

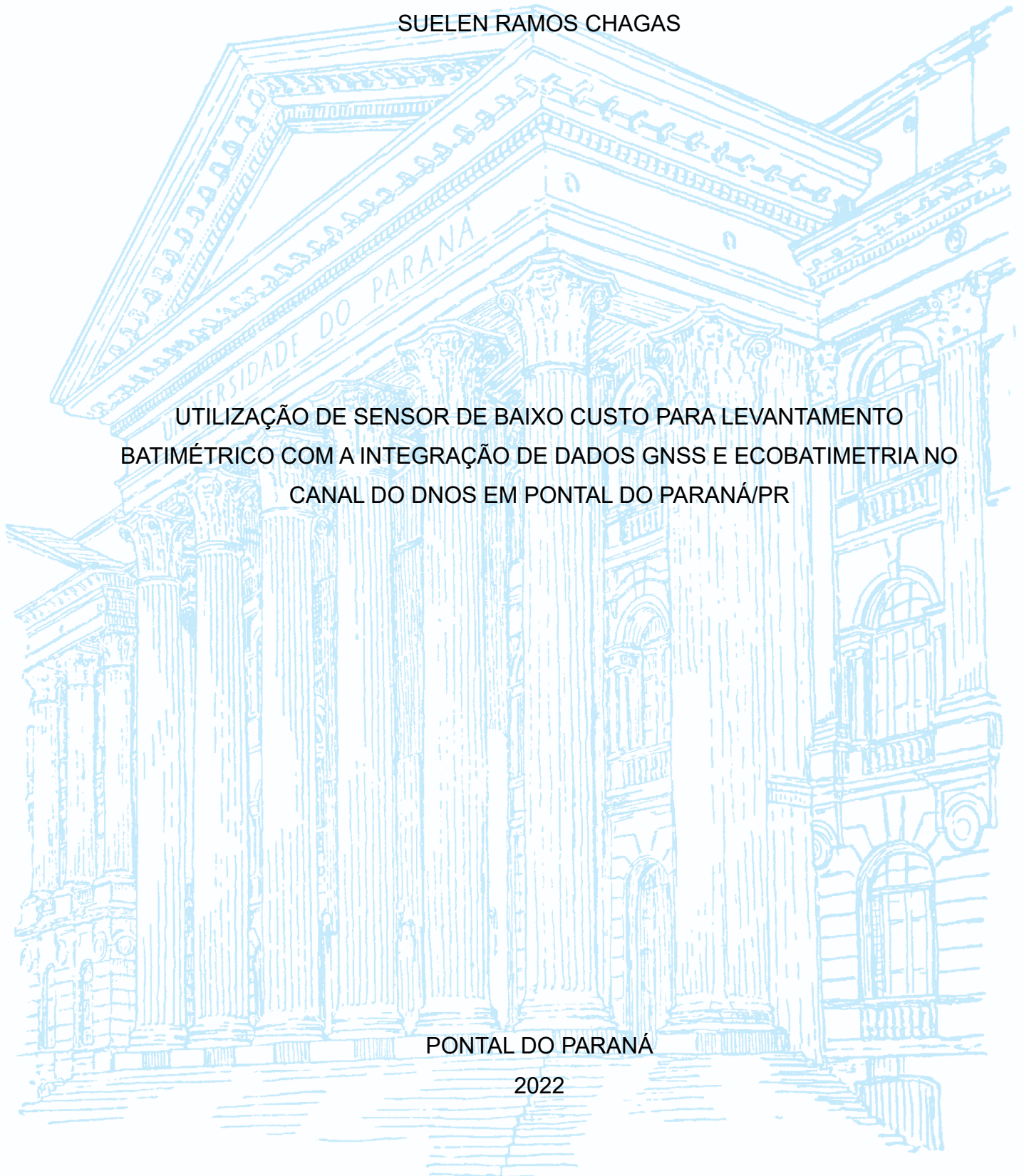
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUELEN RAMOS CHAGAS

