



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

AYRTON MARTIM OLIVEIRA DIAS MELO

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS: estudo
de caso na Laguna Mundaú - Maceió/AL**

Recife
2020

AYRTON MARTIM OLIVEIRA DIAS MELO

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS: estudo
de caso na Laguna Mundaú - Maceió/AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés.

Coorientadora: Prof. Dra. Claudia Pereira Krueger.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M528c Melo, Ayrton Martim Oliveira Dias.
Geotecnologias aplicadas a levantamentos batimétricos: estudo de caso na Laguna Mundaú - Maceió/AL / Ayrton Martim Oliveira Dias Melo. - 2020.
84 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés.

Coorientadora: Prof. Dra. Claudia Pereira Krueger.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2020.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Batimetria. 3. Laguna Mundaú.
4. Geotecnologias. I. Garnés, Sílvio Jacks dos Anjos (Orientador).
II. Krueger, Claudia Pereira (Coorientadora). III. Título

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-38

AYRTON MARTIM OLIVEIRA DIAS MELO

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS: estudo
de caso na Laguna Mundaú - Maceió/AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação

Aprovada em: 27/08/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Andréa de Seixas (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo (Examinadora externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jarbas Junior e Maria Magdala.

À minha namorada, noiva e esposa, Emmily Dalla Corte.

Às minhas irmãs, Ana Carolyne e Amanda Gabrielle.

Ao meu cunhado, Átila.

Em geral, aos professores deste programa.

Em especial, aos Prof. Silvio Garnés e Profa. Andrea de Seixas.

Aos meus orientadores, Prof. Silvio Garnés e Profa. Claudia Krueger.

À Capes.

Aos técnicos desta UFPE, em nome de Elizabete.

Aos companheiros de estrada, Jhonathan, Juciela, Camila, Aline, Fernanda, Carol, Jully, Gabi, Igor e Leo.

Aos professores da graduação, Prof. Jhonathan e à Prof. Juciela.

Aos meus colegas de turma do mestrado, em nome de Grenda e Deniézio.

Às amigas que o mestrado me deu, Grenda e Aline.

Ao Centro de Tecnologia/UFAL, em nome dos Prof. Jeronimo e Prof. Ruberto.

Ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias/UFAL, em nome do Prof. Gaus.

Aos alunos que auxiliaram no trabalho de campo.

À Empresa Junior Nortear.

À empresa Cohidro, em nome de Roberto e Dennys.

RESUMO

Esta dissertação apresenta a realização de um levantamento batimétrico na Laguna Mundaú, no município de Maceió-AL, com proposições metodológicas alternativas. A primeira fase da metodologia consiste na implantação de uma estrutura geodésica de apoio, constituída de marcos geodésicos fixados em locais estratégicos, rastreados simultaneamente por tecnologia GNSS e ajustados em rede. A acurácia da rede veio da comparação do processamento obtido em diferentes *softwares*. Um dos produtos é a própria estrutura geodésica que ficou disponível à comunidade técnica para futuros monitoramentos. A outra fase do trabalho, consiste no levantamento batimétrico em si, com a integração de profundidades por ecobatímetro e posição superficial da água por GNSS e por réguas limnimétricas mais modelos de maré. Assim, a altitude do fundo é feita por duas técnicas comparativas: a primeira com posição tridimensional superficial da água com GNSS mais profundidade eco batimétrica; e, a segunda com posição tridimensional da superfície da água monitorada por réguas limnimétricas nas bordas, a geração de modelos e de correções de maré e mais profundidade eco batimétrica. A metodologia com o modelo de correção de maré, foi comparada com a outra (GNSS e profundidade), utilizando 29.252 pontos, confrontados na altitude da superfície, desses, 66,7% tiveram discrepância menor ou igual a 10 cm, 28,1%, entre 10 e 16,7 cm, e apenas 5,2%, ultrapassaram a 16,7 cm. A acurácia do levantamento foi baseada em 59 interseções de linhas batimétricas, cujo resultado teve discrepância média de 11,4 cm.

Palavras-chave: Batimetria. Laguna Mundaú. Geotecnologias.

ABSTRACT

This work presents a bathymetric survey in Mundaú Lagoon, Maceió/Alagoas, Brazil using an alternative methodological proposal. At first, a geodesic support network was implemented in some strategic locations, materialized by geodetic landmarks, and simultaneously tracked by GNSS technology and adjusted as a network. The accuracy of this network has been obtained by the comparison of processing in different software. One of the results is this geodesic structure which will be available to the community for future surveys. The second phase was the bathymetric survey itself which consisted in the integration of echosounder, to acquire the depth, with the surface position achieved by GNSS observations. Simultaneously, the surface level was determined by limnimetric rulers set on the lagoon shore to generate a surface level model. In addition, the bottom altitude was determined by two comparative techniques: three-dimensional surface position on the water with GNSS and echosounder and; three-dimensional surface position on the water monitored by the limnimetric rulers, the generation of models and tidal corrections, with the echosounder. Then, the comparison was made using 29,252 points, compared at the surface level. Of these, 66.7% has a discrepancy less than or equal to 10 cm, 28.1%, between 10 and 16.7 cm, and only 5.2% exceeded 16.7 cm. The survey accuracy was based on 59 intersections of the bathymetric lines, which had an average discrepancy of 11.4 cm, therefore an accuracy better than 16.7 cm.

Keywords: Bathymetry. Mundaú Lagoon. Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Maré	17
Figura 2 - Superfícies de Referência e Altitudes	19
Figura 3 - Nivelamento Geométrico.....	20
Figura 4 - Posicionamento Relativo Estático	23
Figura 5 - Posicionamento Relativo Cinemático.....	23
Figura 6 - Fluxograma de Desenvolvimento da Dissertação	29
Figura 7 - Localização da Área de Estudo	30
Figura 8 - Mapa de Localização dos Vértices Implantados	31
Figura 9 - Aquisição de Dados GNSS. (a) Vértice BBD; (b) Vértice BNV1; (c) Vértice CQS; (d) Vértice FVL; (e) Vértice MOT	32
Figura 10 - Régua vinculada ao Vértice FVL. (a) Instalação; (b) Régua instalada	34
Figura 11 - Nivelamento Geométrico do Vértice CQS à sua Régua. (a) Nivelamento geométrico; (b) Posição da mira-falante na régua limnimétricas	34
Figura 12 - Ecobatímetro South SDE 28S, Receptor GNSS South Galaxy G1 e Transdutor	36
Figura 13 - Módulo EcoBatimetria do software AstGeoTop	37
Figura 14 - Trecho percorrido durante o Levantamento Batimétrico	37
Figura 15 - Altitude de fundo	38
Figura 16 - Interseção entre trajetórias do levantamento batimétrico.....	39
Figura 17 - Módulo Análise de Maré do AstGeoTop	41
Figura 18 - Modelo de maré com quatro constituintes	41
Figura 19 - Levantamento de trechos da borda da Laguna Mundaú. (a) Base; (b) Rover.....	43
Figura 20 - Coordenadas do Vértice ALMA.....	44
Figura 21 - Coordenadas do Vértice ALMA.....	44
Figura 22 - Localização dos Vértices por Método de Processamento.....	46
Figura 23 - Desvio Padrão por Componente	49
Figura 24 - Distribuição Espacial do Desvio Padrão dos Vértices por Componente. (a) Componente n; (b) Componente e; (c) Componente u	49

Figura 25 - Intervalo de coleta de dados do nível d'água. (a) Dia 19/09/2019; (b) Dia 20/09/2019	50
Figura 26 - Modelo de Maré com quatro constituintes de BBD	52
Figura 27 - Modelo de Maré com quatro constituintes de CQS	53
Figura 28 - Modelo de Maré com quatro constituintes de FVL	55
Figura 29 - Modelo de Maré com quatro constituintes de MOT	56
Figura 30 - Dados de maré. (a) Mapa de localização dos vértices; (b) Gráfico do Nível d'água em FVL; (c) Gráfico do Nível d'água em BBD; (d) Gráfico do Nível d'água em CQS; (e) Gráfico do Nível d'água em MOT	58
Figura 31 - Distribuição espacial da discrepância do modelo de correção de maré com os vértices BBD, CQS e FVL	60
Figura 32 - Discrepância do modelo de correção de maré gerado com os vértices BBD, CQS, FVL e MOT	61
Figura 33 - Distribuição espacial da precisão do modelo de correção de maré com os vértices BBD, CQS, FVL e MOT	61
Figura 34 - Precisão nas intercessões a partir da altitude de fundo (GNSS)	62
Figura 35 - Precisão nas intercessões a partir da altitude de fundo (modelo de superfície a partir de BBD, CQS e FVL)	63
Figura 36 - Precisão nas intercessões a partir da altitude de fundo (modelo de superfície a partir de BBD, CQS, FVL e MOT)	64
Figura 37 - Identificação dos Trechos de Bordas levantadas por GNSS	65
Figura 38 - Trecho 1: Determinação da Borda da Laguna Mundaú	66
Figura 39 - Trecho 2: Determinação da Borda da Laguna Mundaú	67
Figura 40 - Trecho 3: Determinação da Borda da Laguna Mundaú	68
Figura 41 - Trecho 4: Determinação da Borda da Laguna Mundaú	69
Figura 42 - Determinação da Borda da Laguna Mundaú	70
Figura 43 - Modelo Digital de Superfície Submersa. (a) Planta Baixa; (b) Modelagem 3D	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Precisões do Posicionamento de Pontos em Função do Método de Medição GNSS.....	22
Quadro 2 - Classe da PEC-PCD por precisão para escala 1:1000	28
Quadro 3 - Configurações dos Receptores GNSS para Rede	32
Quadro 4 - Configurações dos Receptores GNSS para os dias do Levantamento Batimétrico	33
Quadro 5 - Coordenadas Lat/Long e altitudes elipsoidais dos Vértices e sua Precisão (TopCon Tools)	45
Quadro 6 - Coordenadas Lat/Long e altitudes elipsoidais dos Vértices e sua Precisão (Trimble Business Center).....	45
Quadro 7 - Coordenadas Lat/Long e altitudes elipsoidais dos Vértices e sua Precisão (IBGE-PPP)	45
Quadro 8 - Discrepância na Latitude ($\Delta\varphi$).....	46
Quadro 9 - Discrepância na Longitude ($\Delta\lambda$)	47
Quadro 10 - Discrepância na Altitude Geodésica (Δh).....	47
Quadro 11 - Coordenadas PPP do vértice ALMA da RBMC.....	47
Quadro 12 - Coordenadas Finais Lat/Long/h dos Vértices da Rede Geodésica	48
Quadro 13 - Dados de Nível d'Água para BBD	51
Quadro 14 - Modelo de Maré com quatro constituintes de BBD	52
Quadro 15 - Dados de Nível d'Água para CQS.....	53
Quadro 16 - Modelo de maré com quatro constituintes para CQS.....	54
Quadro 17 - Dados de Nível d'Água para FVL.....	54
Quadro 18 - Modelo de maré com quatro constituintes para FVL.....	55
Quadro 19 - Modelo de maré com quatro constituintes para MOT.....	55
Quadro 20 - Dados de Nível d'Água para MOT.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	ESTUÁRIOS E HIDRODINÂMICA ESTUARINA	16
2.1.1	Maré e sua Variação	16
2.1.2	Maré em Estuários	17
2.2	SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA.....	18
2.3	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	19
2.4	SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA	20
2.5	SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES	21
2.6	BATIMETRIA	24
2.6.1	Ecobatímetro	24
2.6.2	Sincronização Ecobatímetro – GNSS	25
2.6.3	Zoneamento de Maré	26
2.7	MODELO DIGITAL DE TERRENO	26
2.7.1	Modelo Digital de Superfície Submersa	27
2.7.2	Interpoladores	27
2.8	PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS (PEC-PCD).....	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	ÁREA DE ESTUDO	29
3.2	IMPLANTAÇÃO DA REDE GEODÉSICA.....	30
3.3	INSTALAÇÃO DE RÉGUAS LIMNIMÉTRICAS	33
3.4	LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO	35
3.4.1	Ecobatímetro	35
3.4.2	Dados GNSS	35
3.4.3	Ordenação Temporal dos Dados	36
3.4.4	Trecho Percorrido	37
3.4.5	Altitude de Fundo	38

3.4.6	Precisão do Levantamento Batimétrico	38
3.5	DADOS MAREGRÁFICOS	40
3.5.1	Modelos de Maré.....	40
3.5.2	Modelo de Superfície.....	41
3.6	DELIMITAÇÃO DA BORDA.....	42
3.6.1	Técnicas de Sensoriamento Remoto para Extração de Bordas	42
3.6.2	Trechos de Controle Levantados por GNSS	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	REDE GEODÉSICA	44
4.2	LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO	48
4.2.1	Posição da Embarcação	48
4.3	MODELO DE MARÉ.....	50
4.3.1	Modelo de Maré para BBD	51
4.3.2	Modelo de Maré para CQS	52
4.3.3	Modelo de Maré para FVL	54
4.3.4	Modelo de Maré para MOT	55
4.3.5	Análises.....	57
4.4	MODELO DE CORREÇÃO DE MARÉ	59
4.4.1	Modelo de correção de Maré com três Vértices	59
4.4.2	Modelo de correção de Maré com Quatro Vértices	60
4.5	PRECISÃO DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO	62
4.5.1	Altitude do Espelho d'Água definida pelos Dados do Processamento Cinemático em Rede	62
4.5.2	Altitude do Espelho d'Água definida pelo Modelo de Correção de Maré com Três Vértices.....	63
4.5.3	Altitude do Espelho d'Água definida pelo Modelo de Correção de Maré com Quatro Vértices.....	64
4.6	DEFINIÇÃO DA BORDA DA LAGUNA MUNDAÚ	65
4.6.1	Trecho 1.....	66
4.6.2	Trecho 2.....	66
4.6.3	Trecho 3.....	67
4.6.4	Trecho 4.....	68
4.6.5	Borda Selecionada	69
4.7	MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE SUBMERSA.....	70

4.8	RESUMO DA METODOLOGIA	72
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
	REFERÊNCIAS.....	75
	APÊNDICE A – MONOGRAFIA DE MARCO	79
	APÊNDICE B – MONOGRAFIA DE MARCO	80
	APÊNDICE C – MONOGRAFIA DE MARCO	81
	APÊNDICE D – MONOGRAFIA DE MARCO	82
	APÊNDICE E – MONOGRAFIA DE MARCO	83

1 INTRODUÇÃO

A extração de recursos naturais é acompanhada de uma crescente interação entre sociedade e natureza, provocando alterações no funcionamento do ambiente. Os corpos hídricos se configuram como principal elemento da natureza necessário para o desenvolvimento de todo um grupo populacional, tendo em vista que a ausência de água contribuirá para dificuldade de ocupação de determinadas áreas e impossibilitará o desenvolvimento populacional.

De acordo com o IBGE (2020) o aumento populacional no Brasil é estimado em cerca de 0,8% ao ano, esse aumento vem despertando uma crescente preocupação com os recursos hídricos disponíveis. Dessa forma, ter informações sobre eles melhora a sua gestão e isso tem sido mostrado a partir da criação de políticas públicas, que objetivam garantir a disponibilidade e qualidade da água.

Em 1934, promulgou-se o Código das Águas, Decreto Presidencial para gerenciar o uso da água de acordo com o interesse nacional. Essa legislação permitiu ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento de água industrial inclusive para geração de energia (BRASIL, 1934). Posteriormente, a Constituição Federal de 1988 incluiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentado em 1997 através da Lei Federal nº 9.433, comumente chamada de Lei das Águas. No início dos anos 2000, este Sistema aprovou a criação da Agência Nacional de Águas (ANA).

A Companhia de Abastecimento D'Água e Saneamento do Estado de Alagoas (CASAL) é responsável pelo abastecimento de água em 77 municípios, incluindo a capital, Maceió, enquanto presta serviço de esgotamento sanitário à capital e a mais seis municípios. Em relação à gestão dos recursos hídricos, o assoreamento é um dos fatores recorrentes no manejo da água, pois o acúmulo de partículas é consequência de alteração e redução da velocidade do fluxo de água.

O sistema estuarino é um ambiente complexo de transição entre água doce e salgada que apresenta variações de salinidade, temperatura e hidrodinâmica dos ecossistemas, diversificando a fauna e a flora desta região. O Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) está localizado no litoral de Alagoas e percorre sete municípios, entre eles, Maceió. Suas lagoas, Mundaú e Manguaba, tem cerca de 27 km² e 42 km², respectivamente, e são ligadas por canais com cerca de 12 km² (AZEVEDO *et al.*, 2015).

De acordo com o Plano de Ações e Gestão Integrada do CELMM (ANA, 2006), este complexo lagunar vem sofrendo com problemas de assoreamento, ocorrências de cheias, deficiência da coleta de resíduos sólidos, esgoto sanitário, entre outros. Porém, não há iniciativas visando a criação de série histórica relacionada a dados batimétricos deste complexo. O monitoramento é uma forma de acompanhar ou prever a formação ou continuidade de fenômenos, como assoreamento, que podem ocorrer em determinada área, por consequência, antecipar ações para deter acontecimentos indesejáveis.

Além dos estudos realizados na área sobre a mudança morfológica a longo prazo do canal de entrada do mar na laguna (NUNES, LARSON, FRAGOSO, 2020), caracterização da matéria orgânica da região (WANDERLEY *et. al.*, 2020) e dos impactos causados pelo uso e cobertura do solo em todo o CELMM (GUIMARÃES JR. *et. al.*, 2011).

A Laguna Mundaú passou a ter outra relevância após evento sísmico de magnitude regional de 2,4, na escala Richter, ocorrido em 3 de março de 2018, sentido em alguns pontos da cidade de Maceió (CPRM, 2019), onde pesquisas posteriores identificaram instabilidade em bairros da região. E por estas razões, além das apresentadas pelo Plano de Ações e Gestão Integrada do CELMM, a área de estudo desta dissertação é a Laguna Mundaú.

Neste contexto, esse trabalho tem como finalidade apresentar uma metodologia para levantamento batimétrico através da criação de estrutura geodésica e cartográfica e sua qualidade para auxiliar no georreferenciamento e monitoramento futuro da laguna Mundaú.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção, tem-se os objetivos geral e específicos que foram definidos para o desenvolvimento desta dissertação.

1.1.1 Objetivo Geral

Propor metodologia de levantamento batimétrico para padronizar levantamentos futuros na Laguna Mundaú.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Implantar estrutura geodésica para realização de levantamento batimétrico em posicionamento GNSS cinemático;
- b) Avaliar a precisão do nível de fundo da laguna por processamentos GNSS relativo cinemático;
- c) Avaliar e validar métodos de correção de maré na determinação do nível da água e da profundidade de fundo;
- d) Determinar um método adequado para detecção automática de borda com o processamento digital de imagem.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está separada em cinco capítulos. No Capítulo 2 é feita uma revisão da literatura que embasaram esta pesquisa. No Capítulo 3, a área de estudo é especificada e estão relacionados os materiais utilizados e os métodos empregados. Os resultados e discussões são apresentados no capítulo 4. No capítulo 5, estão as conclusões e recomendações. Ao final, estão os apêndices.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, destinado à revisão de literatura, destacam-se as informações referentes a ambientes estuarinos, sistema global de posicionamento por satélites, batimetria e modelos de superfície.

2.1 ESTUÁRIOS E HIDRODINÂMICA ESTUARINA

Schumann, Largier e Slinger (1999) definem estuário como uma bacia costeira semifechada, na qual as águas fluviais, que são oriundas da drenagem continental, se misturam com águas marinhas, determinando as águas de transição e as diferenciando das categorias de interiores e costeiras.

O termo complexo estuarino-lagunar é referido, no Brasil, a ambientes costeiros formados por uma rede de canais interligados entre si e com o oceano, que recebe águas fluviais de diversas fontes (MIRANDA, CASTRO e KJERFVE, 2002). Seu entorno, geralmente, apresenta grande densidade populacional, presença de áreas portuárias, de navegação, de segurança naval, de diluição de efluentes e de recreação e lazer, com abundância de recursos pesqueiros (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

2.1.1 Maré e sua Variação

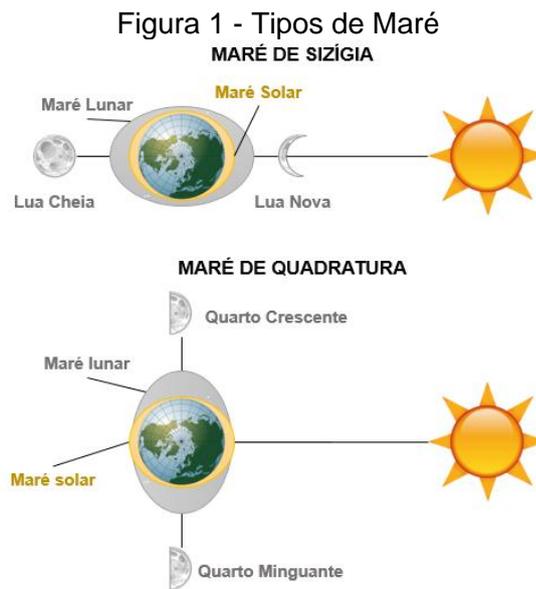
Segundo Miguens (2005), maré é o movimento vertical da superfície do mar ou alguma outra massa d'água sobre a Terra, causada principalmente pelas diferenças na atração gravitacional da Lua e do Sol sobre os diversos pontos da Terra.

As marés astronômicas deslocam as massas de água, devido a influência gravitacional, em variações periódicas. Esses deslocamentos ocorrem de acordo com variações de amplitude e fase das componentes das ondas de maré variando de acordo com a região. Por outro lado, a maré oceânica é gerada por forças astronômicas a depender da topografia, da profundidade e das características costeiras (COELHO, 2016).

As marés podem ser classificadas de acordo com o alinhamento da Terra, do Sol e da Lua (Figura 1). Quando os três estão no mesmo alinhamento acontecem as

marés de sizígia, produzindo as maiores amplitudes, ou seja, as maiores preamares e os menores baixa-mares, podendo o Sol e a Lua estar em oposição (Lua Cheia) ou em conjunção (Lua Nova). Porém quando a posição entre a Lua, a Terra e o Sol formam um ângulo de aproximadamente 90° , formam-se as marés de quadratura (Lua Crescente ou Minguante), as quais têm menores amplitudes de maré (MIGUENS, 2005).

Os marégrafos têm como objetivo fornecer informações que possibilitam estudos sobre marés. No Brasil, o IBGE é responsável pela Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), que busca determinar as diferenças de nível e do geopotencial, assim como as variações temporais entre os sensores para estabelecer vinculação entre redes geodésicas e o Nível Médio do Mar (NMM) (IBGE, 2018).



Fonte: Adaptado de Steacy (2006).

2.1.2 Maré em Estuários

Em estuários, a onda de maré sofre oscilações harmônicas de curto período derivadas da sua morfologia além daquelas provenientes das forças astronômicas. A onda de maré é comprimida dada a convergência das margens, o que aumentaria sua amplitude. Por outro lado, o atrito da onda com o fundo, à medida que ela avança, dissipa energia, o que diminuiria sua amplitude. Desta forma, a onda de maré sofre consideráveis modificações dentro do estuário (DYER, 2000).

De acordo com a influência que esta sofre, o estuário pode ser classificado como hipersíncrono, síncrono ou hipossíncrono (NICHOLS e BIGGS, 1985):

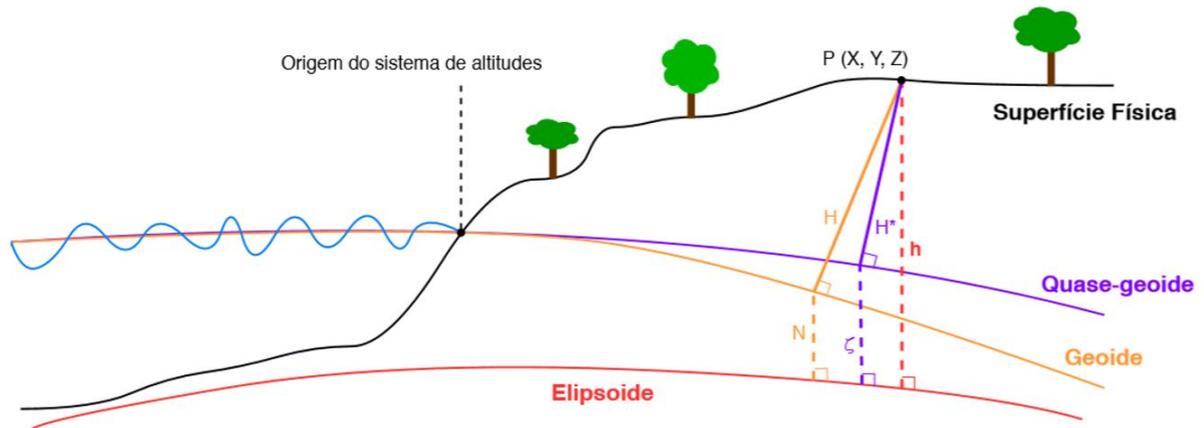
- a) Estuário hipersíncrono: ocorre quando a convergência excede o atrito, então a amplitude de maré aumenta em direção à cabeceira do rio. Na zona de maré fluvial, a convergência diminui, fazendo com que o atrito aumente, logo diminui a altura da onda de maré;
- b) Estuário síncrono: os efeitos de atrito e da convergência se equilibram, por consequência a onda de maré se mantém constante até a zona de maré fluvial;
- c) Estuário hipossíncrono: a dissipação de energia causada pelo atrito da onda com o fundo é maior que o da convergência, então, a altura da onda de maré diminui no decorrer do estuário.

A amplitude da onda de maré é menor na Laguna Mundaú, à medida que esta se afasta do oceano em direção ao reservatório, podendo classificar esse estuário como hipossíncrono.

2.2 SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

A Geodésia é o campo de estudo responsável pela determinação das dimensões e da forma da Terra, assim como seu campo gravitacional (GEMAEL, 1999). Dessa forma, os pesquisadores dessa área deparam-se com três superfícies: superfície topográfica ou física (correspondendo ao aspecto exterior e irregular da superfície real terrestre), superfície elipsoidal (determinada pelo modelo geométrico) e superfície geoidal (definida pela superfície equipotencial gravitacional que mais se aproxima ao Nível Médio dos Mares prolongada pelos continentes). Essas superfícies são ilustradas na Figura 2. Ou seja, é associado a um ponto P de coordenadas geocêntricas (X, Y, Z): altitude ortométrica (H), altitude geodésica (h), altitude normal (H*), ondulação geoidal (N) e anomalia de altura (ζ).

Figura 2 - Superfícies de Referência e Altitudes



Fonte: IBGE (2019).

As profundidades submersas, em geral, estão atreladas ao Nível de Redução (NR) definido numa estação maregráfica, sendo a mesma vinculada às Referências de Nível (RN's).

