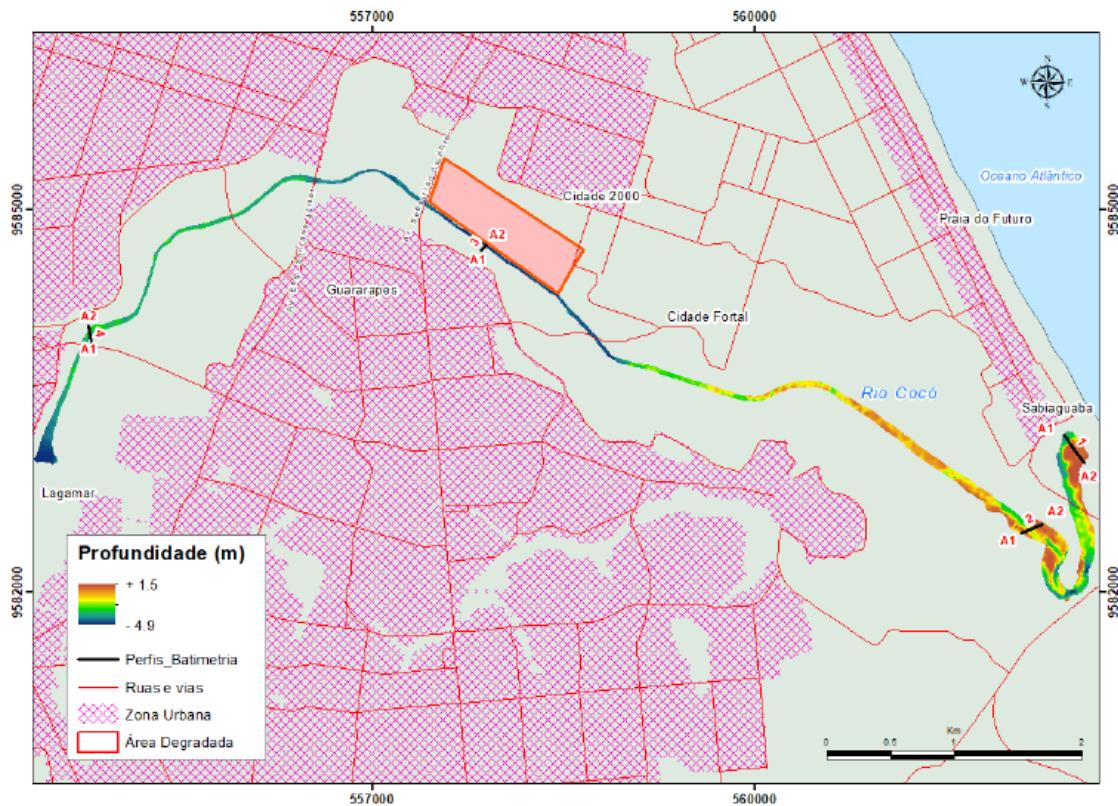


Figura 25 – Perfis sobre o MDE da batimetria ressaltando os bancos arenosos e cotas positivas.

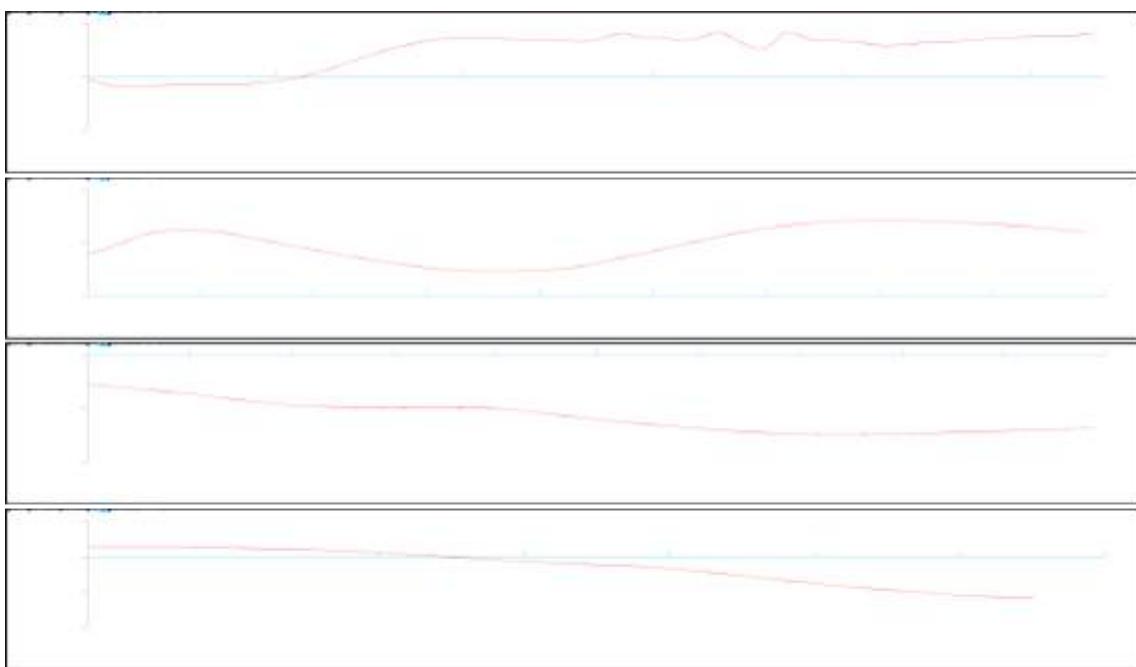


Figura 26 – Destaque em imagem de satélite dos bancos arenosos no Rio Cocó.