UTILIZAÇÃO DE SENSOR DE BAIXO CUSTO PARA LEVANTAMENTO
BATIMÉTRICO COM A INTEGRAÇÃO DE DADOS GNSS E ECOBATIMETRIA NO
CANAL DO DNOS EM PONTAL DO PARANÁ/PR

PONTAL DO PARANÁ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUELEN RAMOS CHAGAS

UTILIZAÇÃO DE SENSOR DE BAIXO CUSTO PARA LEVANTAMENTO
BATIMÉTRICO COM A INTEGRAÇÃO DE DADOS GNSS E ECOBATIMETRIA NO
CANAL DO DNOS EM PONTAL DO PARANÁ/PR

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Bernardino Lopes

PONTAL DO PARANÁ

2022

TERMO DE APROVAÇÃO

Suelen Ramos Chagas

“LEVANTAMENTO BATIMÉTRICOS ORIUNDOS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS GNSS E ECOBATIMETRIA NO CANAL DO DNOS EM PONTAL DO PARANÁ/PR”

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal do Paraná, pela Banca formada pelos membros:


Profº Dr. Fernando Augusto Silveira Armani - CPP-CEM/UFPR

Profº Dr. Maurício Almeida Noernberg - CPP-CEM/UFPR



Documento assinado digitalmente

MAURICIO ALMEIDA NOERNBERG

Data: 29/09/2022 22:04:38-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>



Documento assinado digitalmente

ALEXANDRE BERNARDINO LOPES

Data: 29/09/2022 19:04:54-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profº Dr. Alexandre Bernardino Lopes - CPP-CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 05 de Maio de 2022.

AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as oportunidades e bençãos que recaíram sobre mim e minha família.

Ao meu esposo Rodrigo, por todo companheirismo, não somente durante esses anos de faculdade, mas toda uma vida. Você sempre me incentivou e me apoiou, tornando-se meu alicerce.

À minha filha Thainá, pelo incentivo e por sempre compreender os meus momentos de ausência.

Aos meus pais, que me deram toda a base para sempre buscar o aperfeiçoamento, não somente profissional como espiritual.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Bernardino Lopes, por todo encorajamento e estímulo durante essa trajetória, sempre disposto a compartilhar seus conhecimentos de maneira simples e sincera.

Aos meus amigos, em especial ao grande amigo Luiz Ricardo Adriano Ferreira, por todo companheirismo neste caminho, que além da cumplicidade, sempre esteve presente com palavras de conforto e ânimo.

Ao meu chefe, 1º Tenente André Felipe Satel, por me ajudar nessa etapa da minha vida, agradeço por toda compreensão e paciência.

À Universidade Federal do Paraná, seu corpo docente, direção, administração e funcionários, pelo trabalho árduo do dia a dia que oportunizam a todos os discentes um aprendizado de qualidade, respaldados na ética e moral que permeiam esta instituição.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram durante esta etapa da minha vida, fosse com uma palavra de conforto ou simplesmente com a compreensão nos momentos das adversidades.

RESUMO

A ecobatimetria faz parte dos levantamentos hidrográficos, sendo necessária para mapeamento do fundo dos corpos hídricos, tendo diversas aplicações, como monitoramento de assoreamentos e de erosão em rios, lagos, áreas portuárias, controle de dragagens, suporte para os projetos de engenharia, entre outras. Um levantamento batimétrico pode ser muito custoso, pois utiliza-se de sensores que tendem a ser caros. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo realizar uma batimetria com integração de dados de ecobatímetro de baixo custo e GNSS no canal do DNOS. Os dados foram coletados no Canal do DNOS, no embarque para Ilha do Mel, localizado na cidade de Pontal do Paraná/PR. Após a sincronização dos dados de coordenadas horizontais (UTM) obtidas com o GNSS com os dados de profundidade oriundos do ecobatímetro, obteve-se uma nuvem de pontos com altitude geométrica do fundo do canal. Os resultados do estudo de mostraram que a metodologia é eficiente para a realização de batimetria em canais, rios de pequeno e médio porte, lagos e barragens.