As RN's do IBGE sempre tiveram como superfície de referência o geoide, definido a partir do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) em vigor, por meio das ondulações geoidais (N), grandeza que separa o geoide do elipsoide. As altitudes relacionadas a essas duas superfícies geodésicas. i.e., geoide e elipsoide, são conhecidas como altitude ortométrica (H) e altitude geométrica (ou elipsoidal, por último vem sendo denominada por altitude geodésica) (GEMAEL,1999; BRASIL, 9.310/2018).

Na última realização das altitudes no Brasil, no ano de 2018, o IBGE começou a usar a altitude normal ortométrica, que faz uso do número geopotencial e do quase geoide por meio da anomalia de altura (IBGE, 2018).

2.3 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

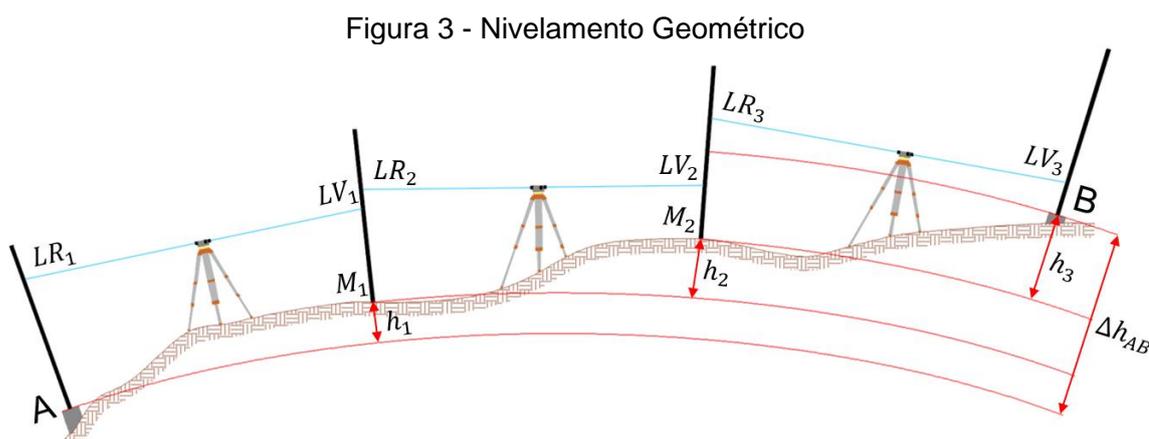
O nivelamento geométrico é executado para fins geodésicos e topográficos (KAHMEN e FAIG, 1998). Esse nivelamento busca determinar a diferença de nível entre pelo menos dois pontos em relação a um referencial fixo com base em leituras de miras a partir de níveis analógicos ou digitais.

O nivelamento geométrico pode ser: simples ou composto. O método composto é uma sucessão de nivelamentos simples, que ficam referenciados uns aos outros nos pontos de mudança. Este processo é geralmente empregado em

terrenos com o desnível acentuado ou quando não é possível determinar a diferença de nível com apenas uma leitura (SILVA e SEGANTINE, 2015).

Em circuitos de nivelamento geométrico, os erros causados pela curvatura terrestre e refração atmosférica podem ser eliminados desde que sejam realizadas visadas de mesma distância entre o instrumento e o ponto de ré e o instrumento e o ponto de vante. Esta diferença de nível deve estar vinculada a pelo menos uma Referência de Nível (RN) de altitude conhecida.

A Figura 3 tem um nivelamento geométrico partindo do ponto A ao ponto B, os valores LR_i e LV_i são as leituras, respectivamente, de ré e de vante de cada lance, os vértices M_i são de mudança, as indicações h_i referem-se as diferenças de nível de cada lance e resultam na diferença de nível (Δh_{AB}) entre os pontos A e B, definida pela equação 1.



Fonte: adaptado de KAHMEN (2006).

$$\Delta h_{AB} = \sum LR_i - \sum LV_i \quad (1)$$

2.4 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

Um Sistema Geodésico de Referência é um sistema de coordenadas associado a algumas características terrestres, cuja implantação se divide em definição e materialização na superfície terrestre. Para determinar os dados de posicionamento, faz-se necessária a escolha de um modelo geométrico para a Terra. Em seguida, materializam-se as estações físicas e estimam-se as coordenadas. Esse processo é acompanhado pelo cálculo de uma rede que relaciona as estações levantadas, onde as observações são ajustadas, constituindo

assim um conjunto de coordenadas referentes às estações.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é mantido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entende-se por SGB o conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país. Todas as informações espaciais do país estão referenciadas ao SGB (IBGE, 1983).

Os referenciais são fixados pelo artigo 21 do decreto nº 5.334, de 2005, parágrafo único:

Art. 21. Os referenciais planimétrico e altimétrico para a Cartografia Brasileira são aqueles que definem o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, conforme estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em suas especificações e normas (BRASIL, 2005).

Em 2005, o Sistema Geodésico de Brasileiro (SGB) passou a ser definido pelo Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000). O modelo geométrico da Terra representada pelo elipsoide de revolução do SIRGAS2000 é o *Geodetic Reference System 1980 (GRS80)*.

O SIRGAS2000 tem as seguintes características (IBGE, 2005):

- a) Figura geométrica para a Terra: elipsoide do GRS80, onde o semieixo maior (a) é igual a 6.378.137 m e o achatamento (f) igual a 1/298,257222101;
- b) Origem: centro de massa da Terra (geocêntrico);
- c) Orientação: polos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pela *Bureau International de l'Heure*, em 1984.

2.5 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES

O GNSS, da sigla em inglês *Global Navigation Satellite System*, é uma forma para se referir a qualquer infraestrutura empregada para determinar o posicionamento por satélites, ou seja, é a junção da utilização dos sistemas: GPS, GLONASS, Galileo e algum outro sistema além desses, que, quando associados, proporcionam maior precisão e confiabilidade (MONICO, 2008).

A determinação das coordenadas de um ponto, no posicionamento GNSS, pode ser realizada por diferentes métodos e usando diferentes observáveis (código ou fase) e seu nível de precisão varia de milímetros a dezenas de metros. Outro aspecto determinante para a precisão do levantamento é o receptor utilizado, pois,

mesmo que os satélites estejam programados para fornecer sinal ininterruptamente, nem todos os receptores foram desenvolvidos para rastreá-los (IBGE, 2008).

Os métodos de posicionamento podem ser classificados como estáticos e cinemáticos, dependendo do movimento da antena, assim como a posição pode ser obtida em tempo real ou a posteriori com o pós-processamento. Dependendo da utilização ou não de uma estação de referência, os posicionamentos podem ser: relativo ou absoluto (posicionamento por ponto) (IBGE, 2008). O Quadro 1 mostra a potencialidade dos métodos de posicionamento, quanto a precisão que podem alcançar.

Quadro 1 - Precisões do Posicionamento de Pontos em Função do Método de Medição GNSS

MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS								
Observáveis	Código				Fase da Portadora			
Métodos de Posicionamento	Tempo Real		Pós-processado		Tempo Real		Pós-processado	
	Absoluto	Diferencial	Absoluto	Relativo	Absoluto	Diferencial	Absoluto	Relativo
Precisão	3 - 15 m	0,5 - 1 m	2 - 5 mm	0,2 - 1 mm	-	1 - 10 cm	1 - 30 cm	0,1 - 10 cm
Método	-	DGPS	-	-	-	RTK	PPP	-

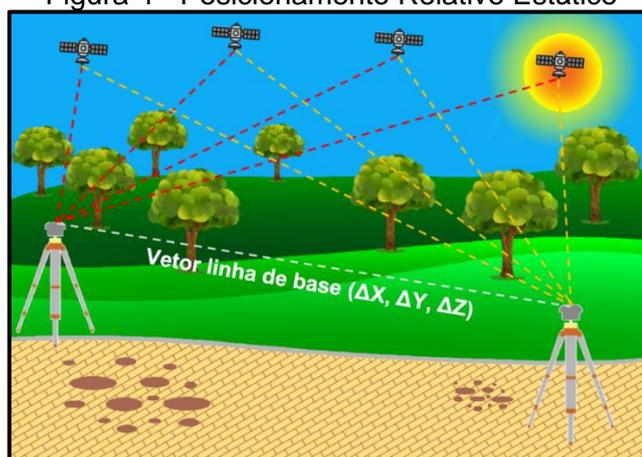
Fonte: Adaptado de Silva; Segantine (2015).

No método de posicionamento relativo é necessário ao menos um par de receptores GNSS coletando dados simultaneamente, um no vértice de referência e os demais nos pontos de interesse, denominado estação base. As coordenadas geodésicas dos pontos de interesse são determinadas em relação a um ou mais vértices de coordenadas conhecidas (MONICO, 2008).

Segundo Monico (2008), o posicionamento relativo pode ser dividido em estático, estático rápido, semicinemático e cinemático:

- a) Posicionamento relativo estático (Figura 4): os receptores GNSS, tanto os das bases quanto o do vértice de interesse, devem ficar parados por todo o período do levantamento. Este período depende, além do receptor e do tipo de solução esperada, da linha de base, que é a distância formada entre os vértices de referência e de interesse.
- b) Posicionamento relativo estático-rápido: as diferenças desse método para o anterior são o menor tempo de rastreamento e o menor intervalo de gravação dos dados. Este tipo de posicionamento é adequado para aumento de produtividade em locais com várias obstruções entre os vértices de interesse já que o receptor é desligado entre os pontos coletados.

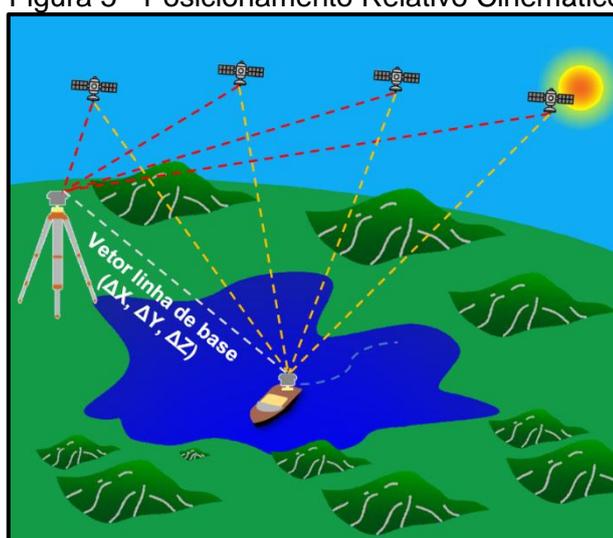
Figura 4 - Posicionamento Relativo Estático



Fonte: adaptado de INCRA (2013).

- c) Posicionamento relativo semicinemático: também conhecido como *stop and go*, ele é basicamente igual ao método anterior, porém há obrigatoriedade de o receptor móvel ficar ligado durante todo o tempo do levantamento e necessita ainda que uma técnica de inicialização seja empregada.
- d) Posicionamento relativo cinemático (Figura 5): quando um ou mais receptores estão estacionados em uma base e o receptor que coleta os dados do vértice de interesse permanece em movimento. Este tipo de posicionamento também necessita de alguma técnica de inicialização para que haja garantia da resolução das ambiguidades nos instantes iniciais do posicionamento.

Figura 5 - Posicionamento Relativo Cinemático



Fonte: O Autor (2020).

Os métodos de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK) e *Differential GPS* (DGPS), atualmente chamado de *Differential GNSS* (DGNSS), baseiam-se na

transmissão instantânea de dados de correções diferenciais e informações da fase da portadora a partir dos receptores instalados nos vértices de referência ao receptor que percorre os vértices de interesse. Os métodos se diferenciam pelo dado observado para determinar a distância entre o satélite e o receptor. No DGPS as correções de pseudodistâncias são calculadas e enviadas, enquanto no RTK, as correções de fase são calculadas e enviadas. A comunicação entre receptores acontece, por exemplo por meio de um rádio UHF (*Ultra High Frequency*), no formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*). Usando o procedimento diferencial, consegue-se um posicionamento instantâneo de pontos mais preciso do que no modo absoluto (KRUEGER, 1996), a ordem cai do metro para o centímetro, conforme especificado no Quadro 1.

Nakao e Krueger (2017) verificaram que o método de posicionamento relativo cinemático apresentou resultado mais preciso para levantamento batimétrico em estudo realizado no Reservatório de Capivari-Cachoeira, Paraná, quando comparados com os métodos DGPS/RTK e Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).

Para esta dissertação, foram utilizados os métodos posicionamento relativo estático para determinação dos vértices de apoio e posicionamento relativo cinemático para o levantamento batimétrico (pós-processado) e dos trechos da borda da laguna (RTK).

2.6 BATIMETRIA

Segundo Krueger (2003), o levantamento batimétrico consiste na coleta regular de dados de profundidade associados com dados de posição (linhas de sondagem) e redução dos valores a um nível de referência. Portanto, a partir destas informações, é possível a representação da topografia de fundo da área levantada, através de linhas isobáticas, linhas estas que unem pontos de mesma profundidade.

2.6.1 Ecobatímetro

Segundo a IHO (2005), o ecobatímetro é um tipo particular de sonar (*SOund Navigation and Ranging*), cujo feixe acústico é transmitido verticalmente por um transdutor instalado em uma embarcação, visando a medição das profundidades

(fundo submerso).

O princípio de funcionamento do ecobatímetro baseia-se na propagação de uma onda sonora em uma velocidade específica e a profundidade é determinada a partir do tempo medido para que esta onda sonora percorra a água, ou seja, o tempo de ida e volta (JOHANNESSON e MITSON, 1983). Por exemplo, se a velocidade da onda for de 1500 m/s e o tempo gasto para percorrer a água for de 1 segundo, então a profundidade é de 750 m. Segundo Alves (2019), se o sistema trabalha com transdutor que emite um único feixe denomina-se sistema monofeixe, no caso do transdutor que emite feixe em forma de leque, é conhecido como sistema multifeixe.

A velocidade da onda sonora altera de acordo com o meio onde é propagada, podendo variar dependendo da temperatura, da pressão atmosférica e da salinidade. Estes aspectos estão relacionados com a densidade da água e, segundo IHO (2005), metade da água nos oceanos apresenta uma densidade entre 1027,7 e 1027,9 kg/m³. Desta forma, para uma temperatura de 13°C e salinidade de 35‰, a velocidade é de 1500 m/s, segundo Johannesson e Mitson (1983). A velocidade altera aproximadamente 1,3 m/s a cada 1‰ de salinidade, 4,5 m/s por 1°C de temperatura e 1,6 m/s na variação de 10 atm (aproximadamente 100 m de profundidade) (IHO, 2005).

2.6.2 Sincronização Ecobatímetro – GNSS

O posicionamento tridimensional de uma profundidade é preciso quando há uma correta ordenação espacial e temporal dos dados levantados. Segundo Krueger (1996), a ordenação temporal refere-se à ordenação dos dados de posicionamento com os dados do ecobatímetro utilizando como tempo para sincronizar o tempo GNSS, sendo recomendado o tempo de sincronismo menor que 0,1 segundo para precisão decimétrica.

No campo da ordenação espacial, a antena do receptor GNSS deve ser instalada no mesmo eixo do transdutor do ecobatímetro para minimizar correções de deslocamento (*offsets*) do posicionamento (KRUEGER, 1996).

2.6.3 Zoneamento de Maré

Em áreas com grande variação das condições hidrodinâmicas, a onda de maré não se comporta por igual. Desta forma, o registro da altura da maré num único ponto não é satisfatório para determinar seu comportamento na área destinada ao levantamento. Uma solução recomendada é a instalação de marégrafos na área a ser levantada evitando diferenças significativas do nível d'água registrado no marégrafo e o registrado no instrumento utilizado no levantamento batimétrico. Este processo recebe o nome de zoneamento de maré (SILVA, SOUZA e PIMENTEL, 2014).

De acordo com as Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos (NORMAM-25), o zoneamento de maré é baseado nas séries históricas de maré e deve ser realizado sempre que for identificado diferença superior a 10 cm nas alturas instantâneas ou diferenças de fase que causem desnível de 10 cm de amplitude (DHN, 2017). Esta norma também traz a proposta para zoneamento de maré apresentada pelos autores citados no parágrafo anterior.

2.7 MODELO DIGITAL DE TERRENO

As formas mais comuns para representação do relevo terrestre são curvas de nível e Modelo Digital de Terreno (MDT). As curvas de nível são linhas imaginárias que conectam pontos de mesma cota. Ou seja, são formadas pela interseção de um plano horizontal com a superfície do terreno. A distância vertical entre duas curvas de nível sucessivas é chamada de equidistância das curvas de nível (MCCORMAC, 2007). Adicionalmente, o MDT é uma representação matemática da distribuição espacial de porção real da superfície terrestre (FERREIRA *et al.*, 2017). Porém, o produto resultante de uma coleta de dados é uma nuvem de pontos amostrais que não é capaz sozinha de gerar um MDT, sendo necessário o uso de interpoladores.

A qualidade do MDT está basicamente ligada a qualidade dos instrumentos utilizados num levantamento, a estratégia de campo, o método utilizado e o interpolador. Há vários modelos de interpoladores descritos na literatura, cada um com sua particularidade. Dessa forma, cada interpolador pode servir para uma amostra de dados específicas. Então, para evitar erros na criação do MDT, deve-se testar diferentes interpoladores, cuja finalidade é definir o que melhor representa a

superfície estudada (POPIELARCZYK ET AL., 2015).

2.7.1 Modelo Digital de Superfície Submersa

Em ambiente aquático, o MDT passa a ser chamado de Modelo Digital de Superfície Submersa (MDSS) e sua qualidade depende da fonte de dados da qual ele foi obtido. Para gerar um MDSS, utiliza-se técnicas de interpolação das cotas de fundo, sendo essas, função do posicionamento tridimensional.

2.7.2 Interpoladores

Os interpoladores podem ser classificados como determinísticos ou probabilísticos. Para Mesquita (2009), os determinísticos utilizam funções matemáticas enquanto os probabilísticos utilizam, além dessas funções, métodos estatísticos, que podem estimar a incerteza da superfície criada.

Para a geração de superfícies submersas oriundas de levantamento batimétrico, o interpolador Universal “Kriging” tem sido um dos mais eficientes para geração do MDSS (Ferreira *et. al.*, 2017).

2.8 PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS (PEC-PCD)

De acordo com a Norma da Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV DEFESA FT), o PEC-PCD para Modelos Digitais de Superfície (MDS) e para os pontos cotados pode ter quatro classificações (A, B, C ou D). Os valores da Classe A foram adaptados dos estudos realizados por Merchant (1982) e ASPRS (1989), onde o PEC-PCD é 0,27m da equidistância do produto cartográfico enquanto o erro padrão é um sexto desta equidistância (DSG, 2015). Para a escala de 1:1000 onde a equidistância das curvas de nível é igual a 1,00 m, o erro padrão médio para Classe A é de 0,167 m.

O quadro 2 traz os elementos planimétricos e altimétricos da PEC-PCD na escala 1/1000 que são tidos como norteadores da qualidade do trabalho realizado nessa pesquisa.

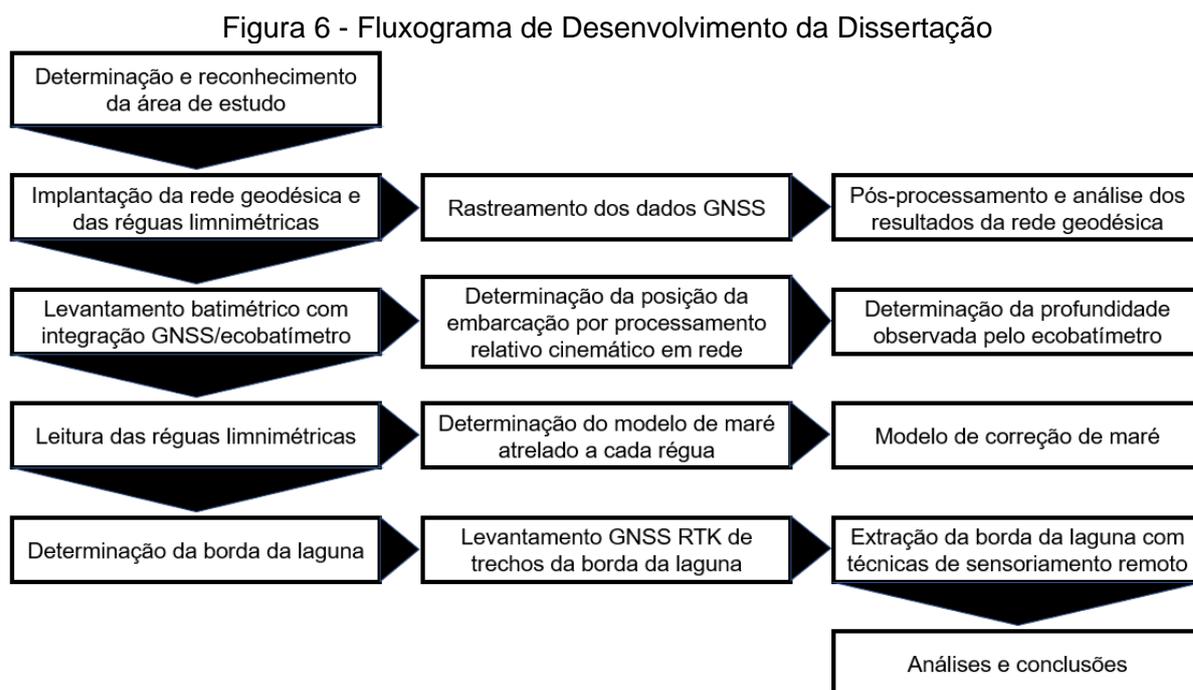
Quadro 2 - Classe da PEC-PCD por precisão para escala 1:1000

Classe PEC	Planimetria		Altimetria	
	Erro Médio (m)	Erro Padrão (m)	Erro Médio (m)	Erro Padrão (m)
Classe A	0,28	0,17	0,27	0,17
Classe B	0,50	0,30	0,50	0,33
Classe C	0,80	0,50	0,60	0,40
Classe D	1,00	0,60	0,75	0,50

Fonte: adaptado de DSG (2015).

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesta dissertação foi dividida em etapas, como mostra a Figura 6. A descrição dos itens apresentados no fluxograma está no decorrer deste capítulo.



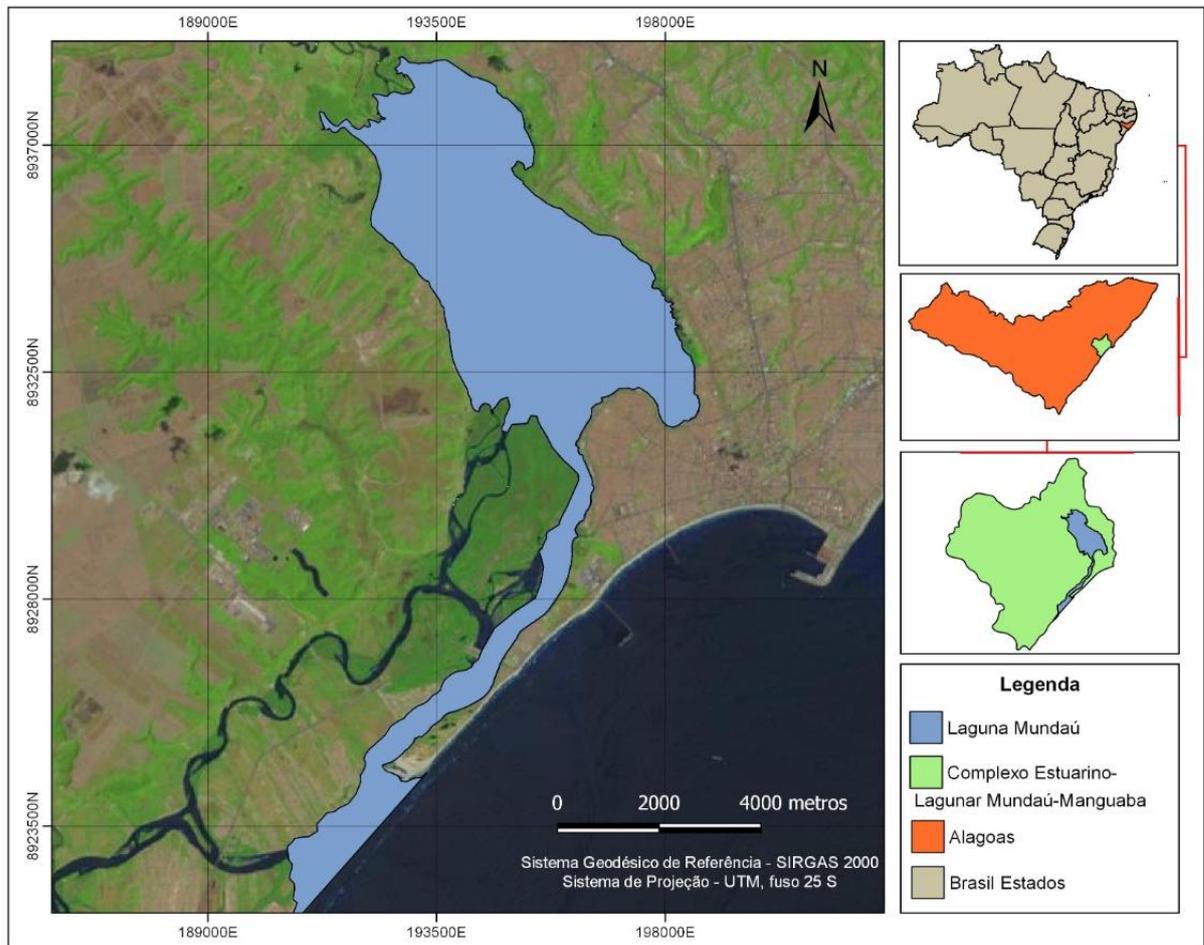
Fonte: O Autor (2020).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Laguna Mundaú, área de estudo desta dissertação, que junto da Laguna Manguaba compõe o Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, está localizada entre as latitudes 9°30'S e 9°40'S e entre as longitudes 35°40'W e 36°00'W (SIRGAS2000) em meio as cidades de Maceió, Santa Luzia do Norte, Coqueiro Seco e Marechal Deodoro (Figura 7) e abrange aproximadamente 27 km².

As lagunas foram formadas a partir do barramento dos rios Mundaú e Paraíba do Meio, por deposição dos sedimentos marinhos e afogamento de seus leitos. A Laguna Mundaú compõe o baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, que drena uma área superior a 4.000 km² e percorre 30 municípios, entre Pernambuco e Alagoas (NORMANDE, 2000).

Figura 7 - Localização da Área de Estudo



Fonte: O Autor (2020).

O primeiro levantamento batimétrico que se tem conhecimento desta área foi realizado pela Empresa de Portos do Brasil S.A. (Portobrás), entre os anos de 1984 e 1985. O segundo levantamento, realizado pela ANA em parceria com a CPRM em 2012, cobriu toda a área do CELMM. O último levantamento foi realizado em 2018, também pela CPRM.