Figura 27 – Vegetação de mangue sobre banco arenoso dentro do curso principal do rio.

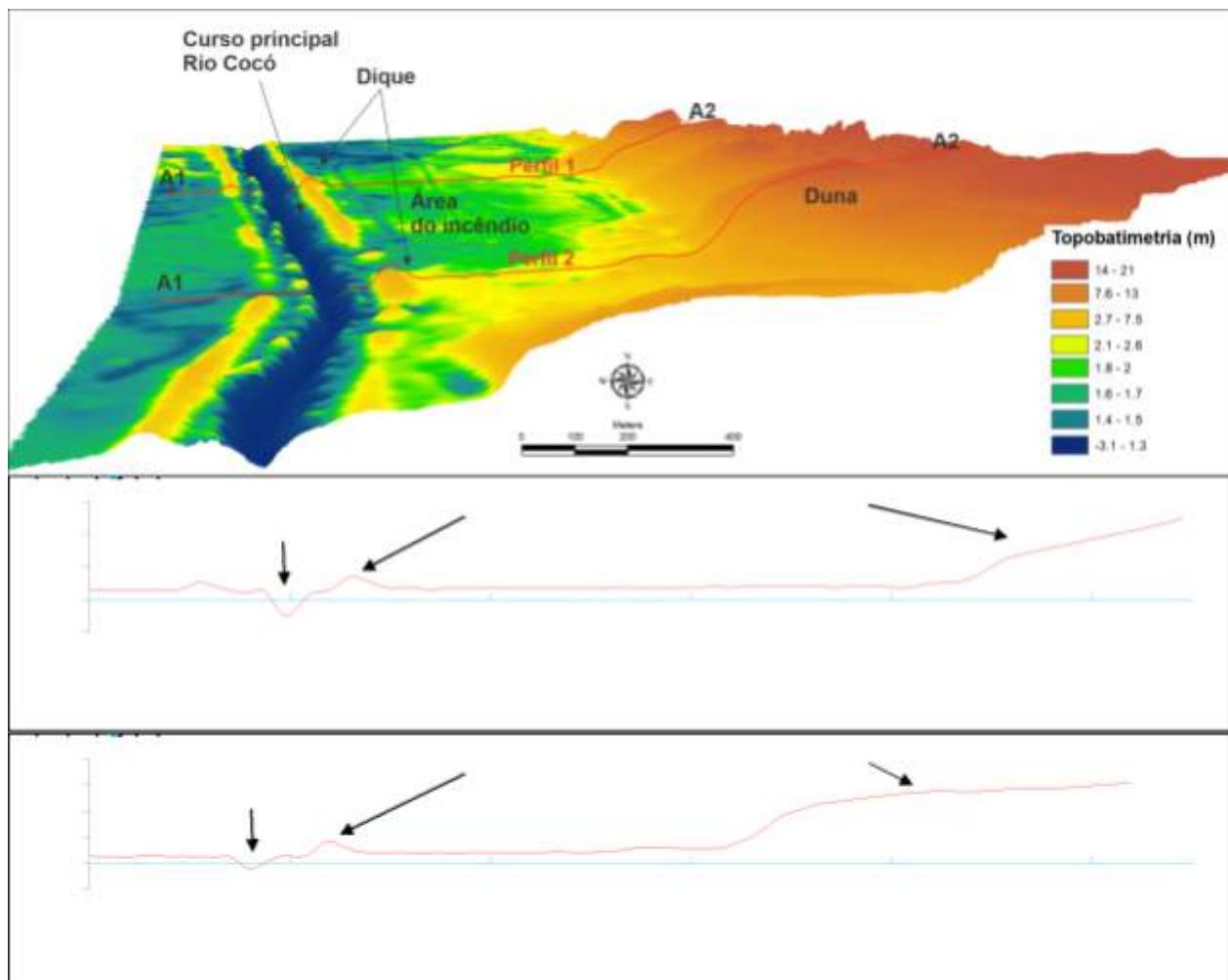


3.3. Topobatimetria – Áreas Emersa e Submersa

A partir da integração entre os dados topográficos; estes oriundos das ortofotocartas/LiDAR da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) na escala de 1:1000, voos de drone e RTK; e os dados batimétricos, foi gerada a nuvem de pontos, contendo as cotas topobatimétricas e coordenadas, que irá permitir a modelagem hidrodinâmica desde a foz do rio.

Destes dados integrados foi dado um destaque à área do incêndio e gerado um MDE onde foram extraídos perfis topobatimétricos que mostraram todos os elementos envolvidos na construção do relevo, principalmente o antigo dique das antigas salinas (Figura 28).