Palavras-chave: Ecobatimetria; Sensores de baixo custo; Levantamento Hidrográfico; GNSS.

ABSTRACT

Echobathymetry is part of hydrographic surveys, being necessary for mapping the bottom of water bodies, having several applications, such as monitoring silting and erosion in rivers, lakes, port areas, dredging control, support for engineering projects, among others. A bathymetric survey can be very expensive, as it uses sensors that tend to be expensive. In this sense, this work aims to carry out a bathymetry with the integration of low-cost echo sounder data and GNSS in the DNOS channel. The data were collected in the DNOS Channel, when boarding to Ilha do Mel, located in the city of Pontal do Paraná/PR. After synchronizing the horizontal coordinate data (UTM) obtained with the GNSS with the depth data from the echo sounder, a point cloud with geometric altitude of the channel bottom was obtained. The results in the study by showed that the methodology is efficient for performing bathymetry in canals, small and medium-sized rivers, lakes and dams.

Key-words: Echobathymetry; Low cost sensors; Hydrographic Survey; GNSS.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LINHAS ISOBATIMÉTRICAS.....	10
FIGURA 2 – MAPA BATIMÉTRICO DA BACIA DE CAMPOS.....	14
FIGURA 3 – TRENA DE 10 m (<i>FIBER GLASS</i>).....	15
FIGURA 4 – MAPEAMENTO DE ASSOALHO MARÍTIMO	17
FIGURA 5 – FUNCIONAMENTO DO ECOBATÍMETRO.....	18
FIGURA 6 – CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES GPS.....	20
FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO DAS ALTITUDES DE REFERÊNCIAS.....	21
FIGURA 8 – ELEMENTOS ENVOLVIDOS NA DEFINIÇÃO DAS ALTITUDES FÍSICAS.....	22
FIGURA 9 – MAPA COM LOCALIZAÇÃO DO CANAL.....	24
FIGURA 10 – SENSOR <i>GARMIN echoMAP™</i> , SÉRIES 40/50.....	25
FIGURA 11 – INÍCIO DOS TRABALHOS.....	26
FIGURA 12 – ANTENA ADAPTADA NA EMBARCAÇÃO.....	27
FIGURA 13 – LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.....	27
FIGURA 14 – ESQUEMA DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO NO CANAL DO DNOS.....	29
FIGURA 15 – PONTOS CARREGADOS NO QGIS – <i>LAYER</i> <i>CARTO LIGHT</i>	31
FIGURA 16 – PONTOS CARREGADOS NO QGIS – <i>LAYER</i> <i>GOOGLE SATELLITE</i>	31
FIGURA 17 – REPRESENTAÇÃO DAS PROFUNDIDADES.....	33
FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO 3D.....	34
FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS ISOBATIMÉTRICAS	33
FIGURA 20 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS ISOBATIMÉTRICAS - AMPLIADA.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 TÉCNICAS DE BATIMETRIA.....	13
2.1.1 Metodologia direta.....	14
2.1.2 Metodologia indireta.....	15
2.1.2.1 Ecobatímetros.....	17
2.2 GNSS.....	19
2.3 LEVANTAMENTOS CINEMÁTICO E ESTÁTICO.....	20
2.4 ALTITUDES.....	21
3 METODOLOGIA.....	24
3.1 LOCAL DE ESTUDO.....	24
3.2 ADAPTAÇÃO DOS SENSORES NA EMBARCAÇÃO.....	25
3.3 REALIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO COM O SISTEMA GNSS.....	28
3.4 PROCESSAMENTO DE DADOS GNSS E INTEGRAÇÃO DOS DADOS GNSS COM OS DADOS DO ECOBATÍMETRO.....	29
3.5 GERAÇÃO DO MDT.....	30
4 RESULTADOS.....	33
5 CONSIDERAÇÃO FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