3.2 IMPLANTAÇÃO DA REDE GEODÉSICA

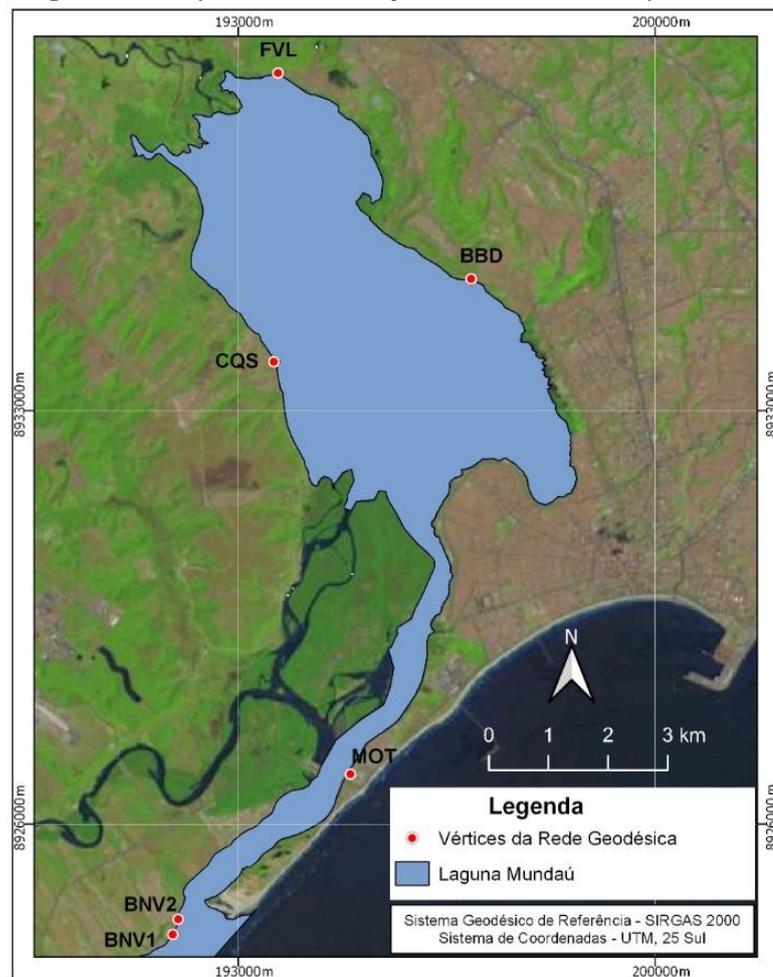
A rede geodésica foi planejada para servir de base à determinação da posição cinemática da embarcação durante o levantamento batimétrico com o pós-processamento relativo e, também, relacionar a variação do nível d'água das réguas limnimétricas.

Para a primeira meta, os vértices foram planejados para distanciarem de no máximo 10 km um do outro. Enquanto, para a segunda meta, o planejamento

procurou distribuir os vértices ao longo da laguna, tendo um vértice próximo à desembocadura do Rio Mundaú na laguna, outro próximo ao mar, outro na nascente da laguna, e outros dois aproximadamente a metade da laguna de ambos os lados das margens.

Os vértices receberam esta nomenclatura de acordo com a sua localização: BBD (localizado no bairro de Bebedouro, em Maceió/AL); BNV1 (primeiro vértice implantado no bairro de Barra Nova, em Marechal Deodoro/AL); BNV2 (segundo vértice deste bairro); CQS (implantado na cidade de Coqueiro Seco/AL); FVL (situado no bairro de Fernão Velho, em Maceió/AL) e; MOT (encontra-se dentro do clube Motonáutica, em Maceió/AL). A Figura 8 ilustra como ficou a geometria da rede e dos pontos de controle limnimétricos.

Figura 8 - Mapa de Localização dos Vértices Implantados



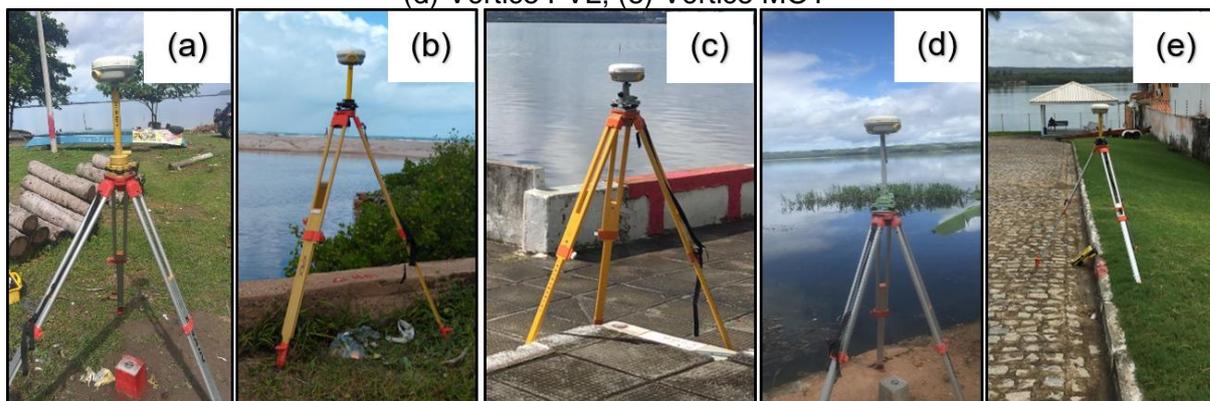
Fonte: O Autor (2020).

A aquisição de dados GNSS para determinação das coordenadas tridimensionais dos vértices ocorreu nos dias 09/06/2019, onde foram rastreados simultaneamente por pelo menos quatro horas para alcançar a precisão altimétrica de 1 cm no pós-processamento PPP do IBGE. Os instrumentos e acessórios utilizados foram:

- Cinco receptores GNSS Trimble RTK R4 *model 3 L1/L2* (precisão horizontal de 3 mm + 0,1 ppm e vertical de 3,5 mm + 0,4 ppm);
- Cinco bases nivelantes;
- Cinco tripés topográficos, sendo dois de madeira e três de alumínio;
- Três trenas de fibra de vidro (50 m).

A Figura 9 traz fotos das ocupações dos vértices, enquanto o Quadro 3 mostra as configurações dos receptores.

Figura 9 - Aquisição de Dados GNSS. (a) Vértice BBD; (b) Vértice BNV1; (c) Vértice CQS; (d) Vértice FVL; (e) Vértice MOT



Fonte: O Autor (2020).

Quadro 3 - Configurações dos Receptores GNSS para Rede

Vértice	BBD	BNV1	CQS	FVL	MOT
Início do Rastreo	10h33min30s	10h11min00s	10h00min15s	9h53min30s	9h59min55s
Término do Rastreo	14h34min30s	15h11min45s	14h35min00s	14h58min00s	14h36min45s
Duração	4h01min00s	5h00min45s	4h34min45s	5h04min30s	4h36min50s
Altura da Antena (vertical – ARP)	1,502 m	1,387 m	1,307 m	1,502 m	1,612 m
Intervalo de Gravação	15 s	15 s	15 s	15 s	5 s
Máscara de Elevação	10°	10°	10°	10°	10°

Fonte: O Autor (2020).

O vértice MOT teve intervalo de gravação de 5 s por equívoco na definição durante configuração do aparelho para rastreo. Porém, essa diferença não afetou o pós-processamento.

Nos dias 19 e 20/09/2019, foram realizadas outras coletas de dados GNSS da rede geodésica. Desta vez, foram rastreados os vértices CQS, BNV2 e FVL. As configurações dos receptores são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Configurações dos Receptores GNSS para os dias do Levantamento Batimétrico

Data	19/09/2019			20/09/2019	
Vértice	BNV2	CQS	FVL	CQS	FVL
Início do Rastreio	6h35min20s	6h47min55s	7h51min30s	6h29min41s	6h06min21s
Término do Rastreio	10h48min50s	7h59min36s	12h33min30s	11h43min07s	11h00min34s
Duração	4h13min30s	1h11min41s	4h42min00s	5h13min26s	4h54min53s
Altura da Antena (vertical – ARP)	1,764 m	1,552 m	1,993 m	1,651 m	1,623 m
Intervalo de Gravação	5 s	1 s	15 s	1 s	1 s
Máscara de Elevação	10°	10°	10°	10°	10°

Fonte: O Autor (2020).

Os dados foram processados no *software* TopCon Tools 8.2 e os elementos para calibração da antena utilizados são os fornecidos pela *National Geodetic Survey* (NGS) através do endereço eletrônico: <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>.

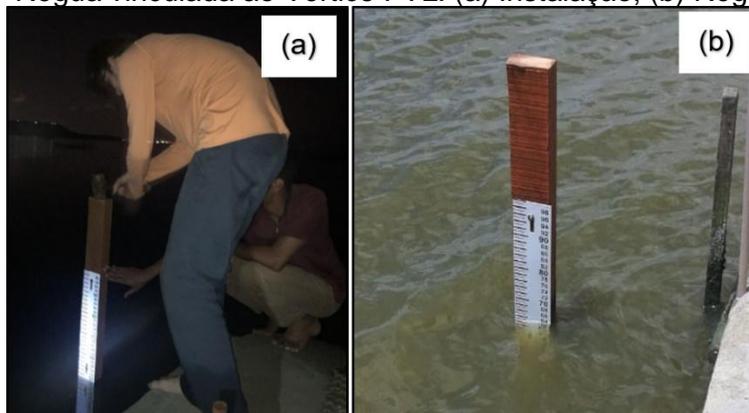
3.3 INSTALAÇÃO DE RÉGUAS LIMNIMÉTRICAS

A distância entre a entrada de água vinda do Rio Mundaú até a desembocadura da Laguna Mundaú com o mar é de aproximadamente 15 km, considerando-se o caminho que a água percorre da saída do rio, passando pela laguna e seus canais até o encontro com o mar. Desta forma, para realizar leituras simultâneas de nível d'água em locais variados na laguna durante o levantamento batimétrico, foram instaladas, no dia 18 de setembro de 2019, réguas dentro da laguna e próximas a cada vértice da rede descrita acima. Para este procedimento, utilizou-se:

- Madeira Massaranduba (0,06 x 0,20 x 2,00 m), cravada de 60 a 70 cm no solo;
- Régua limnimétrica de alumínio com pintura epóxi graduada em centímetros;
- Nível de cantoneira;
- Marreta de 2 kg;
- Parafusos de 2" com arruelas para fixação das réguas.

A Figura 10 mostra o momento de instalação da régua vinculada ao vértice FVL e a régua instalada.

Figura 10 - Régua vinculada ao Vértice FVL. (a) Instalação; (b) Régua instalada



Fonte: O Autor (2020).

Devido a distância de acesso e as características do caminho entre os vértices, optou-se por utilizar o elipsoide como superfície de referência comum para as réguas. Assim, as leituras realizadas nelas durante o levantamento batimétrico estão vinculadas ao mesmo referencial. A altitude geodésica da base da régua, obtida a partir da diferença de nível entre esta e o vértice a ela associado, foi calculada a partir de nivelamento geométrico (Figura 11). Para isto, utilizaram-se:

- Um nível mecânico TopCon de colimação automática (precisão de ± 2 mm por quilômetro de duplo nivelamento);
- Uma mira falante de alumínio (4 m);
- Um tripé topográfico de alumínio.

Figura 11 - Nivelamento Geométrico do Vértice CQS à sua Régua. (a) Nivelamento geométrico; (b) Posição da mira-falante na régua limnimétrica



Fonte: O Autor (2020).

3.4 LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

O levantamento batimétrico foi realizado nos dias 19 e 20 de setembro de 2019, onde as coordenadas tridimensionais da embarcação foram determinadas por posicionamento GNSS relativo cinemático. Para o primeiro dia, os pontos utilizados como base foram: ALMA, BNV2, CQS e FVL; enquanto no segundo dia, foram ALMA, CQS e FVL. A profundidade foi definida a partir de levantamento batimétrico utilizando ecobatímetro acoplado a um receptor GNSS.

3.4.1 Ecobatímetro

O equipamento utilizado para fazer a batimetria foi um ecobatímetro South SDE 28S (Figura 13), cujas especificações técnicas são:

- Amplitude da profundidade: 0,300 a 300 m;
- Resolução de profundidade: 0,010 m;
- Precisão de profundidade: $\pm 1 \text{ mm} + 1\% \times \text{distância}$.

Ele foi configurado para fazer dez leituras de profundidade por segundo e gravar para o instante inicial, ou seja, às 8h00min00s o transdutor inicia dez leituras de profundidade e finaliza às 8h00min01s e os dados são armazenados referente às 8h00min00s.

3.4.2 Dados GNSS

Os dados GNSS foram adquiridos na embarcação e nas estações base. Na embarcação, o instrumento utilizado (Figura 13) para fazer o posicionamento da embarcação durante a batimetria foi o receptor GNSS South Galaxy G1S RTK L1/L2 (precisão horizontal de $2,5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ e vertical de $5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$). Ele foi configurado para o método cinemático com gravação a cada segundo, máscara de elevação de 10° e altura da antena (vertical – ARP) de 0,640 m em relação do nível instantâneo da água.

Os dados de posicionamento da embarcação (GNSS) são sincronizados com os dados de batimetria pelo ecobatímetro a partir do *software* do equipamento. Os dados fornecidos, durante o levantamento, são de navegação sem nenhuma técnica

de correção em tempo real. Para evitar erro de *offset* entre os dados de profundidade e posicionamento, a antena do receptor GNSS foi instalada no mesmo eixo do transdutor do ecobatímetro. Os dados de rastreamento gravados na memória do receptor foram extraídos e pós-processados no *software* TopCon Tools 8.2.

Figura 12 - Ecobatímetro South SDE 28S, Receptor GNSS South Galaxy G1 e Transdutor



Fonte: O Autor (2020).

Nas bases, para ter abundância de dados para o pós-processamento da posição da embarcação, os vértices implantados (descritos no item 3.2) foram reocupados como pontos de base. Os instrumentos utilizados foram receptores GNSS Trimble RTK R4 *model* 3 L1/L2 (precisão horizontal de $3\text{ mm} + 0,1\text{ ppm}$ e vertical de $3,5\text{ mm} + 0,4\text{ ppm}$) apoiados em bases nivelantes e tripés topográficos de madeira.

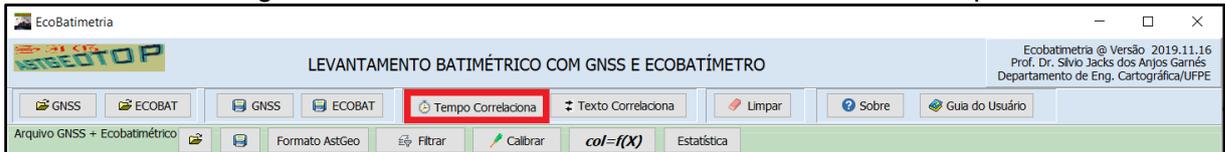
No primeiro dia, 19/09/2019, os vértices ocupados como base foram BNV2, CQS e FVL, além de ALMA, vértice pertencente à RBMC. No segundo dia, 20/09/2019, as bases foram ALMA, CQS e FVL.

3.4.3 Ordenação Temporal dos Dados

Como fora mencionado, os dados de posicionamento da embarcação sincronizados durante o levantamento batimétrico são de navegação. E estes foram processados e ajustados em rede para melhorar sua precisão. Feito isso, eles precisaram ser reordenados para coincidir o tempo de coleta da profundidade com a época do posicionamento via satélite.

Para este procedimento foi utilizado o *software* AstGeoTop. No módulo EcoBatimetria (versão 2020.02.25) (GARNÉS, 2020), foi realizada a ordenação temporal dos dados com uma diferença de 8h, pois as profundidades medidas foram registradas no fuso UTC+8.

Figura 13 - Módulo EcoBatimetria do software AstGeoTop

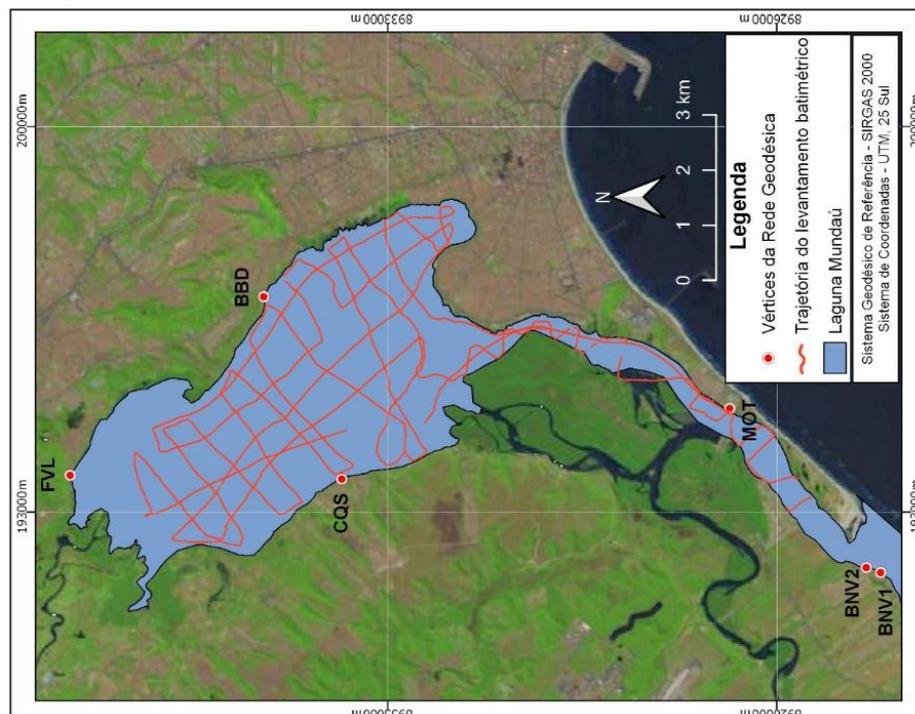


Fonte: Garnés (2020).

3.4.4 Trecho Percorrido

A princípio, planejou-se realizar o levantamento em linhas equidistantes de 250 metros e as linhas de verificação equidistantes em 500 metros. Porém durante a execução, houve problemas para determinação do posicionamento da embarcação em tempo real para seguir as linhas predefinidas. Diante disto, o trajeto foi modificado e o barco seguiu buscando fazer linhas paralelas. A Figura 14 ilustra o trajeto executado durante o levantamento batimétrico.

Figura 14 - Trecho percorrido durante o Levantamento Batimétrico

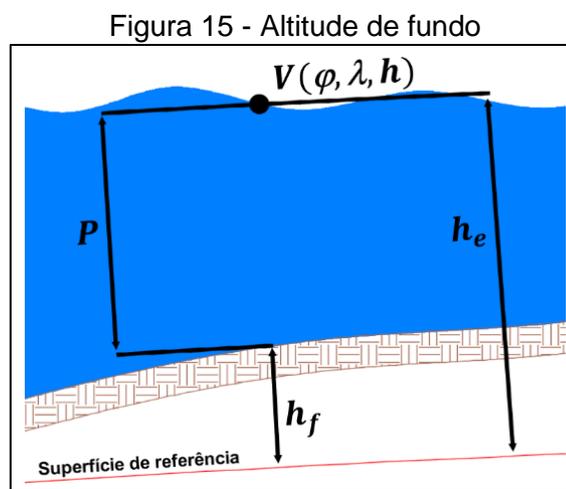


Fonte: O Autor (2020).

3.4.5 Altitude de Fundo

Como o ecobatímetro foi configurado para fazer dez aquisições de profundidade por segundo, foi definida como sendo a profundidade do ponto, a média aritmética entre as leituras, desprezando as leituras nulas. E a altitude de fundo (h_f) de um vértice (V) foi definida como a diferença entre a altitude do espelho d'água (h_e) e a profundidade (P), conforme equação 2. A Figura 15 ilustra esses conceitos.

$$h_f = h_e - P \quad (2)$$



Fonte: O Autor (2020).

A altitude no espelho d'água pode ser dada através do processamento dos dados de posicionamento da embarcação (item 3.4.2.1) ou a partir dos modelos de superfície (item 3.5.2).

3.4.6 Precisão do Levantamento Batimétrico

Primeiramente, identifica-se onde há cruzamento entre as trajetórias do levantamento batimétrico (Figura 16).

Em seguida, deve-se determinar o ponto de interseção a partir do cruzamento das retas formadas por trajetórias distintas do levantamento batimétrico, cujas coordenadas são dadas pelas equações 4 e 5.

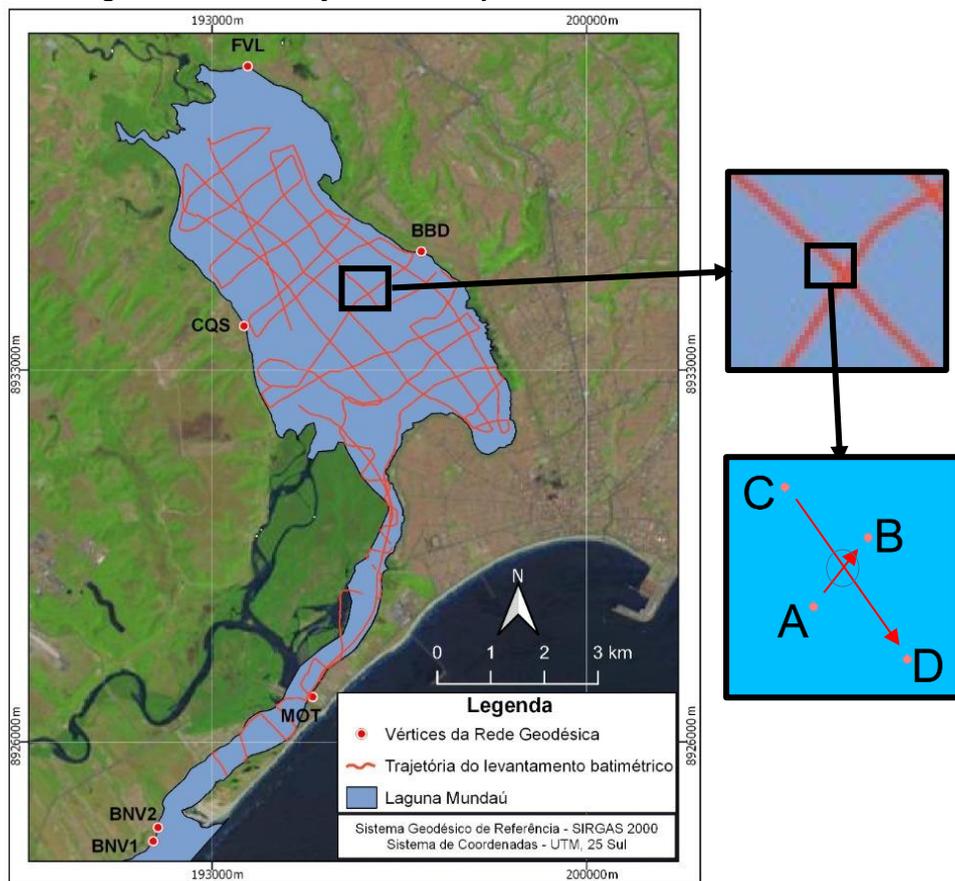
$$E_i = \frac{b_{CD} - b_{AB}}{a_{AB} - a_{CD}} \quad (4)$$

$$N_i = a_{AB}E_i + b_{AB} \quad (5)$$

Onde:

- E_i : coordenada Este do ponto de interseção;
- N_i : coordenada Norte do ponto de interseção;
- a_{AB} : coeficiente angular da reta formada entre os pontos A e B;
- b_{AB} : coeficiente linear da reta formada entre os pontos A e B;
- a_{CD} : coeficiente angular da reta formada entre os pontos C e D;
- b_{CD} : coeficiente linear da reta formada entre os pontos C e D.

Figura 16 - Interseção entre trajetórias do levantamento batimétrico



Fonte: O Autor (2020).

Posteriormente, calcula-se as altitudes deste ponto de interseção por interpolação linear a partir dos vértices A e B (equação 6) e utilizando os vértices C e D (equação 7).

$$h_i^{AB} = \frac{d_{Ai}(h_B - h_A)}{d_{AB}} + h_A \quad (\text{eq. 6})$$

$$h_i^{CD} = \frac{d_{Ci}(h_C - h_D)}{d_{CD}} + h_C \quad (\text{eq. 7})$$

Onde:

- h_i^{AB} : altitude do ponto de interseção calculada a partir do alinhamento AB;
- h_i^{CD} : altitude do ponto de interseção calculada a partir do alinhamento CD;
- d_{Ai} : distância entre o ponto A e o ponto de interseção;
- d_{AB} : distância entre os pontos A e B;
- d_{Ci} : distância entre o ponto C e o ponto de interseção;
- d_{CD} : distância entre os pontos C e D;
- h_A : altitude do vértice A;
- h_B : altitude do vértice B;
- h_C : altitude do vértice C;
- h_D : altitude do vértice D.

A discrepância entre as altitudes calculadas para cada trajetória no ponto de interseção é dada pela diferença entre elas. E a acurácia do levantamento batimétrico é dada pelo Erro Médio Quadrático (EMQ), considerando as discrepâncias como erros verdadeiros.

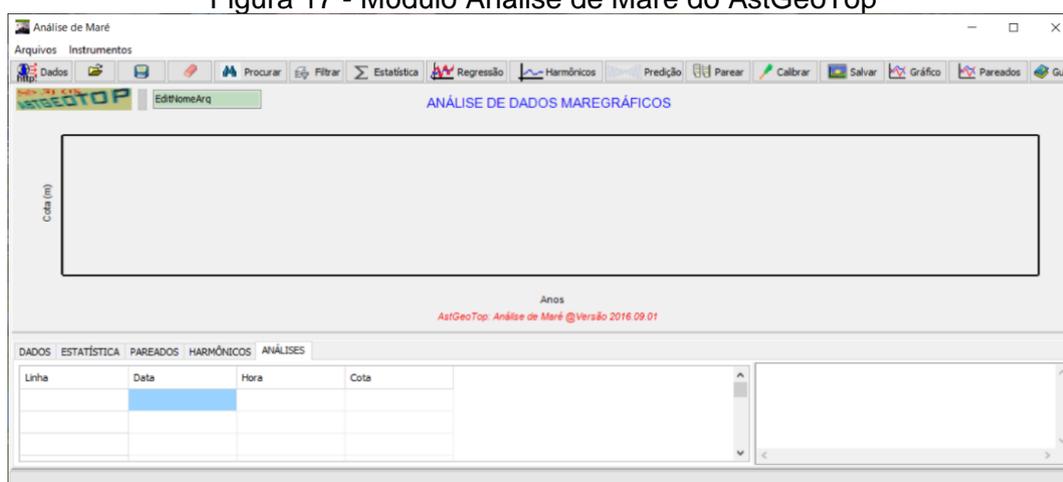
3.5 DADOS MAREGRÁFICOS

Para correção do efeito da maré foram realizadas medições nas régua a cada 10 minutos para ter abundância de dados e ter a possibilidade de identificar e eliminar os erros grosseiros nas leituras, durante o tempo do levantamento. Esses dados foram empregados para determinação do modelo de maré para gerar o modelo de correção de maré para e o nível de redução da batimetria.