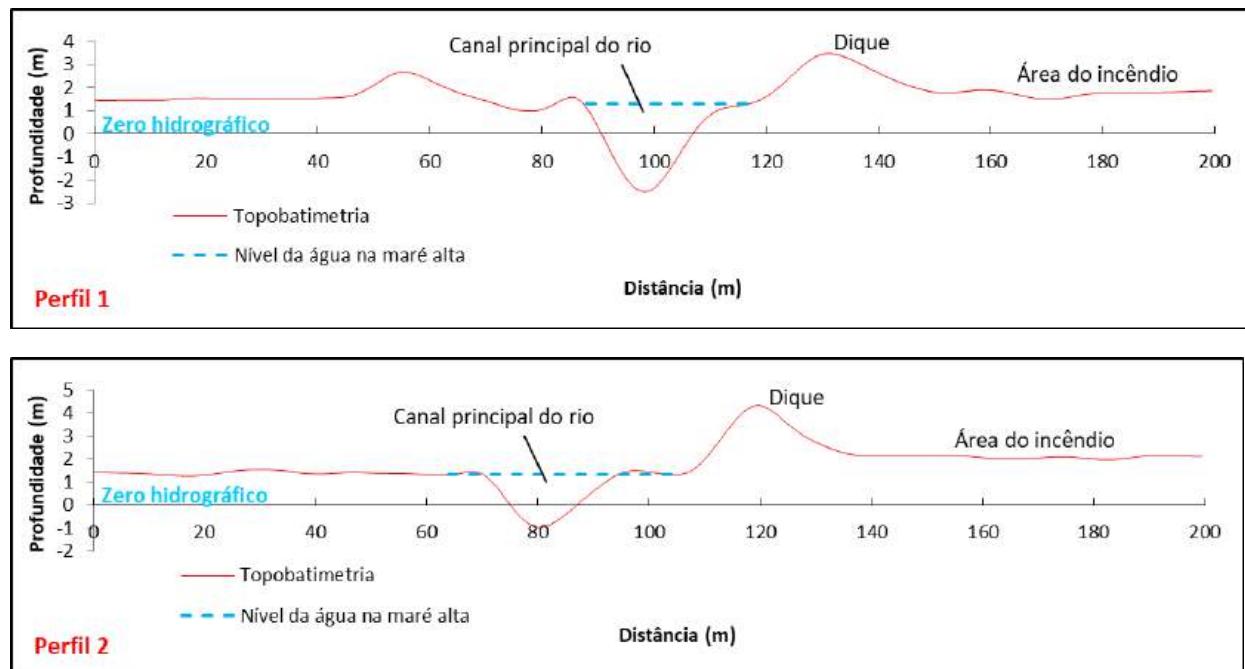
Figura 28 – MDE e perfis da topobatimetria envolvendo a área do incêndio. Exagero vertical de 5x.



5. Considerações Finais

Fazendo a projeção da maré para a situação de preamar (maré alta), com base nos dados do sensor de pressão, sobre o corte no trecho do perfil topobatimétrico até aproximadamente 200 metros para dentro da margem, alcançando o dique e área do incêndio (Figura 29), nota-se que o dique funciona como uma barreira de impedimento para a inundação da planície flúvio-marinha pela água do rio. Esta condição impossibilita o trabalho intermarés da água no solo, processo natural que ocorre em margens de um rio de estuário.

Figura 29 – Recorte do perfil topobatimétrico e situação da área em condições de maré alta.



O modelamento hidrodinâmico a ser feito com base nos dados topobatimétricos irão dar um norte sobre o comportamento da água do rio nas diversas condições de maré, com base na amplitude e tempo, que são distintos entre a foz do rio e a área do incêndio.

6. Referências

ALENCAR, J. C. M (1990). Datum Altimétrico Brasileiro. Cadernos de Geociências, v.5, 1990. p.69-73. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/artigos/1990-datum%20altimetrico%20brasileiro.pdf>.

BRASIL. (2001). Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO Disponível em: https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/downloads/normam/normam_25.pdf. Acesso em 20 de setembro de 2022.

DEUTSCH, C.V. & JOURNEL, A.G. (1998). GSLIB - Geoestatistical Software Library and User'sGuide. Oxford University Press, 2th. Edition.

GAGG. (2016). Apostila de levantamentos hidrográficos – noções gerais. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/157210/001020445.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 setembro. 2022.

GUIMARÃES, V. M (2003). Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. 2003. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 3., 2003, Curitiba. Anais...Curitiba: UFPR. Disponível em: <<http://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2004-2000>>.

LEAL, J. R. L. V. (2009). Estudo da evolução do rio Cocó para determinação de sua capacidade de suporte e proposta de recuperação - Recife: O Autor, 2009. xvi, 221 folhas, il : 79 figs, 32 tabs, 68 fotos. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2009.

SEMACE (2024) Relatório técnico: Diagnóstico dos impactos e sugestões para recuperação da área do Parque Estadual do Cocó, incendiada em janeiro de 2024.