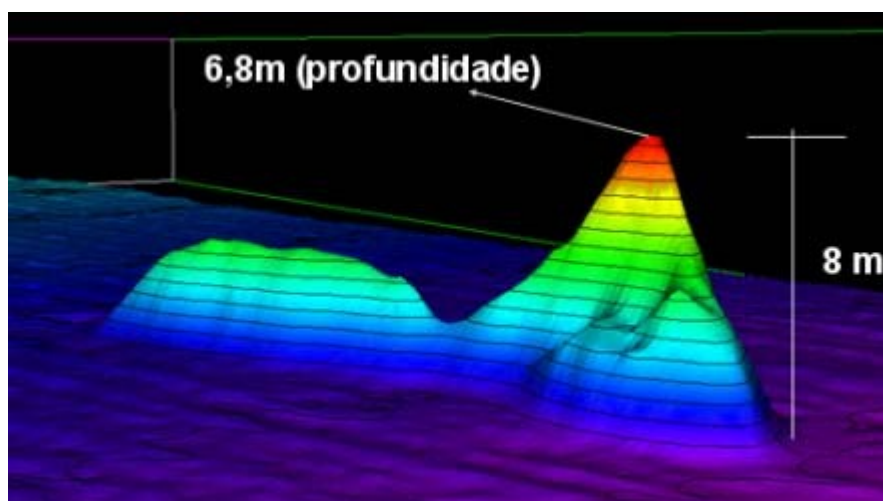
1 INTRODUÇÃO

A palavra “batimetria” origina-se do grego em que “*bathus*” significa profundo e “*metron*” medida (GAGG, 2016). A batimetria é a técnica utilizada para o mapeamento de profundidades e levantamento do relevo das superfícies submersas, como o fundo de represas, rios, mares e lagos (SILVA & SEGANTINE, 2018; SAVIETTO, 2017; GAGG, 2016; DAIBERT, 2014). A batimetria ganhou mais estímulo após a Segunda Guerra Mundial, com a exploração e mapeamento sistemático do fundo do oceano por meio de eco sondas (PINET, 2014).

Suas aplicações são diversas, sendo necessária para instalação de dutos, estudos e projetos de portos, estudo de áreas de risco à navegação, dragagem e ampliação da calha de um rio, avaliação de operação de dragagem, reconhecimento hidrográfico, determinação da vazão em rios (SAVIETTO, 2017); além de modelagens hidrodinâmicas e acompanhamento de processos de erosão ou assoreamento (KRUG & NOERNBERG, 2005), entre outras aplicações em que haja necessidade de se conhecer o fundo dos corpos hídricos.

O mapeamento da batimetria é representado pelas isóbatas, que são curvas batimétricas que unem os pontos de mesma profundidade (assemelham-se a uma curva de nível). Tais curvas são resultados alcançados a partir dos dados das profundidades, que podem ser obtidos através de medições diretas (ou físicas), empregando instrumentos que tocam diretamente o leito, como prumos de mão e estádias ou miras stadimétricas, ou de modo indireto, através de aparelhos emissores e receptores de sinais, como sensores acústicos, eletromagnéticos espacial ou aerotransportado (SAVIETTO, 2017; KRUEGER, 2012). Há de se considerar que levantamentos batimétricos por sensores tendem a envolver altos custos (FERREIRA *et al*, 2017; KRUG & NOERNBERG, 2005), tornando-se inviável em alguns casos. A FIGURA 1 representa linhas isobáticas, permitindo visualizar a topografia submersa de um corpo d’água.

FIGURA 1: LINHAS ISOBATIMÉTRICAS



Fonte: LH Evolução e Situação Atual, 2001 *apud* KRUEGER, 2012

A evolução da tecnologia permitiu que a batimetria deixasse de lado as metodologias diretas e investisse em métodos mais modernos, como o uso de ecobatímetros, podendo estes serem monofeixe ou multifeixe, varreduras aéreas por LASER e imagens de sensoriamento remoto (GAGG, 2016). Alguns aspectos, como visibilidade, aplicação, profundidade e tempo, devem ser considerados para escolha do método para determinação das coordenadas tridimensionais, sendo comumente utilizados os métodos DGPS (GPS diferencial), Irradiação e Interseção a vante, para obtenção das coordenadas X e Y, e sondagem para a profundidade (SAVIETTO, 2017; GAGG, 2016).