3.5.1 Modelos de Maré

O modelo de maré foi gerado no *software* AstGeoTop. No módulo Análise de Maré (versão 2016.09.01) (GARNÉS, 2020) (Figura 17), é possível determinar as constituintes de maré a partir de uma série de dados.

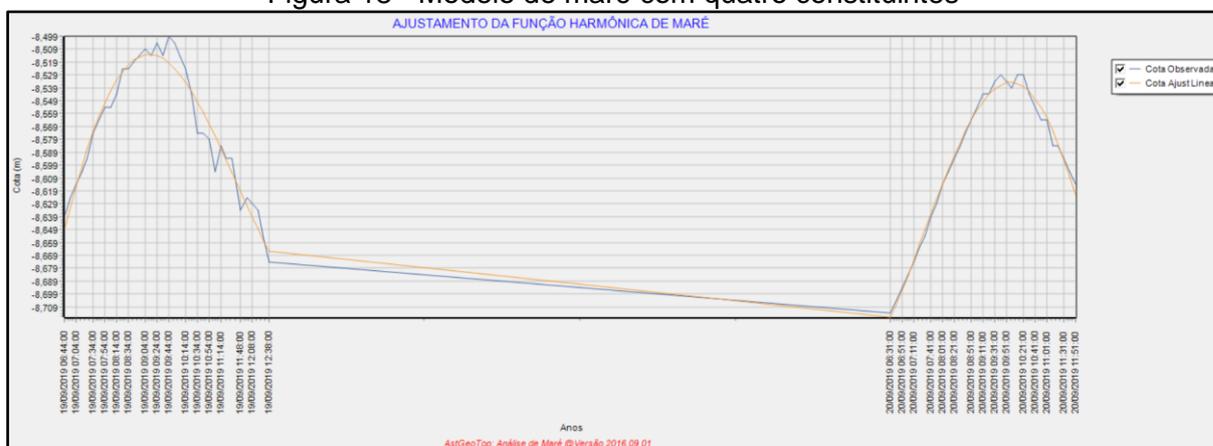
Figura 17 - Módulo Análise de Maré do AstGeoTop



Fonte: Garnés (2020).

A partir das leituras de nível d'água nas régua limnimétricas durante o levantamento batimétrico, foi gerado um modelo de maré com quatro constituintes (Figura 18) para cada vértice. Os modelos de maré com mais que quatro constituintes não demonstraram melhoria significativa na precisão, por essa razão foram utilizados os com quatro constituintes.

Figura 18 - Modelo de maré com quatro constituintes



Fonte: adaptado de Garnés (2020).

3.5.2 Modelo de Superfície

Para a criação deste modelo de superfície também foi utilizado o *software* AstGeoTop, mas no módulo EcoBatimetria (versão 2020.02.25) (GARNÉS, 2020). Neste módulo é possível determinar a correção de maré para um ponto $P(\varphi, \lambda)$ do levantamento em qualquer época.

Para isso, define-se uma época inicial para redução das altitudes do levantamento, determinada época de referência (t_0). Para essa época, usa-se um modelo de superfície para determinar a altitude na época de referência (h_{t_0}) em função das coordenadas do ponto $P(\varphi, \lambda)$, ou seja: $h_{t_0} = f(\varphi, \lambda)$.

Em outra época (t_k), anterior ou posterior à de referência, é gerado outro modelo de superfície para determinação da altitude neste instante (h_{t_k}) em função das coordenadas do vértice $P(\varphi, \lambda)$, então: $h_{t_k} = f(\varphi, \lambda)$. A diferença entre h_{t_k} e h_{t_0} é a correção de maré do ponto $P(\varphi, \lambda)$.

No *software*, os modelos de superfície disponíveis são:

- Para um ponto de monitoramento: $h_p = h_{t_k}$;
- Para dois ou três pontos de monitoramento: $h_p = AX + BY + C$;
- Para três ou mais pontos de monitoramento: $h_p = AX + BY + CXY + D$.

3.6 DELIMITAÇÃO DA BORDA

Para determinação da borda da Laguna Mundaú foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto em uma imagem do satélite Sentinel-2 de 24 de novembro de 2016. Para a realização do empilhamento foram empregadas as bandas 2 (azul, comprimento de onda de 490 nm), banda 3 (verde, 560 nm), banda 4 (vermelho, 665 nm) e banda 8 (infravermelho próximo, 842 nm), tendo as respectivas bandas uma resolução espacial 10 m. Destaca-se que para a realização do procedimento de empilhamento das imagens foi utilizado o software QGIS, versão 2.18.28.

Para validar a técnica de sensoriamento remoto que melhor se adeque ao limite da Laguna Mundaú foram levantados trechos da borda de comprimento entre 300 e 700 m, sendo estes em Maceió, no bairro de Bebedouro e no bairro do Vergel do Lago, no píer de Coqueiro Seco e o último entre Santa Luzia do Norte e Coqueiro Seco.

3.6.1 Técnicas de Sensoriamento Remoto para Extração de Bordas

As técnicas empregadas para determinação da borda foram: algoritmo de segmentação de imagens por crescimento de regiões utilizando as bandas 2, 3 e 4 da imagem; Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) através das bandas 3

e 8 e; binarização da banda 8, admitindo que os valores de pixels menor ou igual a 1000 é água.

3.6.2 Trechos de Controle Levantados por GNSS

O levantamento da borda foi realizado entre os dias 27 e 29 de fevereiro de 2020 utilizando o método relativo *stop and go*. Os dados foram processados no *software* Trimble Business Center (Versão 3.21). Os materiais utilizados para este procedimento (Figura 19) foram:

- Par de receptores GNSS Trimble RTK R4 *model* 3 L1/L2 (precisão horizontal de $3\text{ mm} + 0,1\text{ ppm}$ e vertical de $3,5\text{ mm} + 0,4\text{ ppm}$);
- Uma Coletora Trimble Slate;
- Rádio UHF Trimble TDL 450H;
- Uma base nivelante;
- Um tripé topográfico de madeira;
- Um trena de aço (7,50 m).

Figura 19 - Levantamento de trechos da borda da Laguna Mundaú. (a) Base; (b) Rover



Fonte: O Autor (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta dissertação estão apresentados neste capítulo e estão separados por tópicos para prover organização e clareza.

4.1 REDE GEODÉSICA

Em posse dos arquivos RINEX dos vértices da rede geodésica (ALMA, BBD, BNV1, BNV2, CQS, FVL e MOT), os dados foram processados e ajustados nos *softwares* Trimble Business Center (versão 3.21) e Topcon Tools (versão 8.2) e no serviço IBGE-PPP para determinação de suas coordenadas.

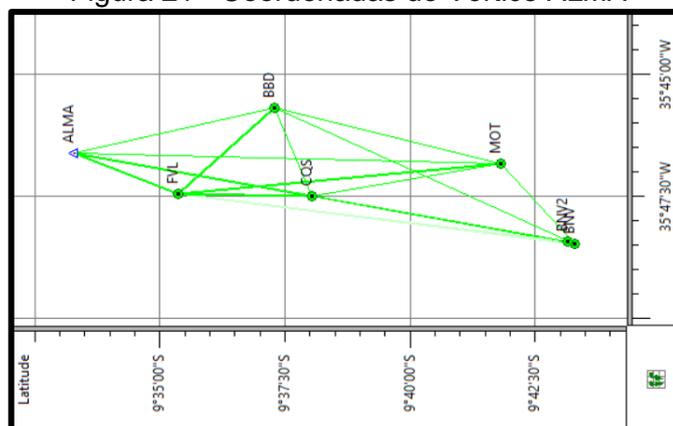
O vértice ALMA foi utilizado como ponto de controle horizontal e vertical e suas coordenadas oficiais foram extraídas do memorial descritivo disponibilizado pelo IBGE, cujos dados estão apresentados na Figura 20. Enquanto a Figura 21 mostra as linhas de base geradas no *software* TopCon Tools.

Figura 20 - Coordenadas do Vértice ALMA

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 09° 33' 16,96102"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 35° 46' 37,56365"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	84,786 m	Sigma:	0,004 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	5.103.321,4250 m	Sigma:	0,003 m
Y:	-3.677.531,8530 m	Sigma:	0,003 m
Z:	-1.051.726,3910 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	8.942.592,387 m		
UTM (E):	195.123,394 m		
MC:	-33		

Fonte: IBGE (2017).

Figura 21 - Coordenadas do Vértice ALMA



Fonte: O Autor (2020).

Os quadros 5, 6 e 7 mostram as coordenadas (SIRGAS2000, época 2000.4) obtidas após processamento. A Figura 22 mostra a distribuição espacial dos vértices.

Quadro 5 - Coordenadas Lat/Long e altitudes elipsoidais dos Vértices e sua Precisão (TopCon Tools)

Ponto	Latitude	Precisão	Longitude	Precisão	Alt. Geodésica	Precisão
BBD	-9°37'16,84207"	±0,002 m	-35°45'40,99819"	±0,002 m	-7,011 m	±0,004 m
BNV1	-9°43'16,66661"	±0,002 m	-35°48'28,16685"	±0,002 m	-6,680 m	±0,004 m
BNV2	-9°43'08,28218"	±0,003 m	-35°48'25,16116"	±0,004 m	-6,648 m	±0,006 m
CQS	-9°38'01,63337"	±0,002 m	-35°47'29,96405"	±0,002 m	-6,792 m	±0,004 m
FVL	-9°35'22,65242"	±0,002 m	-35°47'26,38491"	±0,002 m	-7,400 m	±0,003 m
MOT	-9°41'49,12698"	±0,002 m	-35°46'49,71905"	±0,002 m	-4,196 m	±0,004 m

Fonte: O Autor (2020).

Quadro 6 - Coordenadas Lat/Long e altitudes elipsoidais dos Vértices e sua Precisão (Trimble Business Center)

Ponto	Latitude	Precisão	Longitude	Precisão	Alt. Geodésica	Precisão
BBD	-9°37'16,84218"	±0,006 m	-35°45'40,99786"	±0,005 m	-7,034 m	±0,029 m
BNV1	-9°43'16,66664"	±0,005 m	-35°48'28,16665"	±0,004 m	-6,703 m	±0,025 m
BNV2	-9°43'08,28258"	±0,006 m	-35°48'25,16159"	±0,006 m	-6,649 m	±0,038 m
CQS	-9°38'01,63351"	±0,005 m	-35°47'29,96388"	±0,004 m	-6,842 m	±0,025 m
FVL	-9°35'22,65231"	±0,004 m	-35°47'26,38451"	±0,004 m	-7,422 m	±0,021 m
MOT	-9°41'49,12706"	±0,005 m	-35°46'49,71879"	±0,004 m	-4,209 m	±0,024 m

Fonte: O Autor (2020).

Quadro 7 - Coordenadas Lat/Long e altitudes elipsoidais dos Vértices e sua Precisão (IBGE-PPP)

Ponto	Latitude	Precisão	Longitude	Precisão	Alt. Geodésica	Precisão
BBD	-9°37'16,84243"	±0,003 m	-35°45'40,99933"	±0,008 m	-6,989 m	±0,014 m
BNV1	-9°43'16,66702"	±0,003 m	-35°48'28,16750"	±0,007 m	-6,666 m	±0,010 m
BNV2	-9°43'08,28224"	±0,002 m	-35°48'25,16185"	±0,005 m	-6,651 m	±0,006 m
CQS	-9°38'01,63425"	±0,002 m	-35°47'29,96523"	±0,007 m	-6,790 m	±0,011 m
FVL	-9°35'22,65173"	±0,003 m	-35°47'26,38379"	±0,005 m	-7,412 m	±0,016 m
MOT	-9°41'49,12730"	±0,001 m	-35°46'49,71995"	±0,003 m	-4,172 m	±0,005 m

Fonte: O Autor (2020).

Quando comparados os resultados obtidos com os processamentos efetuados nos dois *softwares*, nota-se que a diferença na latitude é inferior a 5 mm, exceto no vértice BNV2 (12,4 mm). Quando comparados com o IBGE-PPP, a discrepância é quase sempre superior a 1 cm. Com exceção dos vértices BBD, BNV2 e MOT. As discrepâncias na latitude ($\Delta\varphi$) são mostradas no Quadro 8. A

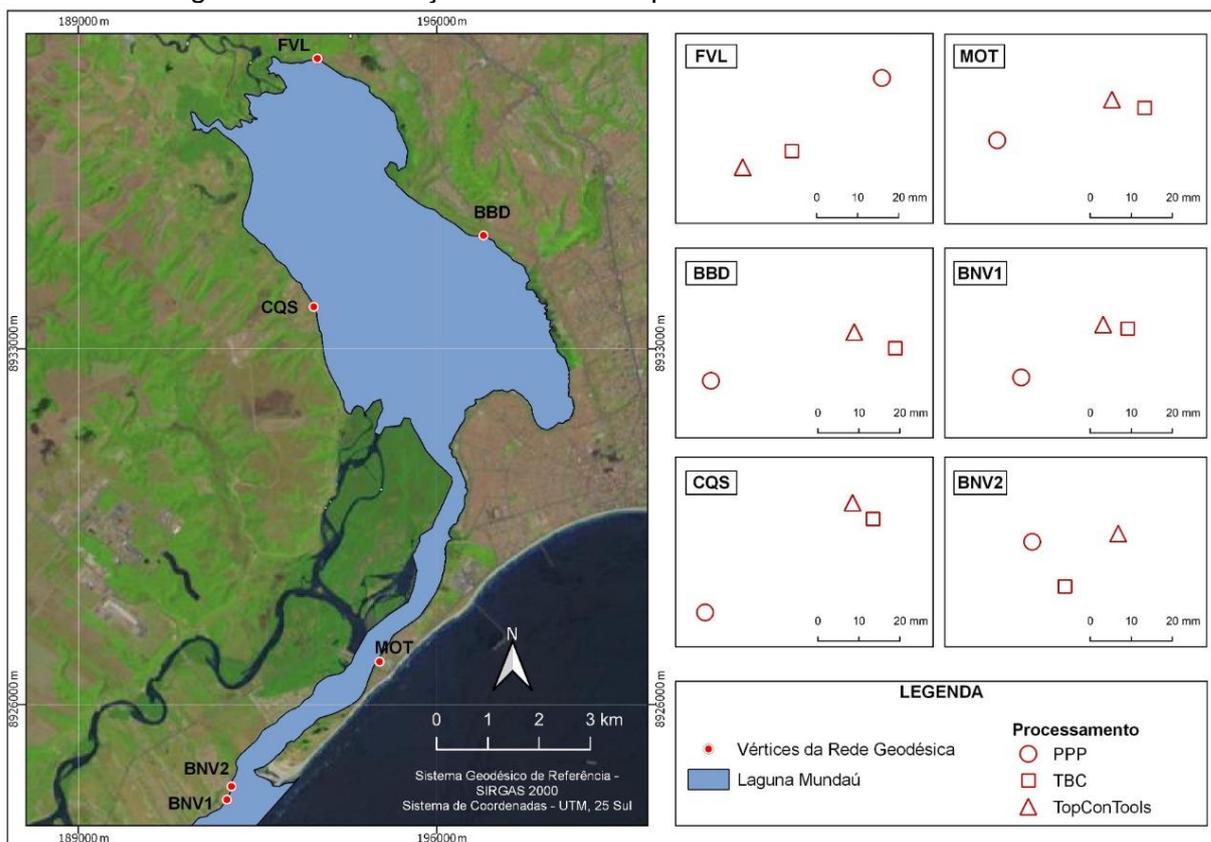
Figura 22 distribui os vértices e demonstra as discrepâncias das coordenadas finais nos processamentos realizados.

Quadro 8 - Discrepância na Latitude ($\Delta\varphi$)

Ponto	$\Delta\varphi$ (TopCon – TBC)	$\Delta\varphi$ (PPP – TBC)	$\Delta\varphi$ (PPP – TopCon)
BBD	-0,00011" = -3,4 mm	0,00025" = 7,7 mm	0,00036" = 11,1 mm
BNV1	-0,00003" = -0,9 mm	0,00038" = 11,7 mm	0,00041" = 12,7 mm
BNV2	-0,00040" = -12,4 mm	-0,00034" = -10,5 mm	0,00006" = 1,9 mm
CQS	-0,00014" = -4,3 mm	0,00074" = 22,9 mm	0,00088" = 27,2 mm
FVL	0,00011" = 3,4 mm	-0,00058" = -17,9 mm	-0,00069" = -21,3 mm
MOT	-0,00008" = -2,5 mm	0,00024" = 7,4 mm	0,00032" = 9,9 mm

Fonte: O Autor (2020).

Figura 22 - Localização dos Vértices por Método de Processamento



Fonte: O Autor (2020).

Para a longitude, as discrepâncias foram maiores. Na comparação do TopCon Tools com o Trimble Business Center, três vértices tiveram valores inferiores a 1 cm (BNV1, CQS e MOT). As soluções obtidas com o IBGE-PPP, quando comparadas as do TBC, indicam que o vértice BNV2 teve variação inferior a 1 cm. E nenhum vértice teve variação menor que 1 cm se relacionado o IBGE-PPP com o TopCon. O Quadro 9 mostra as discrepâncias na longitude ($\Delta\lambda$).

Quadro 9 - Discrepância na Longitude ($\Delta\lambda$)

Ponto	$\Delta\lambda$ (TopCon – TBC)	$\Delta\lambda$ (PPP – TBC)	$\Delta\lambda$ (PPP – TopCon)
BBD	0,00033" = 10,2 mm	0,00147" = 45,4 mm	0,00114" = 35,2 mm
BNV1	0,00020" = 6,2 mm	0,00085" = 26,3 mm	0,00065" = 20,1 mm
BNV2	-0,00043" = -13,3 mm	0,00026" = 8,0 mm	0,00069" = 21,3 mm
CQS	0,00017" = 5,3 mm	0,00135" = 41,7 mm	0,00118" = 36,4 mm
FVL	0,00040" = 12,4 mm	-0,00072" = -22,2 mm	-0,00112" = -34,6 mm
MOT	0,00026" = 8,0 mm	0,00116" = 35,8 mm	0,00090" = 27,8 mm

Fonte: O Autor (2020).

As altitudes geodésicas apresentaram variações entre 0,1 e 5 cm, sendo a menor variação no vértice BNV2 e a maior variação no vértice CQS. O Quadro 10 mostra as discrepâncias na altitude elipsoidal (Δh).

Quadro 10 - Discrepância na Altitude Geodésica (Δh)

Ponto	Δh (TopCon – TBC)	Δh (PPP – TBC)	Δh (PPP – TopCon)
BBD	23 mm	45 mm	22 mm
BNV1	23 mm	37 mm	14 mm
BNV2	1 mm	-2 mm	-3 mm
CQS	50 mm	52 mm	2 mm
FVL	22 mm	10 mm	-12 mm
MOT	13 mm	37 mm	24 mm

Fonte: O Autor (2020).

Visto que as variações na latitude e longitude dos pontos foram superiores ao centímetro para quase todos os pontos, quando comparados com o IBGE-PPP, processou-se o arquivo RINEX da estação RBMC ALMA do dia 19 de setembro de 2019 no IBGE-PPP. Tal procedimento foi efetuado visando verificar se havia uma tendência de deslocamento na longitude deste ponto. Primeiro foi enviado o arquivo RINEX no intervalo das 10 às 14h (horário local), horário próximo ao levantamento dos demais vértices. Depois foi processado o arquivo com as 24 horas de levantamento. O resultado está apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 - Coordenadas PPP do vértice ALMA da RBMC

Ponto	Coordenadas Oficiais	Entre 10 e 14h	24 horas
Latitude	-9°33'16,96102"	-9°33'16,9612"	-9°33'16,9610"
Longitude	-35°46'37,56365"	-35°46'37,5647"	-35°46'37,5643"
Alt. Geodésica	84,786 m	84,810 m	84,810 m

Fonte: O Autor (2020).

Como se nota, a diferença entre as coordenadas oficiais e os processamentos PPP é de aproximadamente 0,001" ou 3 cm. Desta forma, só foram consideradas as altitudes elipsoidais para este método de processamento e as coordenadas latitude e longitude foram descartadas.

Para a altitude geodésica, como a discrepância para o vértice CQS no processamento pelo *software* Trimble Business Center quando comparado aos demais foi próxima a 5 cm, este dado também foi descartado na composição da coordenada final dos vértices.

Essas coordenadas finais dos vértices da rede geodésica foram obtidas por média aritmética e estão indicadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Coordenadas Finais Lat/Long/h dos Vértices da Rede Geodésica

Ponto	Latitude	Precisão	Longitude	Precisão	Alt. Geodésica	Precisão
BBD	-9°37'16,84212"	±0,002 m	-35°45'40,99802"	±0,002 m	-7,011 m	±0,005 m
BNV1	-9°43'16,66662"	±0,002 m	-35°48'28,16675"	±0,002 m	-6,683 m	±0,005 m
BNV2	-9°43'08,28238"	±0,002 m	-35°48'25,16137"	±0,002 m	-6,649 m	±0,005 m
CQS	-9°38'01,63344"	±0,002 m	-35°47'29,96396"	±0,002 m	-6,791 m	±0,005 m
FVL	-9°35'22,65237"	±0,003 m	-35°47'26,38471"	±0,003 m	-7,411 m	±0,005 m
MOT	-9°41'49,12702"	±0,002 m	-35°46'49,71892"	±0,002 m	-4,192m	±0,005 m

Fonte: O Autor (2020).

As monografias de marco seguem nos Apêndices A, B, C, D e E.

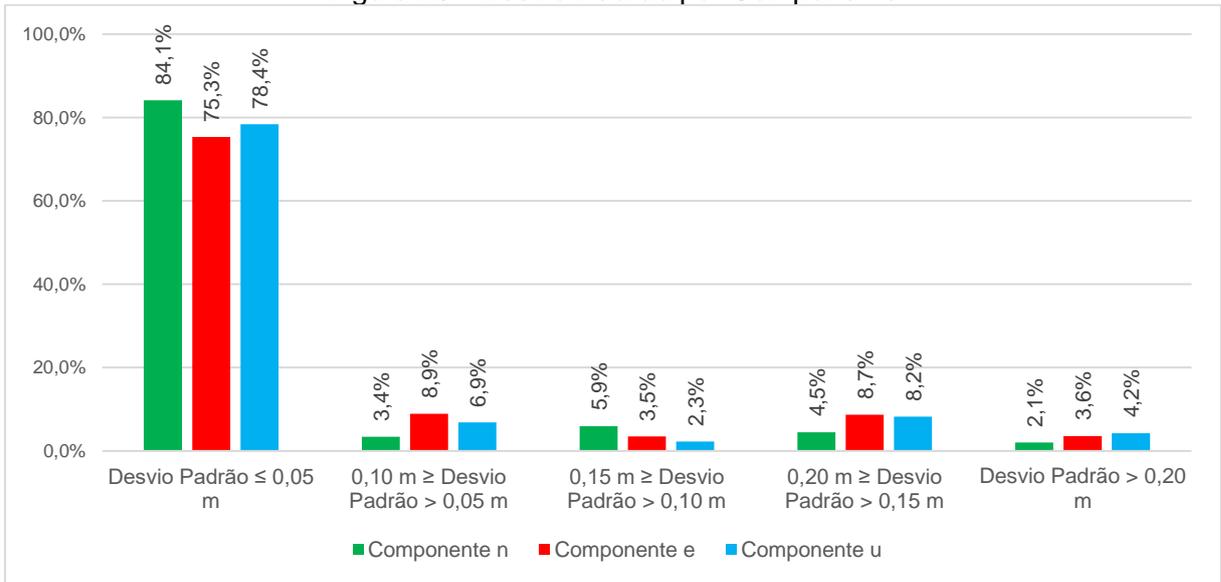
4.2 LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

Nos dois dias de levantamento após o processamento e o ajustamento em rede dos pontos levantados e após a filtragem das profundidades nulas e das consideradas como erro grosseiro, isto é, acima da profundidade máxima 12 m, ficaram 37.312 pontos (94,1% do total).

4.2.1 Posição da Embarcação

A Figura 23 mostra a distribuição do desvio padrão por componente (n, e, u) dos resultados dos pontos após o ajustamento em rede que envolve o receptor móvel e os pontos de base.

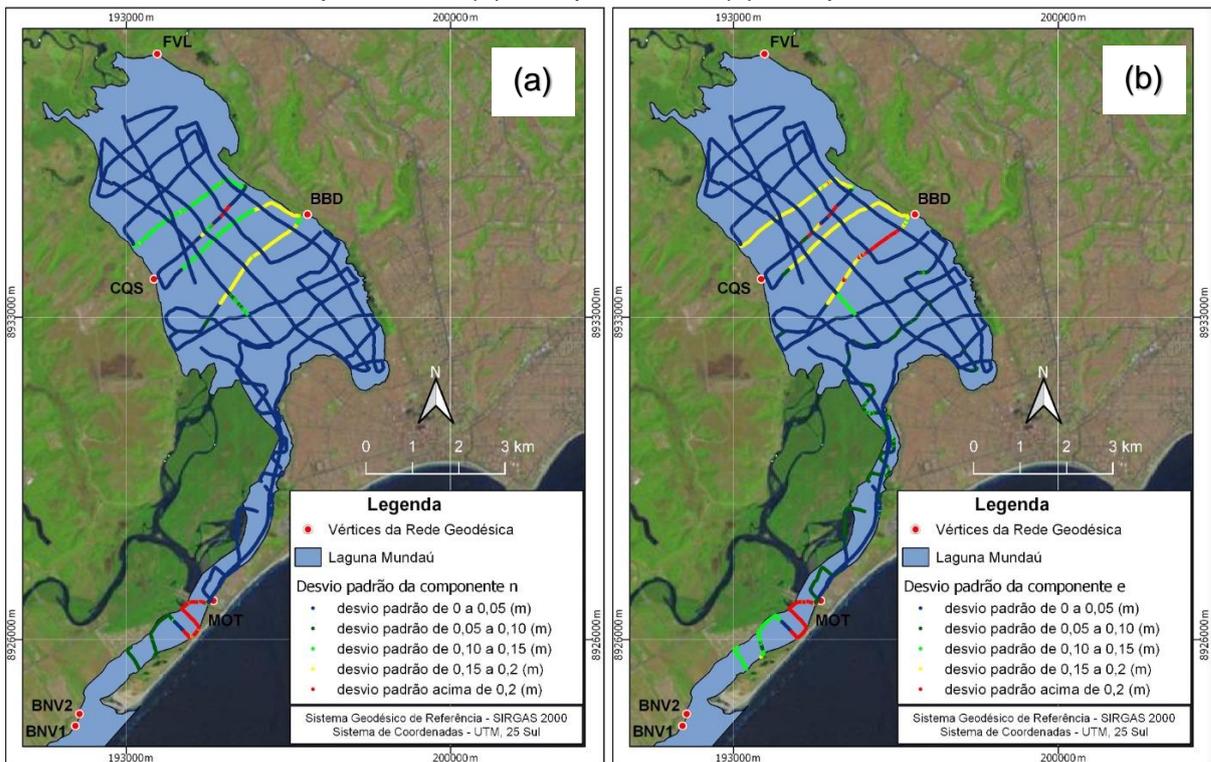
Figura 23 - Desvio Padrão por Componente

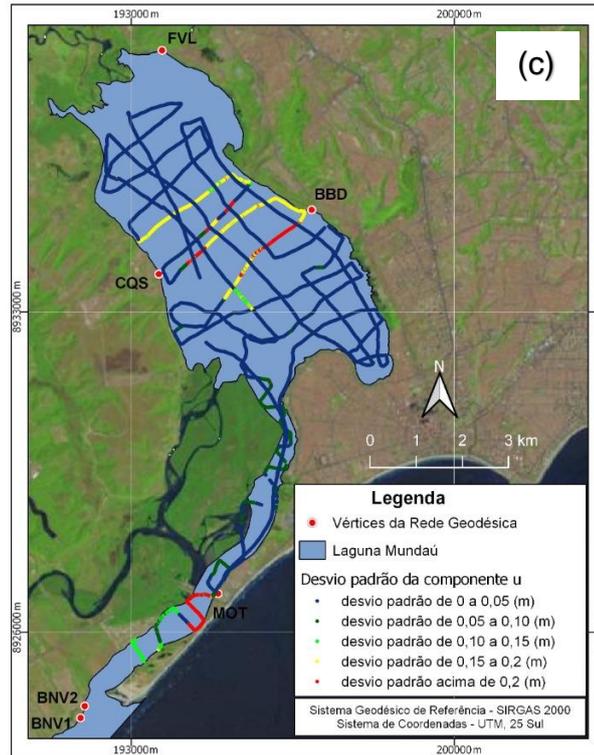


Fonte: O Autor (2020).

Em 72% dos pontos, as três componentes têm precisão melhor que 0,05 m e apenas 2% tem precisão pior que 0,20 m nas três componentes. A distribuição espacial dos vértices de acordo com a precisão da componente pode ser vista na Figura 24.

Figura 24 - Distribuição Espacial do Desvio Padrão dos Vértices por Componente. (a) Componente n; (b) Componente e; (c) Componente u



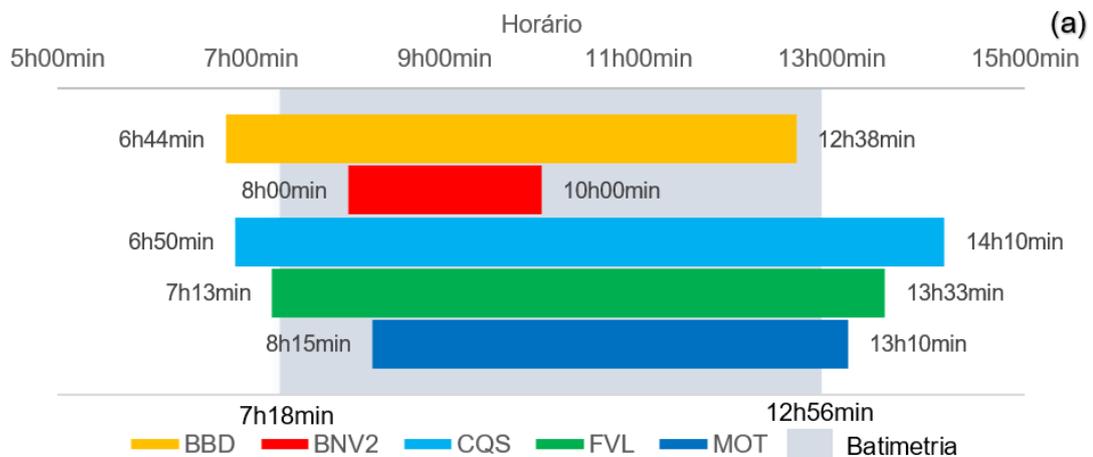


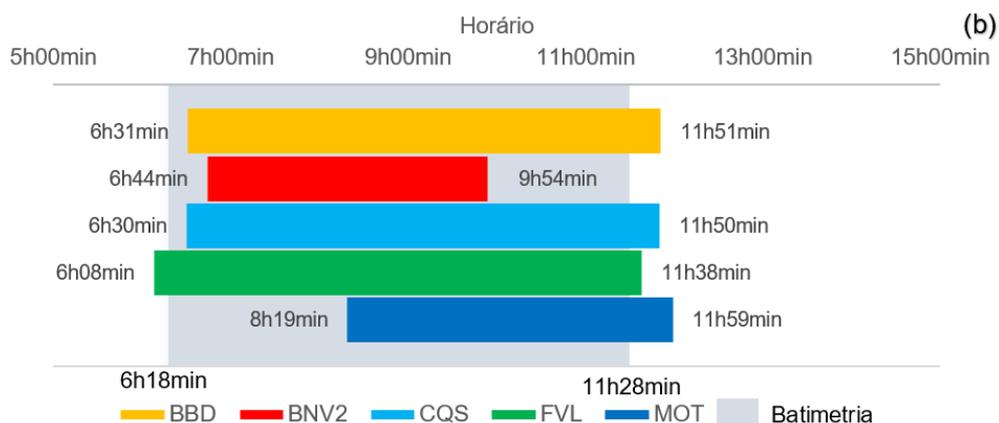
Fonte: O Autor (2020).

4.3 MODELO DE MARÉ

Os dados de nível d'água durante o levantamento batimétrico foram lidos nas réguas limnimétricas vinculadas aos vértices BBD, CQS, FVL, MOT e BNV2 a cada dez minutos para ter abundância e evitar erros grosseiros. A Figura 25 ilustra o intervalo de coleta de dados.

Figura 25 - Intervalo de coleta de dados do nível d'água. (a) Dia 19/09/2019; (b) Dia 20/09/2019





Fonte: O Autor (2020).

Como o intervalo de coleta do nível d'água no vértice BNV2 foi de apenas duas horas no primeiro dia, os dados de maré para este vértice foram desconsiderados.

4.3.1 Modelo de Maré para BBD

Os dados dos dois dias (Quadro 13) foram agrupados em um único arquivo para processamento no AstGeoTop.

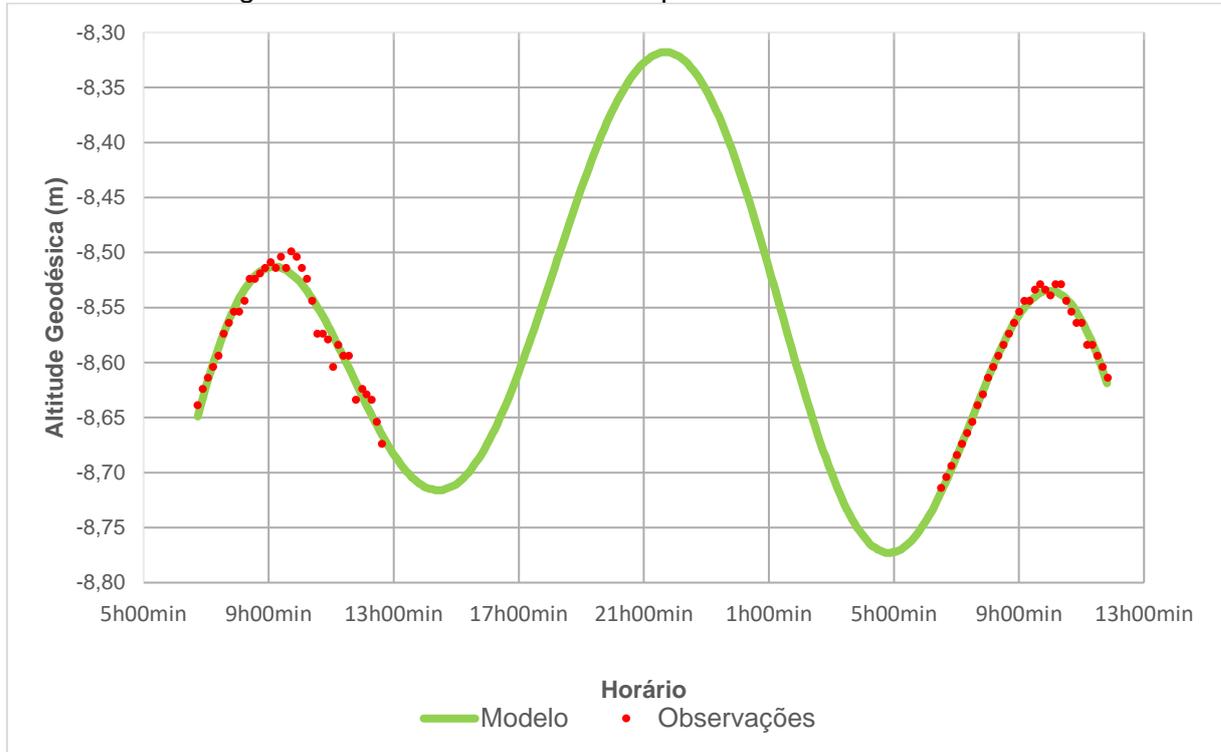
Quadro 13 - Dados de Nível d'Água para BBD

Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)
19/09/2019 06:44	-8,639	19/09/2019 10:34	-8,574	20/09/2019 08:11	-8,604
19/09/2019 06:54	-8,624	19/09/2019 10:44	-8,574	20/09/2019 08:21	-8,594
19/09/2019 07:04	-8,614	19/09/2019 10:54	-8,579	20/09/2019 08:31	-8,584
19/09/2019 07:14	-8,604	19/09/2019 11:04	-8,604	20/09/2019 08:41	-8,574
19/09/2019 07:24	-8,594	19/09/2019 11:14	-8,584	20/09/2019 08:51	-8,564
19/09/2019 07:34	-8,574	19/09/2019 11:24	-8,594	20/09/2019 09:01	-8,554
19/09/2019 07:44	-8,564	19/09/2019 11:34	-8,594	20/09/2019 09:11	-8,544
19/09/2019 07:54	-8,554	19/09/2019 11:48	-8,634	20/09/2019 09:21	-8,544
19/09/2019 08:04	-8,554	19/09/2019 12:00	-8,624	20/09/2019 09:31	-8,534
19/09/2019 08:14	-8,544	19/09/2019 12:08	-8,629	20/09/2019 09:41	-8,529
19/09/2019 08:24	-8,524	19/09/2019 12:18	-8,634	20/09/2019 09:51	-8,534
19/09/2019 08:34	-8,524	19/09/2019 12:28	-8,654	20/09/2019 10:01	-8,539
19/09/2019 08:44	-8,519	19/09/2019 12:38	-8,674	20/09/2019 10:11	-8,529
19/09/2019 08:54	-8,514	20/09/2019 06:31	-8,714	20/09/2019 10:21	-8,529
19/09/2019 09:04	-8,509	20/09/2019 06:41	-8,704	20/09/2019 10:31	-8,544
19/09/2019 09:14	-8,514	20/09/2019 06:51	-8,694	20/09/2019 10:41	-8,554
19/09/2019 09:24	-8,504	20/09/2019 07:01	-8,684	20/09/2019 10:51	-8,564
19/09/2019 09:34	-8,514	20/09/2019 07:11	-8,674	20/09/2019 11:01	-8,564
19/09/2019 09:44	-8,499	20/09/2019 07:21	-8,664	20/09/2019 11:11	-8,584
19/09/2019 09:54	-8,504	20/09/2019 07:31	-8,654	20/09/2019 11:21	-8,584
19/09/2019 10:04	-8,514	20/09/2019 07:41	-8,639	20/09/2019 11:31	-8,594
19/09/2019 10:14	-8,524	20/09/2019 07:51	-8,629	20/09/2019 11:41	-8,604
19/09/2019 10:24	-8,544	20/09/2019 08:01	-8,614	20/09/2019 11:51	-8,614

Fonte: O Autor (2020).

O modelo de maré com quatro constituintes, que são apresentadas no Quadro 14, tem um desvio padrão de 0,008 m. A comparação do modelo ajustado e os dados observados estão apresentados na Figura 26.

Figura 26 - Modelo de Maré com quatro constituintes de BBD



Fonte: O Autor (2020).

Quadro 14 - Modelo de Maré com quatro constituintes de BBD

ID. Constituinte	Coeficiente	Coeficiente	Velocidade	Amplitude	Fase
	$A_i(m)$	$B_i(m)$	w_i°/h	$R_i(m)$	F_i°
Constituinte 1:	9,2385126	-0,0511897	28,9841042	9,2386540	-0°19`02,88"
Constituinte 2:	-3,0596523	0,0075431	30,0000000	3,0596620	-0°08`28,51"
Constituinte 3:	-6,0875403	0,1058678	28,4397296	6,0884610	-0°59`46,77"
Constituinte 4:	0,1608876	-0,0027119	15,0410686	0,1609100	-0°57`56,43"

Fonte: O Autor (2020).

4.3.2 Modelo de Maré para CQS

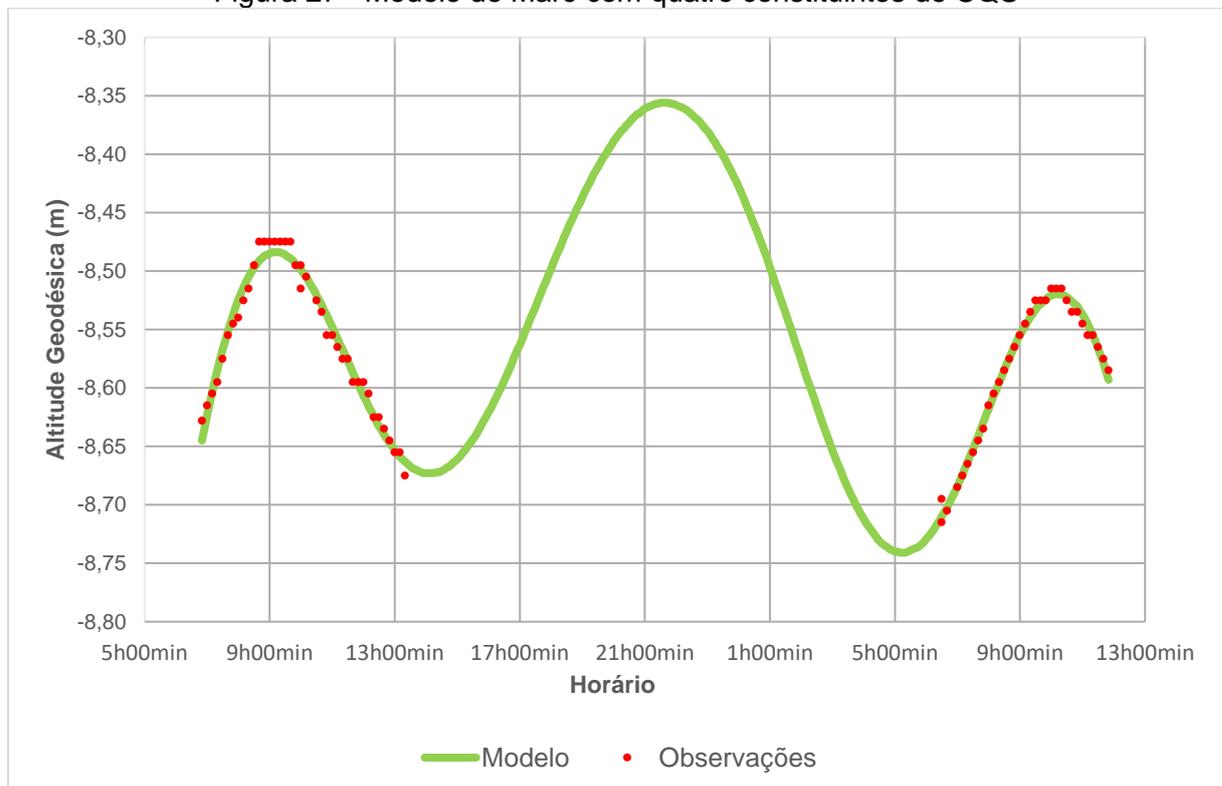
Os dados da régua limnimétrica relacionada ao vértice CQS (Quadro 15) foram processados para geração do modelo de maré com quatro constituintes (Figura 27 e Quadro 16). O desvio padrão do modelo de regressão linear foi 0,008 m.

Quadro 15 - Dados de Nível d'Água para CQS

Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)
19/09/2019 06:50	-8,628	19/09/2019 11:00	-8,555	20/09/2019 08:10	-8,605
19/09/2019 07:00	-8,615	19/09/2019 11:10	-8,565	20/09/2019 08:20	-8,595
19/09/2019 07:10	-8,605	19/09/2019 11:20	-8,575	20/09/2019 08:30	-8,585
19/09/2019 07:20	-8,595	19/09/2019 11:30	-8,575	20/09/2019 08:40	-8,575
19/09/2019 07:30	-8,575	19/09/2019 11:40	-8,595	20/09/2019 08:50	-8,565
19/09/2019 07:40	-8,555	19/09/2019 11:50	-8,595	20/09/2019 09:00	-8,555
19/09/2019 07:50	-8,545	19/09/2019 12:00	-8,595	20/09/2019 09:10	-8,545
19/09/2019 08:00	-8,54	19/09/2019 12:10	-8,605	20/09/2019 09:20	-8,535
19/09/2019 08:10	-8,525	19/09/2019 12:20	-8,625	20/09/2019 09:30	-8,525
19/09/2019 08:20	-8,515	19/09/2019 12:30	-8,625	20/09/2019 09:40	-8,525
19/09/2019 08:30	-8,495	19/09/2019 12:40	-8,635	20/09/2019 09:50	-8,525
19/09/2019 08:40	-8,475	19/09/2019 12:50	-8,645	20/09/2019 10:00	-8,515
19/09/2019 08:50	-8,475	19/09/2019 13:00	-8,655	20/09/2019 10:10	-8,515
19/09/2019 09:00	-8,475	19/09/2019 13:10	-8,655	20/09/2019 10:20	-8,515
19/09/2019 09:10	-8,475	19/09/2019 13:20	-8,675	20/09/2019 10:30	-8,525
19/09/2019 09:20	-8,475	20/09/2019 06:30	-8,715	20/09/2019 10:40	-8,535
19/09/2019 09:30	-8,475	20/09/2019 06:40	-8,705	20/09/2019 10:50	-8,535
19/09/2019 09:40	-8,475	20/09/2019 06:30	-8,695	20/09/2019 11:00	-8,545
19/09/2019 09:50	-8,495	20/09/2019 07:00	-8,685	20/09/2019 11:10	-8,555
19/09/2019 10:00	-8,495	20/09/2019 07:10	-8,675	20/09/2019 11:20	-8,555
19/09/2019 10:10	-8,505	20/09/2019 07:20	-8,665	20/09/2019 11:30	-8,565
19/09/2019 10:00	-8,515	20/09/2019 07:30	-8,655	20/09/2019 11:40	-8,575
19/09/2019 10:30	-8,525	20/09/2019 07:40	-8,645	20/09/2019 11:50	-8,585
19/09/2019 10:40	-8,535	20/09/2019 07:50	-8,635		
19/09/2019 10:50	-8,555	20/09/2019 08:00	-8,615		

Fonte: O Autor (2020).

Figura 27 - Modelo de Maré com quatro constituintes de CQS



Fonte: O Autor (2020)

Quadro 16 - Modelo de maré com quatro constituintes para CQS

ID. Constituinte	Coeficiente	Coeficiente	Velocidade	Amplitude	Fase
	Ai(m)	Bi(m)	wi°/h	Ri(m)	Fi°
Constituinte 1:	13,5332959	5,4669289	28,9841042	14,5958010	21°59'48,50"
Constituinte 2:	-4,5072153	-1,9520651	30,0000000	4,9117760	23°25'02,39"
Constituinte 3:	-8,9971302	-3,4614397	28,4397296	9,6400160	21°02'35,11"
Constituinte 4:	0,1694143	0,0096183	15,0410686	0,1696870	3°14'57,93"

Fonte: O Autor (2020).

4.3.3 Modelo de Maré para FVL

Foram realizadas 73 observações de nível d'água para FVL entre os dias 19 e 20/09/2019 (Quadro 17). Esses dados geraram um modelo de maré de quatro constituintes com desvio padrão de 0,007 m.

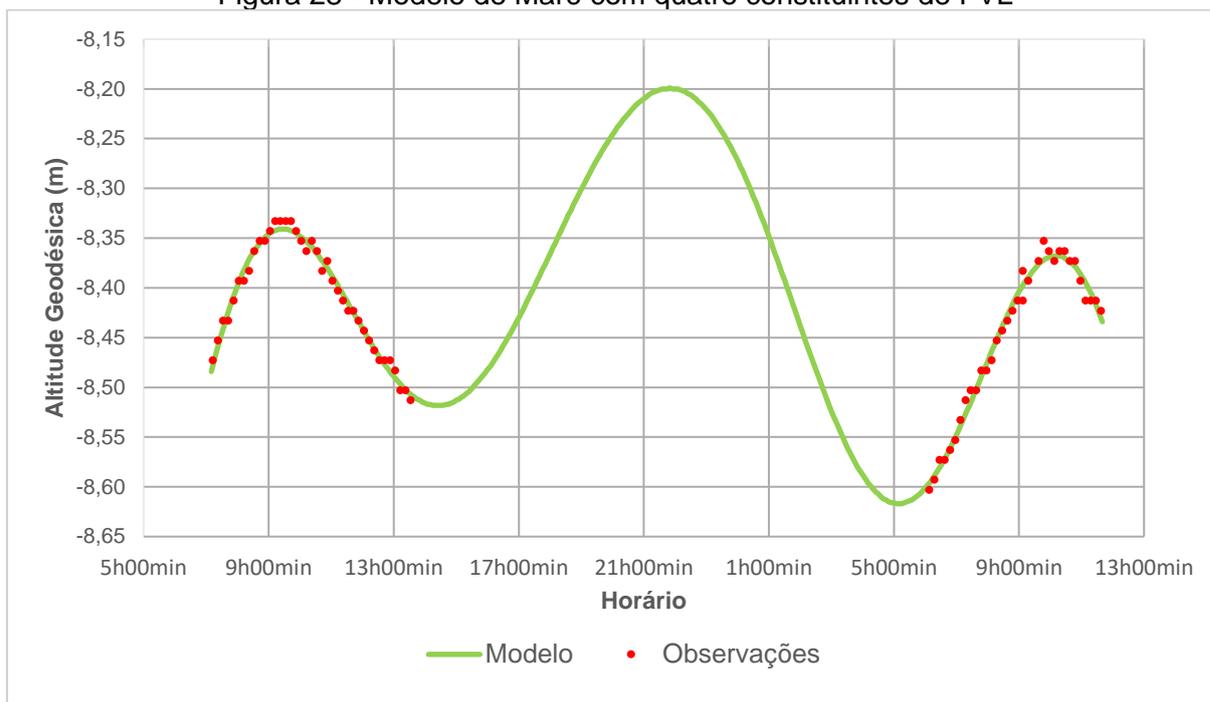
Quadro 17 - Dados de Nível d'Água para FVL

Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)
19/09/2019 07:13	-8,473	19/09/2019 11:23	-8,413	20/09/2019 07:58	-8,483
19/09/2019 07:23	-8,453	19/09/2019 11:33	-8,423	20/09/2019 08:08	-8,473
19/09/2019 07:33	-8,433	19/09/2019 11:43	-8,423	20/09/2019 08:18	-8,453
19/09/2019 07:43	-8,433	19/09/2019 11:53	-8,433	20/09/2019 08:28	-8,443
19/09/2019 07:53	-8,413	19/09/2019 12:03	-8,443	20/09/2019 08:38	-8,433
19/09/2019 08:03	-8,393	19/09/2019 12:13	-8,453	20/09/2019 08:48	-8,423
19/09/2019 08:13	-8,393	19/09/2019 12:23	-8,463	20/09/2019 08:58	-8,413
19/09/2019 08:23	-8,383	19/09/2019 12:33	-8,473	20/09/2019 09:08	-8,413
19/09/2019 08:33	-8,363	19/09/2019 12:43	-8,473	20/09/2019 09:18	-8,393
19/09/2019 08:43	-8,353	19/09/2019 12:53	-8,473	20/09/2019 09:08	-8,383
19/09/2019 08:53	-8,353	19/09/2019 13:03	-8,483	20/09/2019 09:38	-8,373
19/09/2019 09:03	-8,343	19/09/2019 13:13	-8,503	20/09/2019 09:48	-8,353
19/09/2019 09:13	-8,333	19/09/2019 13:23	-8,503	20/09/2019 09:58	-8,363
19/09/2019 09:23	-8,333	19/09/2019 13:33	-8,513	20/09/2019 10:08	-8,373
19/09/2019 09:33	-8,333	20/09/2019 06:08	-8,603	20/09/2019 10:18	-8,363
19/09/2019 09:43	-8,333	20/09/2019 06:18	-8,593	20/09/2019 10:28	-8,363
19/09/2019 09:53	-8,343	20/09/2019 06:28	-8,573	20/09/2019 10:38	-8,373
19/09/2019 10:03	-8,353	20/09/2019 06:38	-8,573	20/09/2019 10:48	-8,373
19/09/2019 10:13	-8,363	20/09/2019 06:48	-8,563	20/09/2019 10:58	-8,393
19/09/2019 10:23	-8,353	20/09/2019 06:58	-8,553	20/09/2019 11:08	-8,413
19/09/2019 10:33	-8,363	20/09/2019 07:08	-8,533	20/09/2019 11:18	-8,413
19/09/2019 10:43	-8,383	20/09/2019 07:18	-8,513	20/09/2019 11:28	-8,413
19/09/2019 10:53	-8,373	20/09/2019 07:28	-8,503	20/09/2019 11:38	-8,423
19/09/2019 11:03	-8,393	20/09/2019 07:38	-8,503		
19/09/2019 11:13	-8,403	20/09/2019 07:48	-8,483		

Fonte: O Autor (2020).

A Figura 28 mostra as observações realizadas e o modelo gerado. As constituintes do modelo de maré para este ponto da Laguna Mundaú (CQS), tem seus parâmetros apresentados no Quadro 18.

Figura 28 - Modelo de Maré com quatro constituintes de FVL



Quadro 18 - Modelo de maré com quatro constituintes para FVL

ID. Constituinte	Coeficiente	Coeficiente	Velocidade	Amplitude	Fase
	Ai(m)	Bi(m)	wi°/h	Ri(m)	Fi°
Constituinte 1:	14,3630830	2,5404209	28,9841042	14,5860170	10°01'48,93"
Constituinte 2:	-4,7848529	-0,9043266	30,0000000	4,8695610	10°42'09,13"
Constituinte 3:	-9,5384874	-1,5730889	28,4397296	9,6673340	9°21'53,75"
Constituinte 4:	0,1745343	-0,0123130	15,0410686	0,1749680	-4°02'07,46"

Fonte: O Autor (2020).

4.3.4 Modelo de Maré para MOT

Na Figura 29, vê-se a comparação entre o modelo gerado e os dados brutos. Por fim, o modelo de maré com quatro constituintes atrelado ao vértice MOT tem seus parâmetros apresentados no Quadro 19. Ele foi gerado com base em 54 observações (Quadro 20) e teve um desvio padrão de 0,007 m.

Quadro 19 - Modelo de maré com quatro constituintes para MOT

ID. Constituinte	Coeficiente	Coeficiente	Velocidade	Amplitude	Fase
	Ai(m)	Bi(m)	wi°/h	Ri(m)	Fi°
Constituinte 1:	-20,8143084	-17,2568226	28,9841042	27,0376290	39°39'41,78"
Constituinte 2:	6,9024029	6,0131114	30,0000000	9,1542710	41°03'40,12"
Constituinte 3:	14,1134968	11,3109791	28,4397296	18,0867090	38°42'35,03"
Constituinte 4:	-0,2323495	0,1544925	15,0410686	0,2790240	-33°37'13,80"

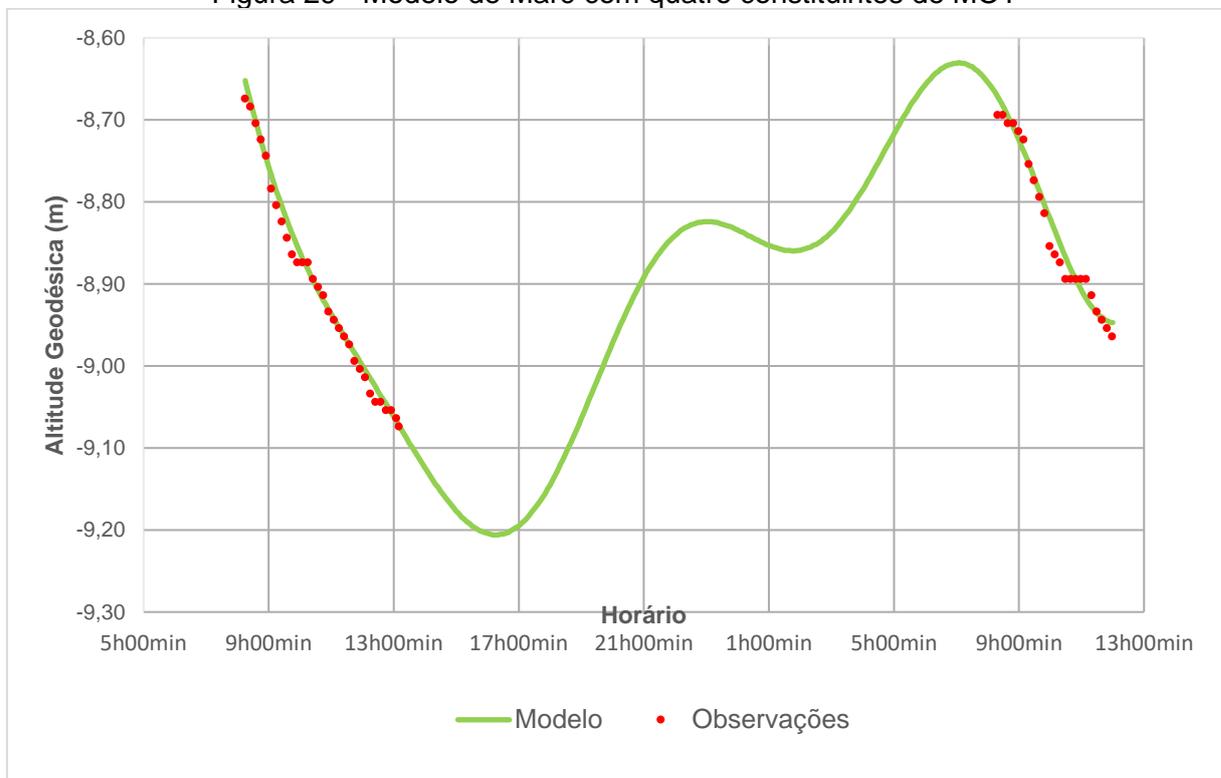
Fonte: O Autor (2020).

Quadro 20 - Dados de Nível d'Água para MOT

Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)	Data e Hora	Leitura (m)
19/09/2019 08:15	-8,674	19/09/2019 11:15	-8,954	20/09/2019 09:09	-8,724
19/09/2019 08:25	-8,684	19/09/2019 11:25	-8,964	20/09/2019 09:19	-8,754
19/09/2019 08:35	-8,704	19/09/2019 11:35	-8,974	20/09/2019 09:29	-8,774
19/09/2019 08:45	-8,724	19/09/2019 11:45	-8,994	20/09/2019 09:39	-8,794
19/09/2019 08:55	-8,744	19/09/2019 11:55	-9,004	20/09/2019 09:49	-8,814
19/09/2019 09:05	-8,784	19/09/2019 12:05	-9,014	20/09/2019 09:59	-8,854
19/09/2019 09:15	-8,804	19/09/2019 12:15	-9,034	20/09/2019 10:09	-8,864
19/09/2019 09:25	-8,824	19/09/2019 12:25	-9,044	20/09/2019 10:19	-8,874
19/09/2019 09:35	-8,844	19/09/2019 12:35	-9,044	20/09/2019 10:29	-8,894
19/09/2019 09:45	-8,864	19/09/2019 12:45	-9,054	20/09/2019 10:39	-8,894
19/09/2019 09:55	-8,874	19/09/2019 12:55	-9,054	20/09/2019 10:49	-8,894
19/09/2019 10:05	-8,874	19/09/2019 13:05	-9,064	20/09/2019 10:59	-8,894
19/09/2019 10:15	-8,874	19/09/2019 13:10	-9,074	20/09/2019 11:09	-8,894
19/09/2019 10:25	-8,894	20/09/2019 08:19	-8,694	20/09/2019 11:19	-8,914
19/09/2019 10:35	-8,904	20/09/2019 08:29	-8,694	20/09/2019 11:29	-8,934
19/09/2019 10:45	-8,914	20/09/2019 08:39	-8,704	20/09/2019 11:39	-8,944
19/09/2019 10:55	-8,934	20/09/2019 08:49	-8,704	20/09/2019 11:49	-8,954
19/09/2019 11:05	-8,944	20/09/2019 08:59	-8,714	20/09/2019 11:59	-8,964

Fonte: O Autor (2020).

Figura 29 - Modelo de Maré com quatro constituintes de MOT



Fonte: O Autor (2020).

4.3.5 Análises

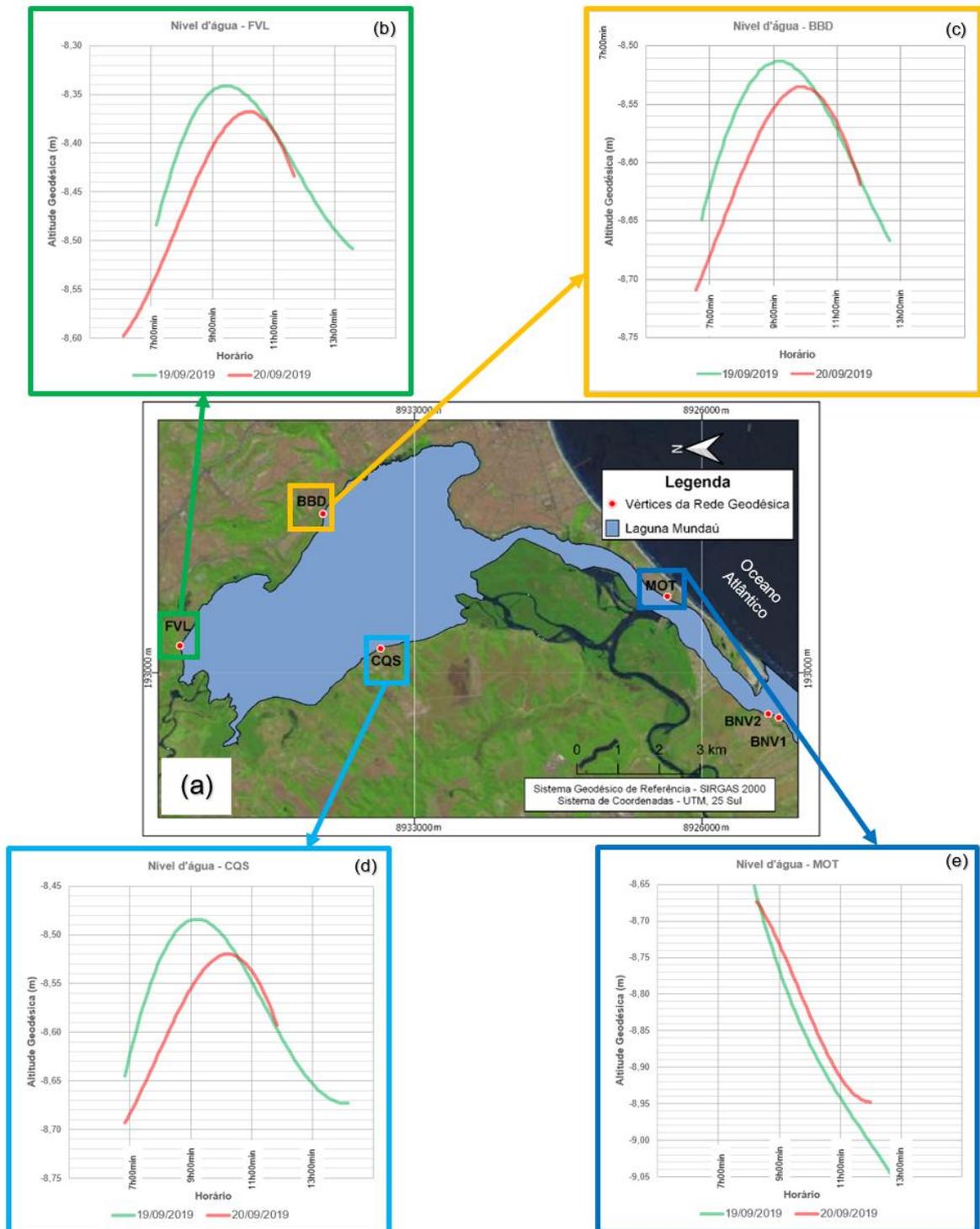
Com os modelos de comportamento do nível d'água para os quatro vértices, pôde-se analisar como a maré se comporta dentro da Laguna Mundaú. A Figura 30 mostra os gráficos para cada vértice e o mapa de localização deles.

No dia 19/09/2019, pode-se verificar que o maior valor para a altitude geodésica da maré no vértice FVL foi -8,341 m às 9h30min, enquanto para BBD registrou -8,484 m às 9h10min e CQS, -8,513 m às 9h09min. Então, verifica-se um retardo de cerca de 20 minutos para a oscilação da maré registrada em CQS ou BBD chegar em FVL. O modelo gerado para MOT para este intervalo de tempo não demonstrou pico.

No outro dia, 20/09/2019, há uma semelhança nesse retardo, ficando em 16 minutos de CQS para FVL, porém as leituras máximas foram inferiores à do dia anterior, sendo -8,535 m em CQS às 9h54min, -8,520 m em BBD às 10h10min e -8,368 m em FVL também às 10h10min. A diferença entre as máximas nos pontos, CQS e FVL, foi levemente menor no segundo dia (16,7 cm) em relação ao primeiro dia (17,2 cm).

Para o intervalo de tempo dos dados gerados, só foi possível verificar a mínima da onda de maré no vértice CQS no dia 19/09/2019, onde se verifica -8,673 m às 13h55min. Desta forma, a amplitude da onda de maré foi de 0,189 m. Os dados de maré do Porto de Maceió mostraram uma amplitude de maré de 1,400 m entre 6h19min (1,900 m) e 12h28min (0,500 m) no dia 19/09/2019. Então, há uma dissipação de energia entre o canal de entrada de água do mar na laguna até o seu reservatório.

Figura 30 - Dados de maré. (a) Mapa de localização dos vértices; (b) Gráfico do Nível d'água em FVL; (c) Gráfico do Nível d'água em BBD; (d) Gráfico do Nível d'água em CQS; (e) Gráfico do Nível d'água em MOT



Fonte: O Autor (2020).

4.4 MODELO DE CORREÇÃO DE MARÉ

Conforme mostrado na seção anterior, só foram criados modelos de maré para quatro pontos no entorno da Laguna Mundaú (BBD, CQS, FVL e MOT). Então, este tópico propõe dois modelos de correção de maré: um com três e outro com quatro vértices.

Com o processamento no *software* AstGeoTop, é possível saber a altitude do espelho d'água a partir dos dados lidos nas réguas limnimétricas. A comparação entre a altitude do ponto $P(\varphi, \lambda)$ gerado no *software* com o adquirido no processamento dos dados da embarcação (item 4.2.1) dá a qualidade do modelo gerado.

Como mostrado, foram levantados 37.312 pontos durante o levantamento batimétrico. Destes, 29.252 tem precisão igual ou superior a 5 cm na componente u. E estes foram os pontos utilizados para validação do modelo proposto para correção de maré.

4.4.1 Modelo de correção de Maré com três Vértices

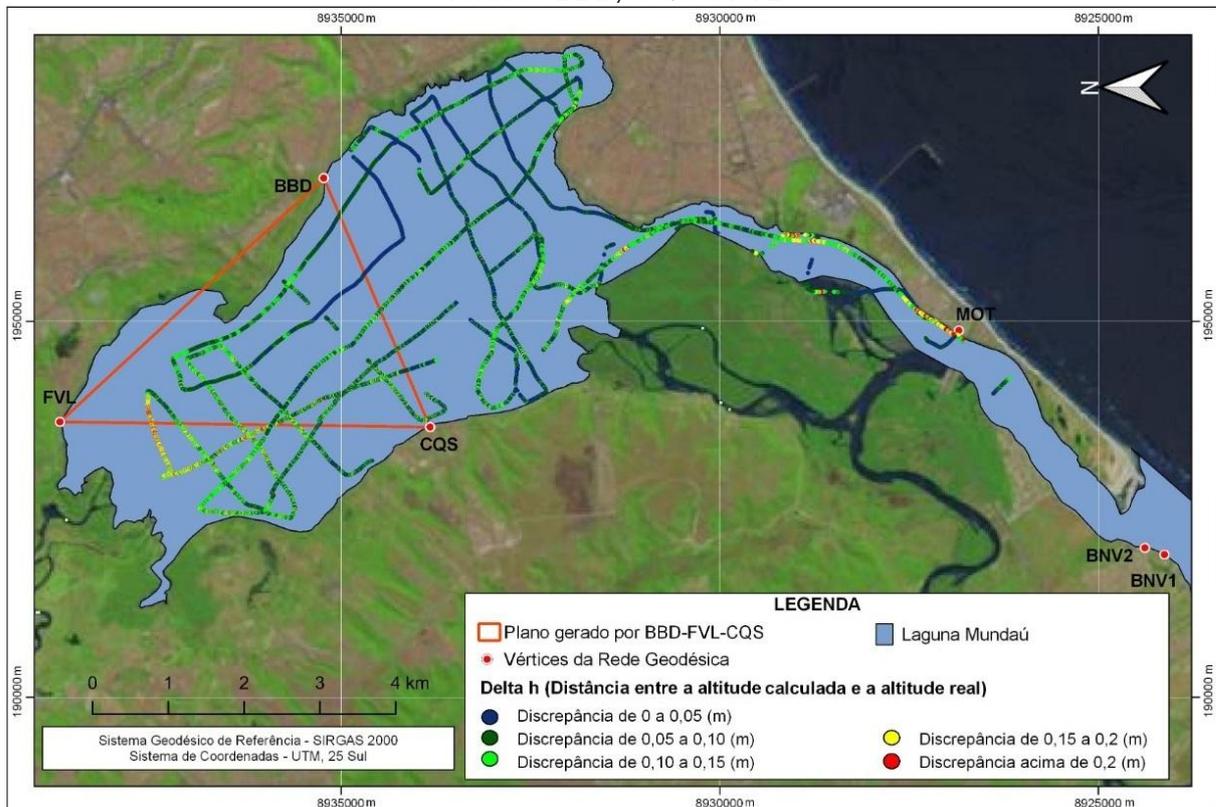
Este primeiro modelo foi gerado a partir dos dados dos vértices BBD, CQS e FVL e quando comparado aos dados da posição da embarcação no espelho d'água, tem-se que mais de 98% dos pontos tem precisão melhor que 20 cm.

Quando se é considerado apenas os pontos levantados que estão contidos no polígono formado pelos vértices BBD, CQS e FVL (6.876) em comparação com os vértices que estão fora do plano (22.376), vê-se uma pequena melhora na porcentagem dos pontos de precisão igual ou melhor que 20 cm (98,7% para 98,3%), porém há uma diferença maior para os vértices com desvio padrão menor ou igual a 5 cm (20,5% quando analisados apenas os vértices contidos no plano contra 31,5% dos vértices que estão fora). A Figura 31 mostra a distribuição da discrepância entre as altitudes geradas no modelo e os pontos levantados.

A Figura 31 mostra a distribuição espacial da precisão. Nela, pode-se ver que os vértices que estão mais ao Norte da Laguna Mundaú apresentam mais discrepância, assim como os da baía localizada à Sudeste, ambos fora do plano. Porém, quando analisados todos os dados em conjunto, não há uma diferença

significativa no padrão de discrepância para esses dois casos. Mostrando que para esse modelo analisando esse conjunto de dados, não há prejuízo em sua qualidade.

Figura 31 - Distribuição espacial da discrepância do modelo de correção de maré com os vértices BBD, CQS e FVL



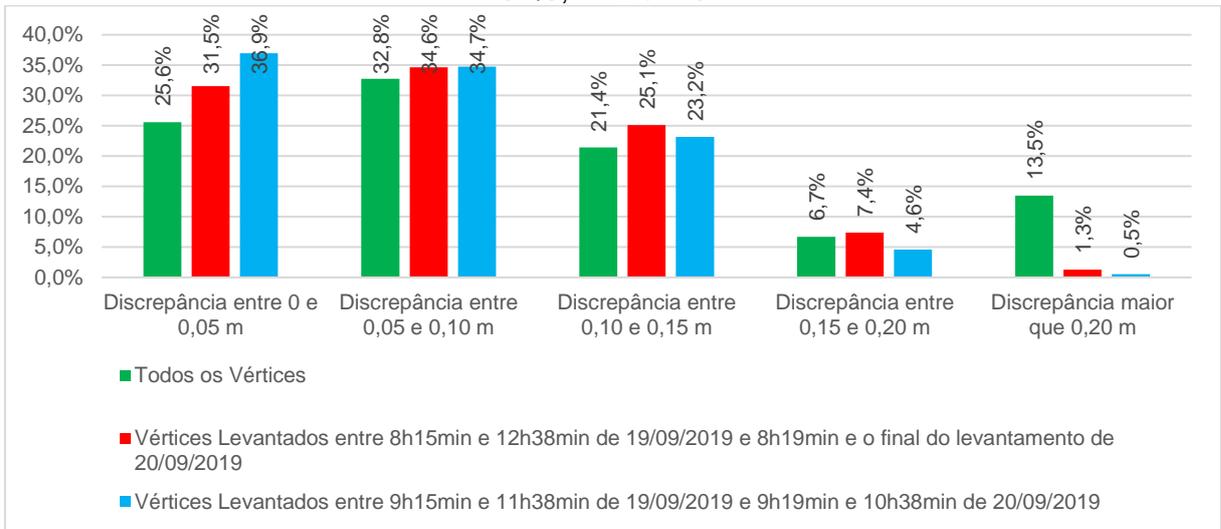
Fonte: O Autor (2020).

4.4.2 Modelo de correção de Maré com Quatro Vértices

Neste modelo, fornecido a partir dos dados de maré referentes aos vértices BBD, CQS, FVL e MOT. Foram realizadas três amostragens: a primeira considerando todos os vértices levantados; a segunda considerando apenas os vértices coletados a partir das 8h15min às 12h38min do dia 19/09/2019 e das 8h19min até o final do levantamento do dia 20/09/2019, pois é o intervalo onde foram coletados os dados de maré dos vértices (item 4.3, Figura 25); na terceira análise, foram considerados os vértices coletados das 9h15min às 11h38min do dia 19/09/2019 e das 9h19min até as 10h38min do dia 20/09/2019.

A Figura 32 mostra a discrepância para cada amostra de dados.

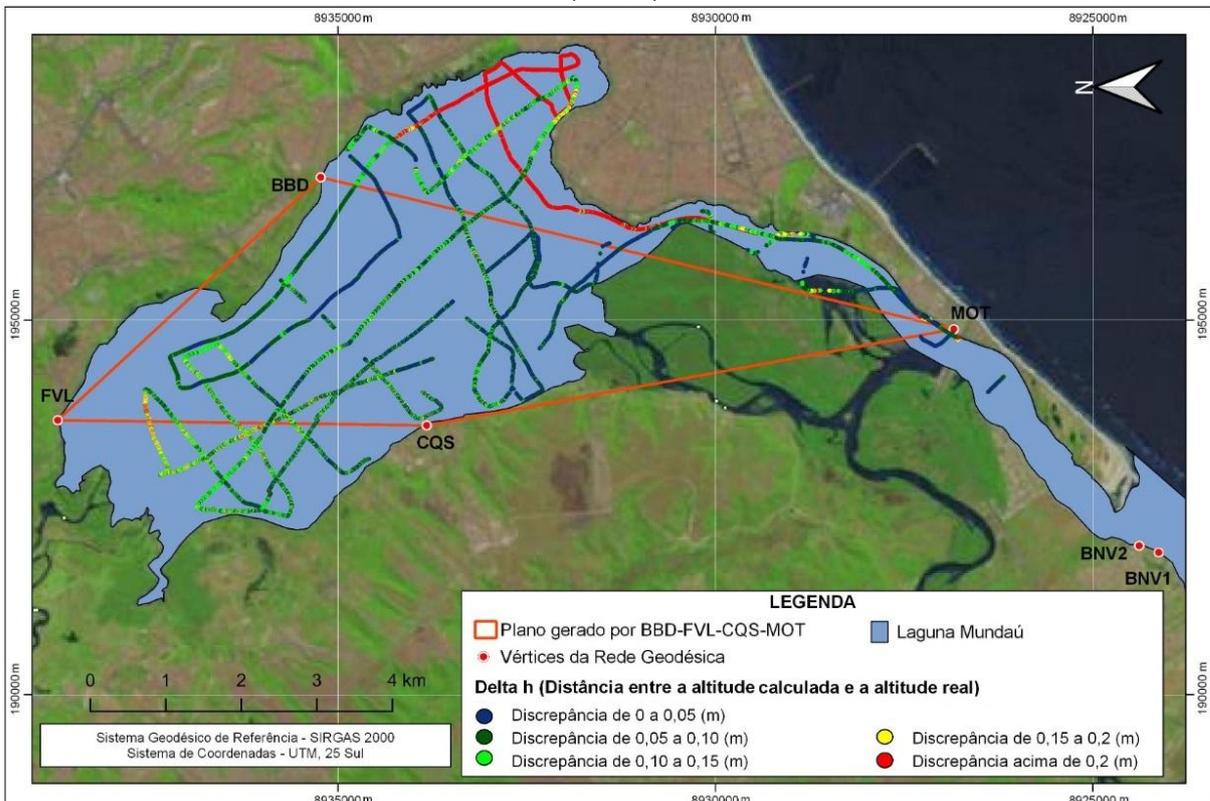
Figura 32 - Discrepância do modelo de correção de maré gerado com os vértices BBD, CQS, FVL e MOT



Fonte: O Autor (2020).

Observa-se que o modelo funciona melhor quando os dados do nível d'água são coletados durante o levantamento batimétrico. E quando se verifica a distribuição espacial dos dados (Figura 33), observa-se que os vértices que estão contidos no polígono formado por BBD, CQS, FVL e MOT tem menor discrepância.

Figura 33 - Distribuição espacial da precisão do modelo de correção de maré com os vértices BBD, CQS, FVL e MOT



Fonte: O Autor (2020).

Ainda analisando a imagem, observa-se que o modelo teve uma discrepância entre as altitudes do modelo com as determinadas na embarcação quando comparado com o modelo anterior com três vértices.

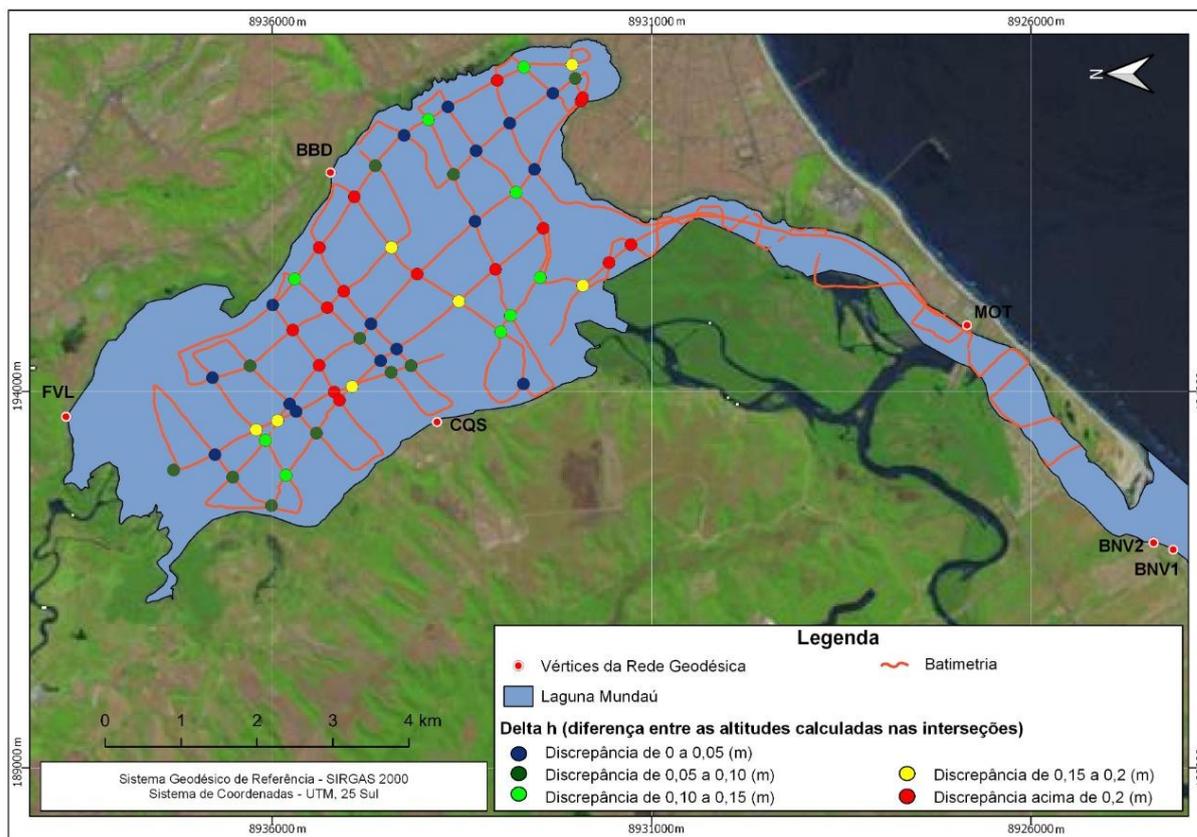
4.5 PRECISÃO DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

Nesta seção, foram utilizados todos os 37.312 pontos levantados. Foram identificadas 73 interseções em todo o levantamento, porém só as localizadas dentro do reservatório da Laguna Mundaú, 59, foram analisadas.

4.5.1 Altitude do Espelho d'Água definida pelos Dados do Processamento Cinemático em Rede

A Figura 34 mostra a distribuição espacial dos pontos de interseção classificados pela discrepância das altitudes calculadas entre as diferentes trajetórias.

Figura 34 - Precisão nas interseções a partir da altitude de fundo (GNSS)



Fonte: O Autor (2020).

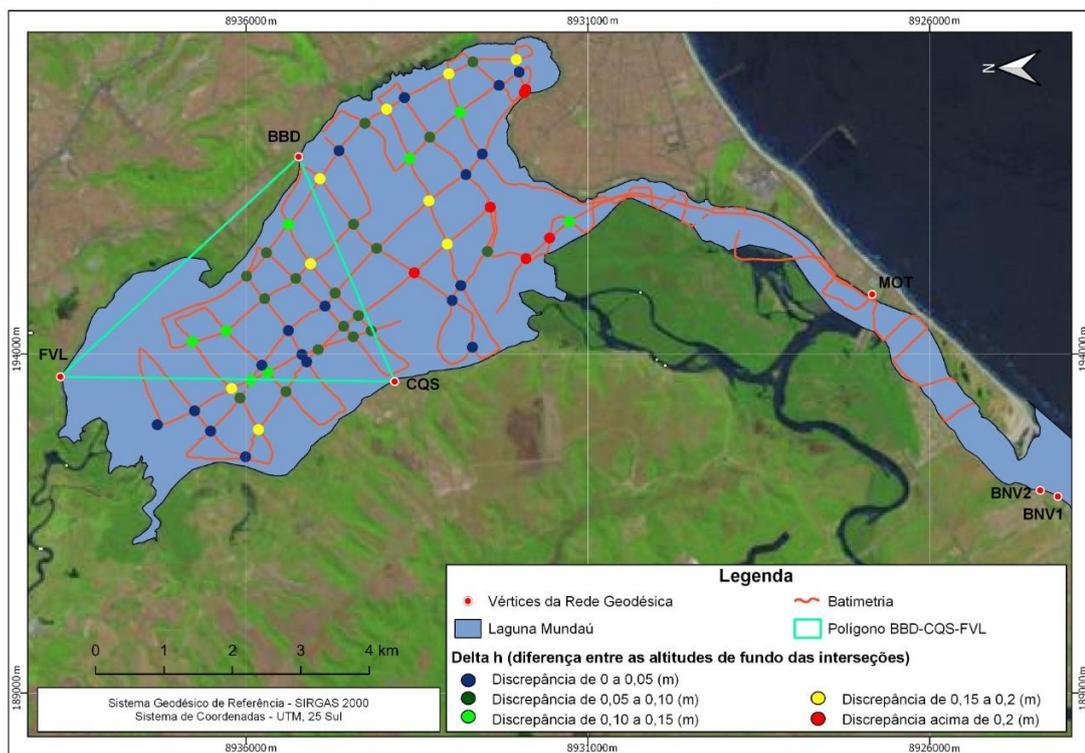
Para a altitude de fundo calculada a partir dos dados do processamento cinemático em rede, a precisão do levantamento batimétrico considerando para as 59 interseções foi de 0,162 m. Quando são analisadas apenas as 20 interseções dentro do plano BBD-CQS-FVL, verifica-se uma piora na precisão, 0,173 m. E o levantamento batimétrico atinge uma precisão de 0,168 m no trecho contido no plano BBD-CQS-FVL-MOT, onde há 31 interseções.

Essa piora na precisão para esses trechos do levantamento pode ter sido ocasionada pela precisão pior que 0,20 m na componente u para o processamento da posição da embarcação em alguns trechos contidos nessas subdivisões analisadas, conforme apresentado no item 4.2.1.

4.5.2 Altitude do Espelho d'Água definida pelo Modelo de Correção de Maré com Três Vértices

A Figura 35 traz a distribuição espacial dos pontos de interseção classificados pela discrepância das altitudes de fundo interpoladas a partir das diferentes trajetórias.

Figura 35 - Precisão nas interseções a partir da altitude de fundo (modelo de superfície a partir de BBD, CQS e FVL)



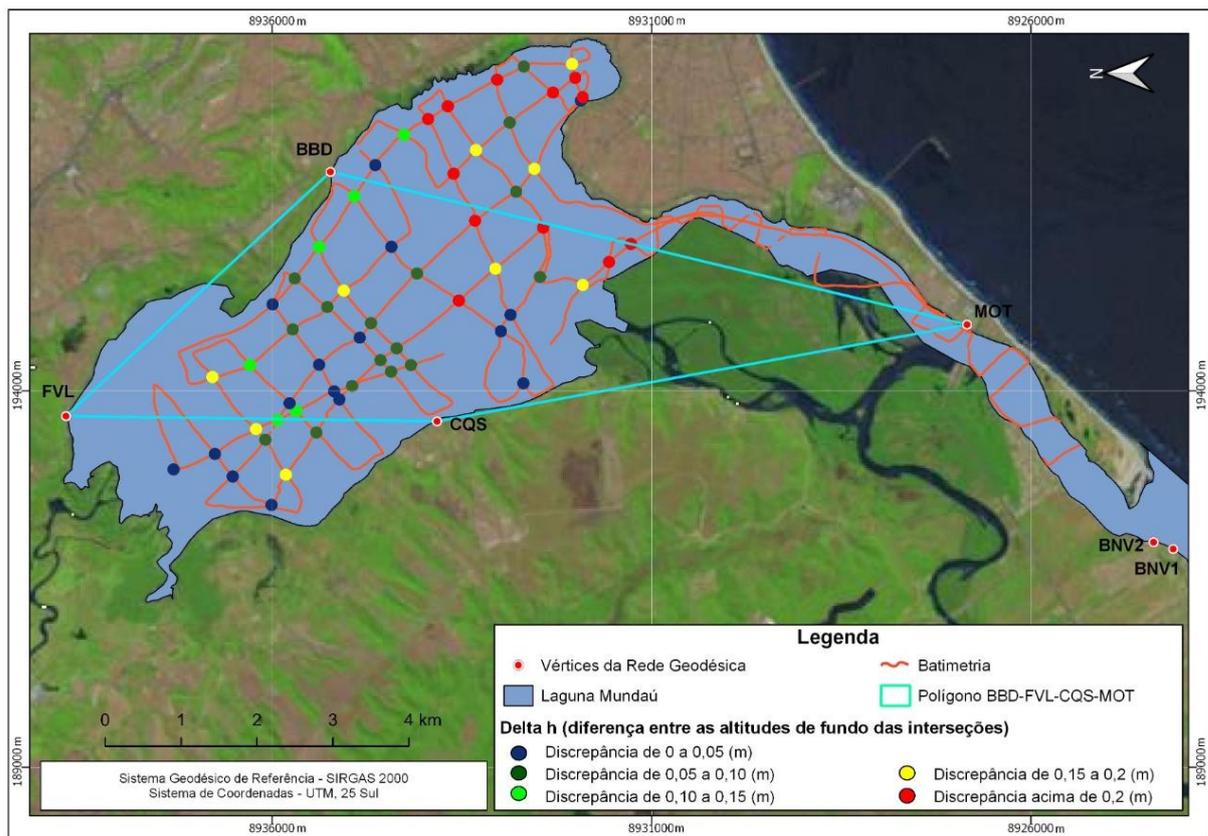
Fonte: O Autor (2020).

Utilizando o modelo de correção de maré apresentado no item 4.4.1, a precisão do levantamento batimétrico foi de 0,119 m. Restringindo esse levantamento para a região do plano BBD-CQS-FVL, a precisão fica em 0,041 m. Expandindo para as interseções contidas no plano BBD-CQS-FVL-MOT, tem-se uma precisão de 0,797 m.

4.5.3 Altitude do Espelho d'Água definida pelo Modelo de Correção de Maré com Quatro Vértices

A Figura 36 apresenta a distribuição espacial das interseções encontradas no levantamento batimétrico da Laguna Mundaú classificados pela discrepância das altitudes de fundo definidas tendo como base as diferentes trajetórias.

Figura 36 - Precisão nas interseções a partir da altitude de fundo (modelo de superfície a partir de BBD, CQS, FVL e MOT)



Fonte: O Autor (2020).

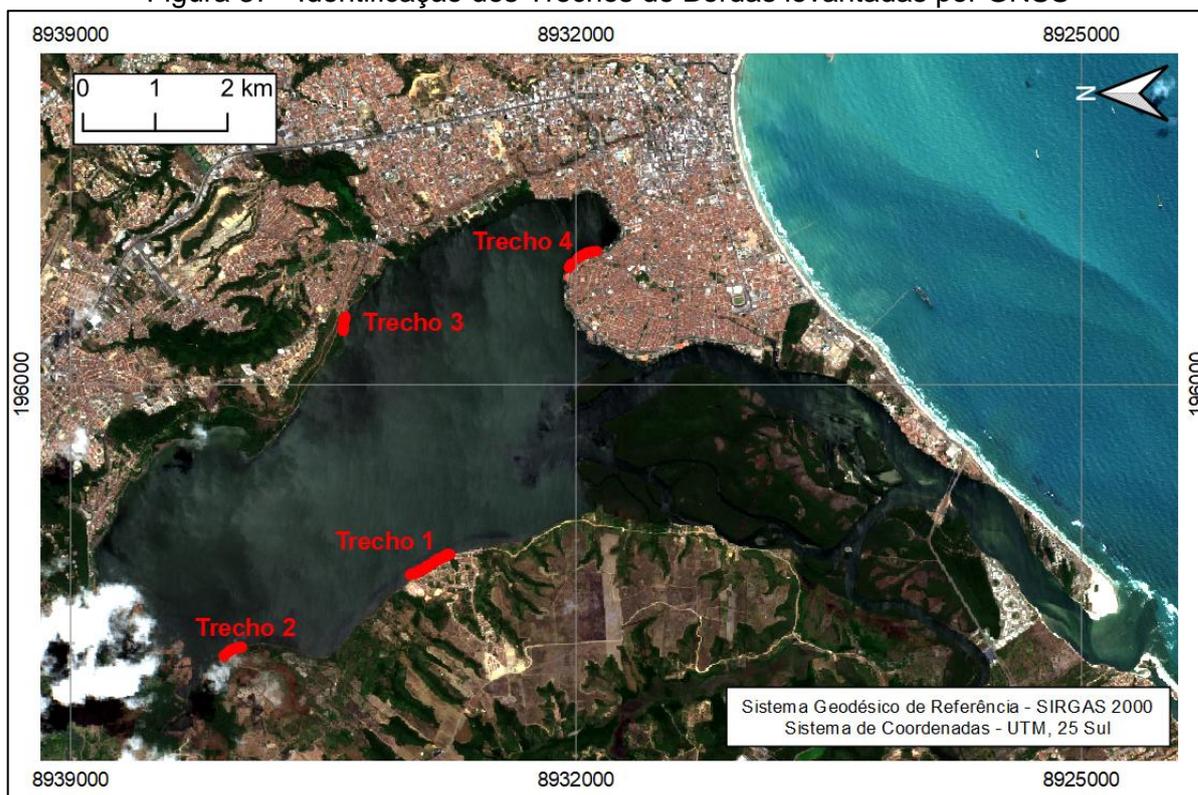
O item 4.4.2 mostra o modelo de correção de maré utilizado para calcular a altitude do espelho d'água no instante de coleta do dado para posteriormente definir

a altitude de fundo. Quando analisada as 59 interseções do levantamento batimétrico, tem-se uma precisão de 0,148 m. Porém quando é analisada a região entre os vértices BBD, CQS e FVL, o levantamento batimétrico nessa área tem precisão de 0,495 m. Por fim, analisando apenas as interseções contidas no plano BBD-CQS-FVL-MOT, a precisão é de 0,919 m.

4.6 DEFINIÇÃO DA BORDA DA LAGUNA MUNDAÚ

Nesta seção dos resultados, as análises foram separadas pelo trecho do levantamento GNSS RTK da borda da Laguna Mundaú, cuja denominação é apresentada na Figura 37.

Figura 37 - Identificação dos Trechos de Bordas levantadas por GNSS

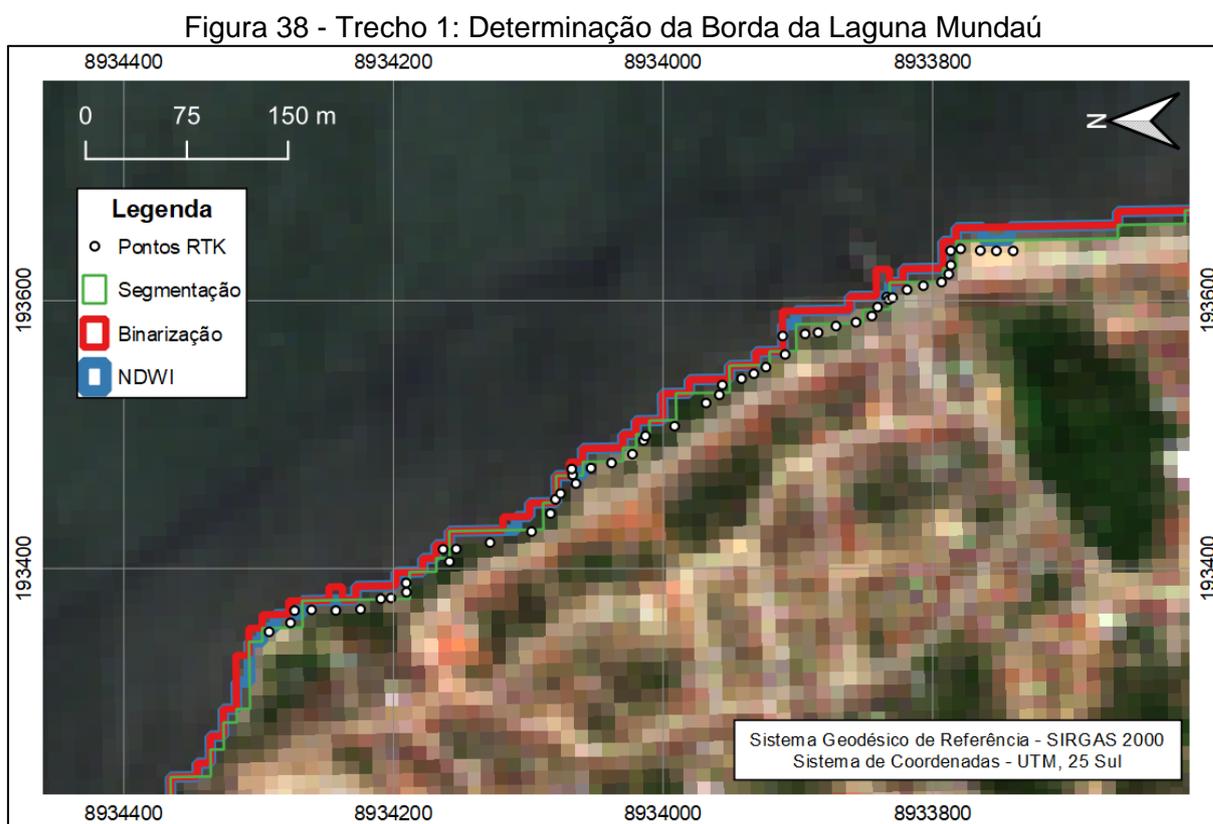


Fonte: O Autor (2020).

Como fora apresentado, lagunas tem influência do mar, que influencia o seu nível d'água. Por isso, a borda da laguna pode ser alterada a depender do horário do levantamento devido às condições de maré. De acordo com o marégrafo da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL), localizado no píer de Coqueiro Seco, o nível d'água no horário da imagem, 12h43min, foi de aproximadamente 330 mm.

4.6.1 Trecho 1

Esse trecho, com cerca de 700 metros, foi levantado no dia 27/02/2020 das 13h27min às 14h08min com um total de 54 pontos. Com base nas informações do mesmo marégrafo da SEMARH, o nível d'água médio do levantamento foi de aproximadamente 365 mm. A Figura 38 mostra a distribuição espacial dos vértices e as técnicas de detecção de borda.



Fonte: O Autor (2020).

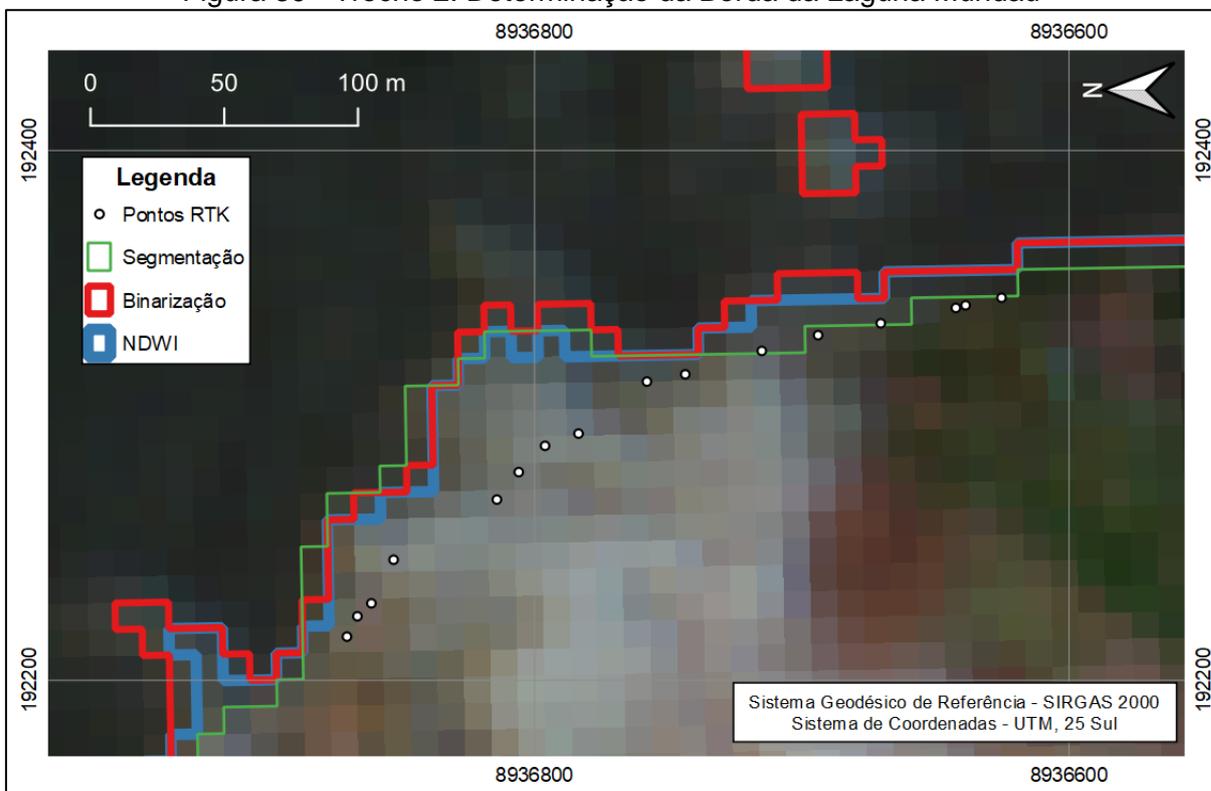
Observa-se que para esse trecho, a borda determinada a partir da segmentação obteve melhor resultado, com um afastamento médio de 2,05 m, frente a 10,60 m, NDWI, e 13,32 m, binarização.

4.6.2 Trecho 2

O segundo trecho, localizado na cidade de Santa Luzia do Norte, próximo com a divisa com a cidade de Coqueiro Seco, foi levantado entre às 16h00min e 16h15min do dia 27/02/2020. O marégrafo do píer de Coqueiro Seco registrou 324

mm. A Figura 39 mostra o resultado do levantamento GNSS RTK e as bordas determinadas por técnicas de sensoriamento remoto.

Figura 39 - Trecho 2: Determinação da Borda da Laguna Mundaú



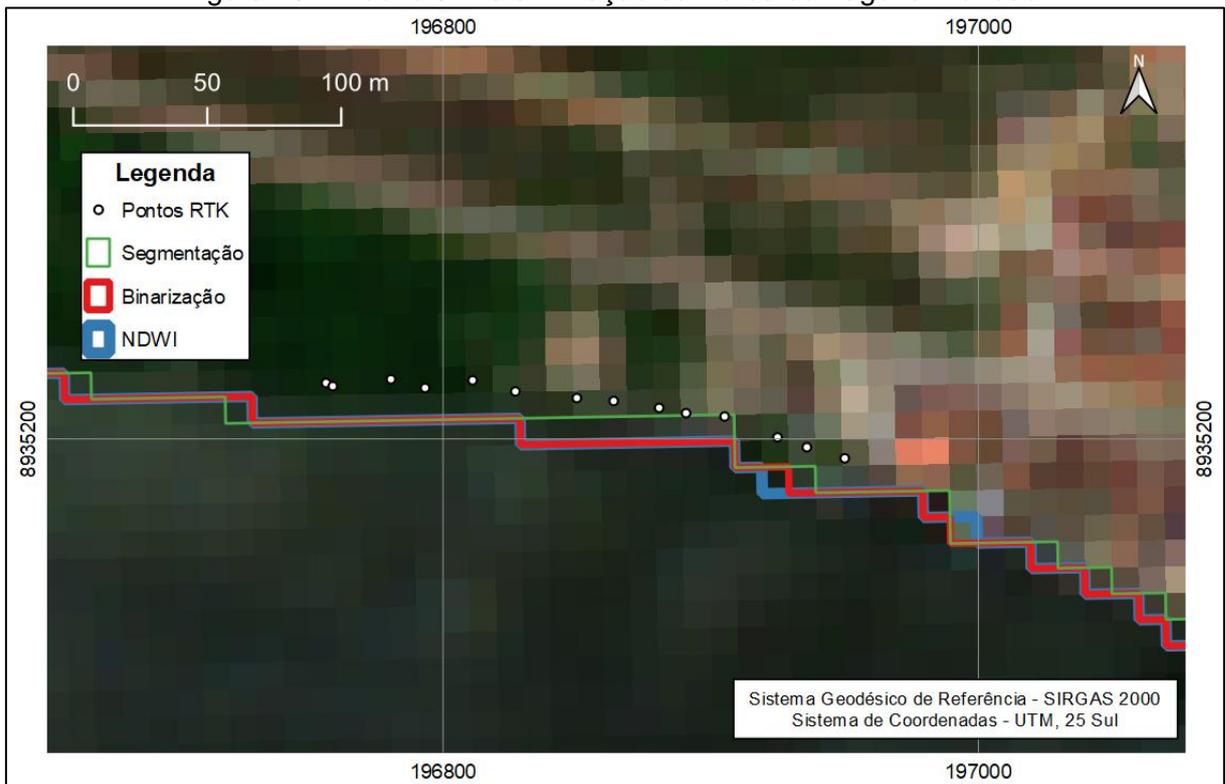
Fonte: O Autor (2020).

Esse trecho da imagem tem uma nuvem próxima a borda, então, só foram utilizados os vértices que estão fora desta nuvem na comparação. Então, dos 16 pontos da borda determinados por GNSS RTK, apenas seis foram aproveitados. O deslocamento médio nesse trecho para as técnicas de segmentação da imagem, NDWI e binarização foram, respectivamente, 1,63 m, 13,29 m e 14,96 m.

4.6.3 Trecho 3

Esse trecho analisado está localizado no bairro de Bebedouro, na cidade de Maceió. Os dados GNSS RTK foram levantados entre 8h50min e 9h10min de 29/02/2020. A leitura média do marégrafo no píer de Coqueiro Seco foi de aproximadamente 450 mm. A Figura 40 mostra o resultado deste levantamento comparados com as bordas das técnicas de sensoriamento remoto.

Figura 40 - Trecho 3: Determinação da Borda da Laguna Mundaú



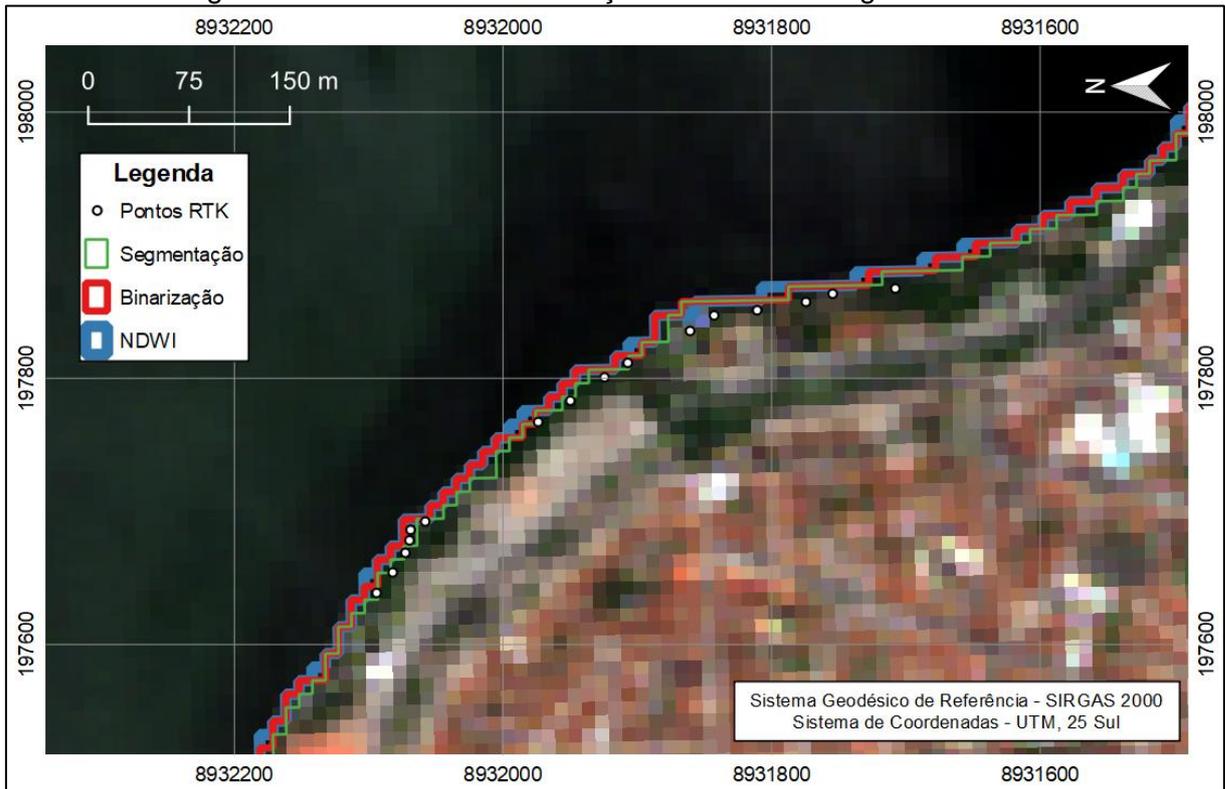
Fonte: O Autor (2020).

Nesse trecho, os 14 vértices do GNSS têm um aparente afastamento ao Norte o que pode ser ocasionado por diferente nível de maré entre a época do levantamento *in loco* da borda e a época de aquisição da imagem. A melhor técnica, segmentação de imagem, teve um deslocamento médio de 9,17 m. As outras tiveram 14,13 m, NDWI, e 13,41 m, binarização.

4.6.4 Trecho 4

O trabalho de campo deste último trecho, localizado no bairro do Vergel do Lago, em Maceió, foi realizado no dia 29/02/2020 com início às 7h40min e durou cerca de 20 minutos para ser completado. O marégrafo localizado no píer de Coqueiro Seco, que serviu de comparação do nível d'água entre a época de aquisição da imagem e a época do levantamento registrou uma média de 410 mm. A Figura 41 mostra a comparação da distribuição espacial dos vértices determinados por GNSS RTK para a borda da Laguna Mundaú nesse trecho e as bordas definidas com técnicas de sensoriamento remoto.

Figura 41 - Trecho 4: Determinação da Borda da Laguna Mundaú



Fonte: O Autor (2020).

A técnica que melhor se adequou a esse trecho de borda levantado foi a de segmentação de imagem, com um deslocamento de 5,00 m. As outras duas técnicas, binarização e NDWI, obtiveram o mesmo resultado, 10,32 m de afastamento médio.

4.6.5 Borda Selecionada

A técnica de sensoriamento remoto por segmentação de imagem demonstrou o melhor resultado, ou seja, o menor afastamento médio dos vértices levantados por GNSS RTK, menor inclusive que um pixel (10 m). Os pontos que compõem o seu limite foram extraídos para determinação da sua altitude a partir do modelo de superfície demonstrado no item 4.4.1. A Figura 42 mostra toda a borda extraída.

Figura 42 - Determinação da Borda da Laguna Mundaú



Fonte: O Autor (2020).

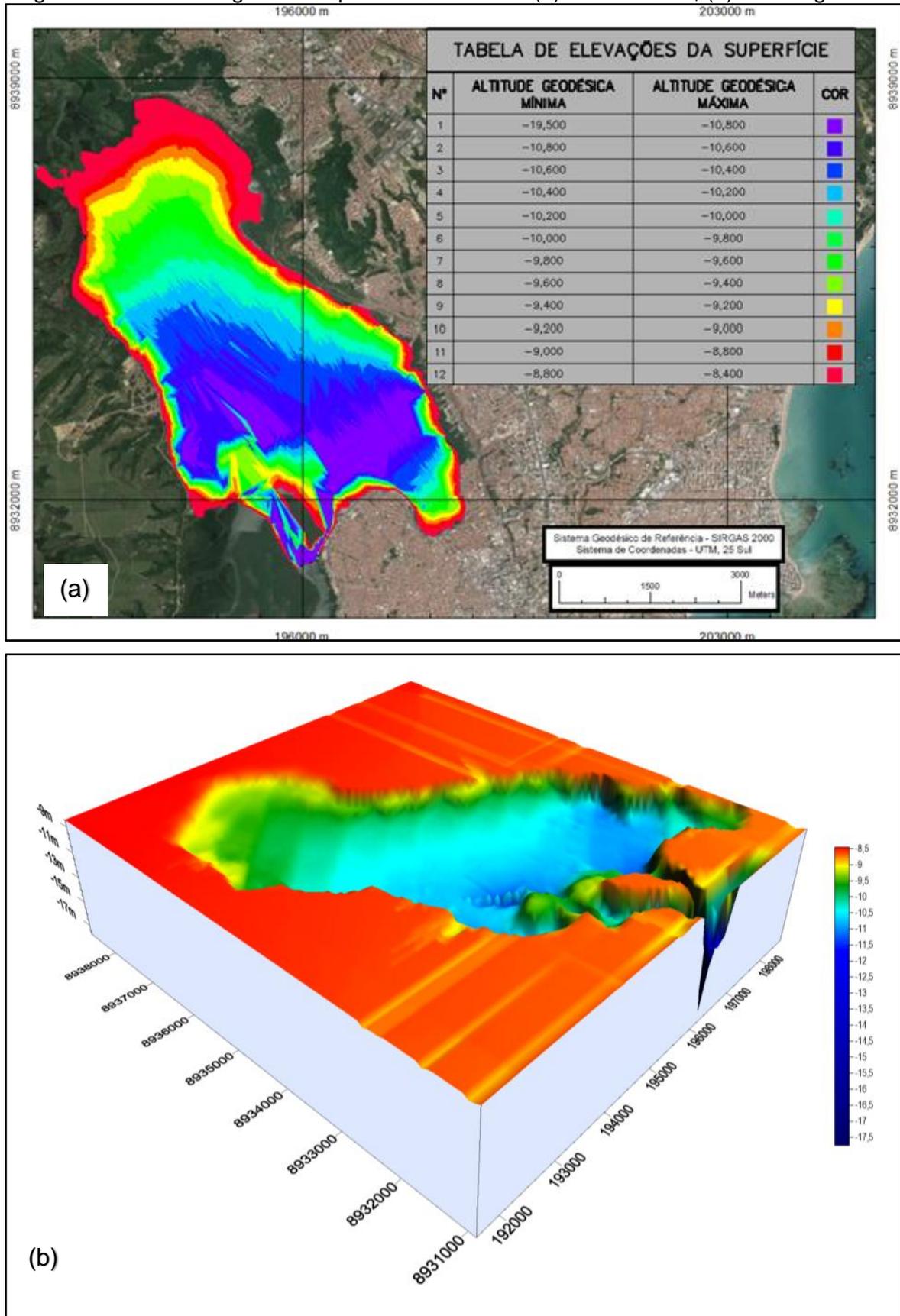
4.7 MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE SUBMERSA

Por fim, gerou-se o modelo digital de superfície submersa para a Laguna Mundaú utilizando os vértices levantados por GNSS com dados da embarcação, cujas altitudes da superfície da água foram determinadas utilizando um modelo de correção dos efeitos de maré com leituras em régua limnimétrica vinculadas aos vértices BBD, CQS e FVL, e profundidade determinada pelo ecobatímetro.

Como não foi possível alcançar a borda com a embarcação utilizada por ser rasa e o equipamento permitir uma leitura mínima de 0,30 m, os vértices descritos anteriormente foram interpolados com os pontos da borda da laguna extraídos por técnica de segmentação de imagem de sensoriamento remoto, cujas altitudes também foram determinadas pelo mesmo modelo de correção dos efeitos de maré.

O resultado desta interpolação por krigagem está representado na Figura 43.

Figura 43 - Modelo Digital de Superfície Submersa. (a) Planta Baixa; (b) Modelagem 3D



Fonte: O Autor (2020).

4.8 RESUMO DA METODOLOGIA

Primeiramente, deve-se fazer o reconhecimento da área de estudo para implantação dos vértices que servirão de base para o levantamento batimétrico. Preferencialmente, implantar vértices que cerquem a região a ser levantada. E determinar as coordenadas tridimensionais destes vértices a partir de levantamento GNSS. No caso da Laguna Mundaú, pode-se aproveitar os vértices já implantados.

A segunda etapa consiste em instalar medidores de nível d'água em locais variados objetivando uma maior distribuição e vincular essas leituras à mesma superfície de referência. Para esta dissertação foram instaladas réguas limnimétricas para leitura do nível d'água utilizando o elipsoide como superfície de referência, ou seja, foi determinada a altitude geodésica do nível d'água.

Dando sequência, realizar o levantamento batimétrico com integração GNSS/ecobatímetro e leituras do nível d'água no máximo de locais possível a cada quinze minutos ou menos. Estas leituras devem iniciar pelo menos trinta minutos antes do levantamento batimétrico e finalizar pelo menos trinta minutos após o término do levantamento. Neste trabalho, o intervalo de leitura foi de 10 minutos, mas nem em todos os locais de leitura do nível d'água foi possível iniciar trinta minutos antes e finalizar trinta minutos depois.

Posteriormente, determinar as coordenadas finais (latitude e longitude) dos vértices levantados e a época de observação. Também, definir os modelos de maré que melhor se adequam ao conjunto de dados de nível d'água. Para esta dissertação, a posição da embarcação foi determinada por levantamento relativo cinemático e foi escolhido o modelo de maré de quatro constituintes.

Depois, determinar por sensoriamento remoto a borda da área de interesse e extrair a lista de pontos desta borda. Esta etapa pode ser realizada a qualquer momento. Preferencialmente, utilizar várias técnicas e realizar uma análise estatística para determinar qual delas mais bem se adequa à sua área. No caso, foram realizadas medições *in loco* para comparar algumas técnicas com esses trechos levantados.

Feito isto, calcular a altitude do nível d'água para os pontos, tanto os da borda quanto os do levantamento, a partir do modelo de correção de maré. Com estes dados e com os dados de profundidade, determinar a altitude de fundo. Daí, gerar os modelos de superfície e extrair as informações que forem necessárias.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados nesta dissertação mostraram uma metodologia para levantamentos batimétricos que visam o monitoramento de fundo da Laguna Mundaú. Os marcos implantados que compõem a rede geodésica de apoio a estes levantamentos ofereceram maior precisão no processamento no *software* TopCon Tools e precisão tridimensional das coordenadas finais melhor que 1 cm. Dessa forma, os marcos podem servir para levantamentos futuros como vértices de apoio.

Na sequência, o levantamento batimétrico realizado nos dias 19 e 20/09/2019 coletou um total de 37.112 pontos após o processamento relativo cinemático em rede. Destes, 29.252 pontos tinham precisão melhor que 5 cm na componente da vertical e poderiam ser utilizados para validação de modelos de correção de maré.

O primeiro modelo de correção de maré, com os dados de maré dos vértices BBD, CQS e FVL, quando comparado com os dados levantados de precisão superior a 5 cm na componente vertical, apresentou uma discrepância inferior a 20 cm em mais de 98% dos vértices. E quando utilizado como referência para determinação da altitude de fundo da Laguna Mundaú, apresentou precisão no levantamento de 11,9 cm.

O segundo modelo proposto para correção dos efeitos de maré, com observações feitas nos vértices BBD, CQS, FVL e MOT, atingiu uma precisão global de 14,8 cm. Mais de 85% dos vértices deste modelo tiveram discrepância igual ou inferior a 20 cm quando comparados aos vértices levantados com precisão melhor que 5 cm.

Ainda neste segundo modelo, se segregados os 21.235 vértices que foram levantados durante a coleta de dados de maré nos vértices do modelo, tem-se que mais de 98% discrepam menos que 20 cm. Então, é importante que a coleta dos dados de maré nos vértices de controle ocorra por pelo menos durante todo o período do levantamento, inclusive recomenda-se iniciar duas horas antes da batimetria.

Adicionalmente, a precisão do levantamento batimétrico de toda a área considerando os dados de posição da embarcação para definir a altitude do espelho d'água foi de 16,2 cm. Enquanto que na utilização do primeiro modelo com três vértices, essa precisão foi de 11,9 cm, e 14,8 cm para o modelo com quatro vértices.

Na mesma linha, se o levantamento for limitado ao polígono formado entre os vértices BBD, CQS, FVL e MOT, a precisão quando se utiliza os dados processados da embarcação é de 16,8 cm, se mantendo quase constante quando comparada a todo o levantamento. Para o modelo com três vértices e com quatro vértices, as precisões são de, respectivamente, 8,0 cm e 9,2 cm.

Dando sequência, quando restringe os vértices aos contidos no polígono formado por BBD, CQS e FVL, pontos utilizados para geração do primeiro modelo, a precisão da batimetria é de 17,3 cm utilizando como altitude do espelho d'água os dados processados da embarcação. E há uma melhora para os modelos de correção do efeito da maré, sendo 4,1 cm para o modelo com três vértices e 4,9 cm, com quatro vértices. Dessa forma, recomenda-se que os vértices de controle para geração dos modelos de correção dos efeitos de maré formem um polígono entre eles que abranja a maior parte da área de interesse.

Após as análises de técnicas de extração de borda, utilizando como comparação o levantamento RTK das bordas realizado em campo, teve-se grande dificuldade no levantamento da área total da laguna e optou-se por selecionar alguns trechos. Ainda, o levantamento foi realizado antes da definição das técnicas a serem empregadas além da utilização de uma imagem antiga. Para futuros trabalhos, é aconselhável utilizar uma imagem mais recente, se possível com resolução espacial menor que 10 m, realizar um pré-processamento e selecionar áreas onde o espaçamento entre as técnicas empregadas seja visível.

Por fim, em levantamento futuros, realizar o planejamento das seções a serem seguidas e quando o ecobatímetro não for capaz de medir a profundidade, utilizar técnicas clássicas de levantamento topográfico para a medição desse trecho.

REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Obras e gestão de portos e costas**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- ALVES, Sergio da Conceição. **Investigação da variação volumétrica de reservatório de abastecimento de água mediante o emprego de diferentes espaçamentos entre as linhas regulares de sondagem**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano de ações e gestão integrada do complexo estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba**. Brasília: ANA, 2006. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/celmm/CELMM-ApresentacaoANA06mar06.pdf>. Acesso em: 18 out. 2017.
- ANA. **Orientações para atualização das curvas cota x área x volume**. Brasil, 2013.
- ASPRS. **Interim Accuracy Standards for Large-Scale Maps**. 1989. Disponível em: http://www.asprs.org/publications/pers/scans/1989journal/jul/1989_jul_1038-1040.pdf. Acesso em: 02 ago. 2011.
- AZEVEDO, Débora A. et al. **Triazines in the tropical lagoon system of Mundaú-Manguaba, NE-Brazil**. *Journal of Brazilian Chemical Society*, v. 21, n. 6, p. 1096-1105, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Código das Águas**. Brasília, 1934.
- BRASIL. **Decreto nº 9.310, de 15 de março de 2018. Institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à regularização fundiária urbana e estabelece os procedimentos para a avaliação e a alienação dos imóveis da União**. 2018.
- COELHO, A. L. **Método de previsão de maré oceânica, utilizando análise harmônica em séries de 18,69 anos**. Dissertação de mestrado, programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Campinas/SP, 2016. 113 f.
- CPRM. **Serviço Geológico do Brasil. Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL)**. Vol. I e II. Rio de Janeiro, 2019.
- SG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Norma da Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV DEFESA FT)**. Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia. Brasília/DF, 1. ed., v. 1, 2015.
- NORMAM - 25 (DHN), D. de H. e N. **Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos - Normam 25**. 2. rev., 2017.

- DUARTE, A. A. L. S. **Influência da hidrodinâmica em sistemas estuarinos sujeitos a eutrofização**. Tese de doutorado, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2005.
- DYER, K. R. **Estuaries: A Physical Introduction**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- FERREIRA, I. O. et al. **In Bathymetric Surfaces: IDW or Kriging**. *Bulletin of Geodetic Sciences*, v. 23, n. 3, p. 493-508, 2017.
- GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop. Software**. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2020.
- EMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. 1. ed. Curitiba: Editora UFPR, 1999.
- GUIMARÃES JR, Sinval Autran Mendes et al. **Impactos do uso da terra no complexo estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba - CELMM, Alagoas, Brasil**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 abr. a 05 maio 2011, INPE, p. 6917.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 13 fev. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução nº 1/2005 - Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2005.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução PR nº 22 Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. 2008.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Coordenação de Cartografia. **Acesso e uso de dados espaciais**. Rio de Janeiro, 2019.
- IHO. **Manual on Hydrography**. 1. ed. Monaco: The International Hydrographic Bureau, 2005.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Brasília, 2013.
- JOHANNESON, K. A. E.; MITSON, R. 6. **Fisheries acoustics: a practical manual for aquatic biomass estimation**. FAO Fish. Tech. 1983.
- KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin: de Gruyter, 1988.
- KRUEGER, C. P. **Integração do GPS e da ecobatimetria**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 5, p. 55–68, 1999.

- KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. Tese (Doutorado em Geodésia). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
- KRUEGER, C. P.; VEIGA, L. A. K.; FAGGIN, P. L. **Levantamento batimétrico no Rio Uruguai**. Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte/MG, 2003.
- McCORMAC, Jack C. **Topografia**. Rio de Janeiro: Editora LTC (Livros Técnicos e Científicos), 2007.
- MERCHANT, D. C. **Spatial accuracy standards for large scale line maps**. In: American Congress on Surveying and Mapping. USA – Denver/CO, 1982. p. 222-231.
- MESQUITA, S. M. P. **Modelação da distribuição espacial da qualidade do ar em Lisboa usando sistemas de informação geográficas**. Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.
- MIGUENS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte: navegação costeira, estimada e em águas restritas**. v. 1, p. 227–274, 2005.
- MIRANDA, Luiz Bruner de et al. **Princípios de oceanografia física de estuários**. [S.l.: s.n.], 2002.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo, 2008.
- NAKAO, L. T. H.; KRUEGER, C. P. **Análise dos métodos de posicionamento e dos parâmetros definidores da qualidade de um levantamento batimétrico**. *Bulletin of Geodetic Sciences*, v. 23, n. 3, p. 419-433, 2017. doi: 10.1590/S1982-21702017000300028.
- NICHOLS, M. M.; BIGGS, R. B. **Estuaries**. In: DAVIS, R. A. (Ed.). *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer, 1985.
- NUNES, Almir et al. **Morphological modeling of long-term inlet channel evolution with an application to the Mundaú Lagoon inlet, Brazil**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 235, 2020.
- NORMANDE, E. **Meio ambiente estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba**. In: NORMANDE, E. *Apoio à proteção ambiental em Alagoas: uma experiência de cooperação técnica*. Maceió: Secretaria de Planejamento, Instituto do Meio Ambiente de Alagoas; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, 2000. Cap. 02, p. 29-53.
- POPIELARCZYK, Dariusz; TEMPLIN, Tomasz; LOPATA, Michal. **Using the geodetic and hydroacoustic measurements to investigate the bathymetric and**

morphometric parameters of Lake Hańcza (Poland). *Open Geosciences*, v. 7, p. 854-869, 2015.

SCHUMAN, E. H.; LARGIER, J. L.; SLINGER, J. H. **Estuarine hydrodynamics.** In: B. R. & BAIRD, D. (Eds.). *Estuaries of South Africa*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

SILVA, Irineu; SEGANTINE. **Topografia para Engenharia: teoria e prática de geomática.** Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, G. N.; SOUZA, A. V.; PIMENTEL, V. B. **Zoneamento de maré.** *Anais Hidrográficos*, v. 71, p. 108-124, 2014.

STEACY, D. **Understanding Tides.** NOAA Special Publication, 2006.

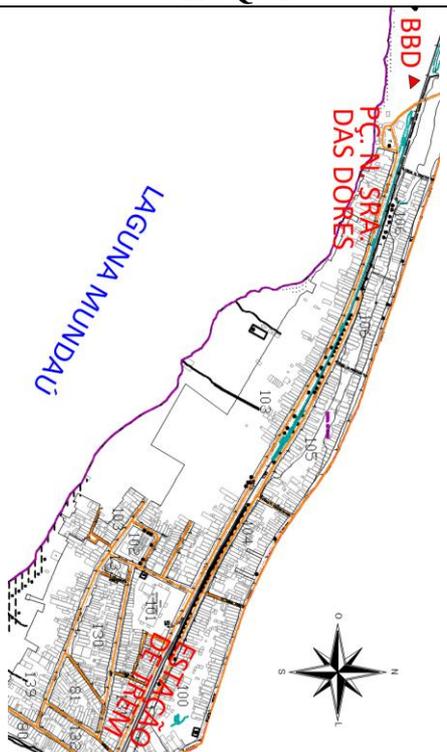
WANDERLEY, Alinne Diana Pinho et al. **Complexo estuarino lagunar Mundaú-Manguaba: caracterização da matéria orgânica natural e interação com íons Hg²⁺.** *Quim. Nova*, v. XY, n. 00, p. 1-6, 2020.

APÊNDICE A – MONOGRAFIA DE MARCO

IDENTIFICAÇÃO	LOCAL	DATA DE OCUPAÇÃO
BBD	Bebedouro, Maceió/AL	09 de junho de 2019

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS (SIRGAS2000)		
Coordenadas Geodésicas		
$\varphi = S9^{\circ}37'16,84212''$	$\lambda = W35^{\circ}45'40,99802''$	$h = -7,011 \text{ m}$
Coordenadas UTM (Fuso: 25)		
$N = 8.935.231,033 \text{ m}$	$E = 196.908,895 \text{ m}$	$h = 128,675 \text{ m}$
Desvio Padrão		
$\sigma_N = 0,006 \text{ m}$	$\sigma_E = 0,005 \text{ m}$	$\sigma_H = 0,015 \text{ m}$

INFORMAÇÕES
Localização
Bairro de Bebedouro, próximo à Praça Nossa Senhora das Dores.
Descrição
Marco de concreto no formato de tronco de pirâmide de topo e base quadrangulares de 12 e 15 cm, respectivamente, e 1000 cm de altura implantado com 15 cm para fora do solo, pintado em vermelho.
Itinerário
Partir da estação ferroviária de Bebedouro, segue no sentido Oeste. Após a Praça Nossa Senhora das Dores, o marco estará posicionado no estacionamento à beira da Laguna Mundaú.
Observação
Esse marco faz parte da rede geodésica de monitoramento da Laguna Mundaú junto com CQS, FVL, MOT, BNV1 e BNV2.

FOTO	CROQUI
	

APÊNDICE B – MONOGRAFIA DE MARCO

IDENTIFICAÇÃO	LOCAL	DATA DE OCUPAÇÃO
BNV2	Marechal Deodoro/AL	19 de setembro de 2019

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS (SIRGAS2000)		
Coordenadas Geodésicas		
$\varphi = S9^{\circ}43'08,28238''$	$\lambda = W35^{\circ}48'25,16137''$	$h = -6,649 \text{ m}$
Coordenadas UTM (Fuso: 25)		
$N = 8924384,749 \text{ m}$	$E = 191988,936 \text{ m}$	$h = -6,649 \text{ m}$
Desvio Padrão		
$\sigma_N = 0,007 \text{ m}$	$\sigma_E = 0,007 \text{ m}$	$\sigma_H = 0,008 \text{ m}$

INFORMAÇÕES
Localização
Na praça do píer de Coqueiro Seco/AL.
Descrição
Pino de aço pintado em vermelho localizado no muro de concreto.
Itinerário
Segue direto na rua sem saída Rua Padre Cícero até a praia, o pino está fincado do lado esquerdo num muro de arrimo.
Observação
Esse marco faz parte da rede geodésica de monitoramento da Laguna Mundaú junto com BBD, CQS, FVL, MOT e BNV1.

FOTO	CROQUI
	

APÊNDICE C – MONOGRAFIA DE MARCO

IDENTIFICAÇÃO	LOCAL	DATA DE OCUPAÇÃO
CQS	Pier, Coqueiro Seco/AL	09 de junho de 2019

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS (SIRGAS2000)		
Coordenadas Geodésicas		
$\varphi = S9^{\circ}38'01,63344''$	$\lambda = W35^{\circ}45'40,99802''$	$h = -6,791 \text{ m}$
Coordenadas UTM (Fuso: 25)		
N= 8933826,925 m	E = 193595,376 m	$h = -6,791 \text{ m}$
Desvio Padrão		
$\sigma_N = 0,005 \text{ m}$	$\sigma_E = 0,004 \text{ m}$	$\sigma_H = 0,012 \text{ m}$

INFORMAÇÕES
Localização
Na praça do pier de Coqueiro Seco/AL.
Descrição
Plaqueta com identificação colada no chão da praça.
Itinerário
No Pier de Coqueiro Seco, andar em direção a praça, por trás da estátua.
Observação
Esse marco faz parte da rede geodésica de monitoramento da Laguna Mundaú junto com BBD, FVL, MOT, BNV1 e BNV2.

FOTO	CROQUI
	

APÊNDICE E – MONOGRAFIA DE MARCO

IDENTIFICAÇÃO	LOCAL	DATA DE OCUPAÇÃO
MOT	Clube Motonáutica, Maceió/AL	09 de junho de 2019

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS (SIRGAS2000)		
Coordenadas Geodésicas		
$\varphi = S9^{\circ}41'49,12702''$	$\lambda = W35^{\circ}46'49,71892''$	$h = -4,192 \text{ m}$
Coordenadas UTM (Fuso: 25)		
$N = 8926842,438 \text{ m}$	$E = 194880,325 \text{ m}$	$h = -4,192 \text{ m}$
Desvio Padrão		
$\sigma_N = 0,005 \text{ m}$	$\sigma_E = 0,004 \text{ m}$	$\sigma_H = 0,006 \text{ m}$

INFORMAÇÕES
Localização
Dentro do clube Motonáutica, no bairro do Pontal da Barra, Maceió/AL.
Descrição
Pino de aço pintado em vermelho localizado no meio-fio.
Itinerário
Após entrar no clube, segue em direção à saída dos barcos, o pino está no meio-fio do lado direito, cerca de 25 m do muro que vai dar na Laguna Mundaú e 5 m afastado do muro da propriedade vizinha.
Observação
Esse marco faz parte da rede geodésica de monitoramento da Laguna Mundaú junto com BBD, CQS, FVL, BNV1 e BNV2.

FOTO	CROQUI
	