Para se obter um bom resultado com a batimetria, deve-se realizar um planejamento elaborado, em que a localização geral da área a ser levantada, condições antrópicas no ambiente, até toda logística envolvida, como contato prévio com os órgãos competentes, precisam ser considerados a fim de antepor o método mais adequado para o trabalho (GAGG, 2016).

Este trabalho apresenta uma metodologia para se realizar uma batimetria de baixo custo no canal do DNOS, que pode ser usada para muitas aplicações (por exemplo, alimentar modelos numéricos e fazer estimativas em canais). Consiste no levantamento batimétrico com integração de dados GNSS e dados de ecobatímetros, gerando Modelos Digitais de Terreno (MDT). A utilização do sistema GNSS com dados do ecobatímetro assegura a precisão das coordenadas

horizontais e da altitude geométrica utilizada na determinação da altitude geométrica do fundo de corpos d'água. O método apresenta as vantagens de possibilitar a integração de dados de batimetria com dados topográficos (pontos emersos e submersos). Como o referencial das coordenadas horizontais e verticais são georreferenciados (possui referencial único global) os MDTs gerados são facilmente integrados em um sistema de informação geográfica e demais plataformas computacionais.

Outro ponto importante deste estudo de caso, é que são determinadas as altitudes geométricas (referenciadas ao elipsoide de referência) dos pontos levantados, em que a influência direta das oscilações da maré é automaticamente corrigida, possibilitando o uso dessa metodologia em rios e estuários do meio ambiente costeiro sem a necessidade de outros ajustes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Gerar um Modelo Digital de Terreno para representação de relevo submerso a partir da combinação de dados batimétricos e GNSS no canal do DNOS, localizado no município de Pontal do Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar levantamento batimétrico utilizando ecobatímetro de baixo custo e GNSS;
- Processar e sincronizar os dados GNSS pós processados com dados do ecobatímetro;
- Gerar um MDT georreferenciado;
- Discutir as potencialidades do método para identificar necessidades de dragagem e cálculo de volume dragado.

1.2 JUSTIFICATIVA

Levantamentos batimétricos com ecobatímetros geralmente envolvem altos custos e demora no processo (FERREIRA *et al*, 2017; KRUG & NOERNBERG, 2005). Tais levantamentos são necessários para análises de dragagem em canais, rios e demais corpos d'águas utilizados para a navegação, também como para estudos de dispersão de poluentes, transporte de sedimentos e levantamentos hídricos a partir de modelagem numérica (SILVA & SEGANTINE, 2018; SAVIETTO, 2017; GAGG, 2016; DAIBERT, 2014). O canal do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) no município de Pontal do Paraná-PR, balneário Pontal do Sul, mais especificamente na região de embarque para a Ilha do Mel, possui um grande fluxo de embarcações, o que justifica a necessidade de levantamentos batimétricos frequentes em função da necessidade de dragagens, que tem a finalidade de proporcionar segurança às embarcações. Ademais, tal levantamento pode auxiliar nos estudos sobre os impactos ambientais causados pelo lançamento de poluentes provocados pela urbanização da região próxima ao canal. Neste contexto, o escopo deste trabalho é utilizar dados do sistema *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e dados de sensores ecobatímetros de baixo custo para levantamentos batimétricos, tendo como estudo de caso o canal do DNOS na região de embarque para a ilha do mel, com possibilidade de integração de dados topográficos de pontos emersos e submersos e integração dos dados a um sistema de informação geográfica e demais plataformas computacionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TÉCNICAS DE BATIMETRIA

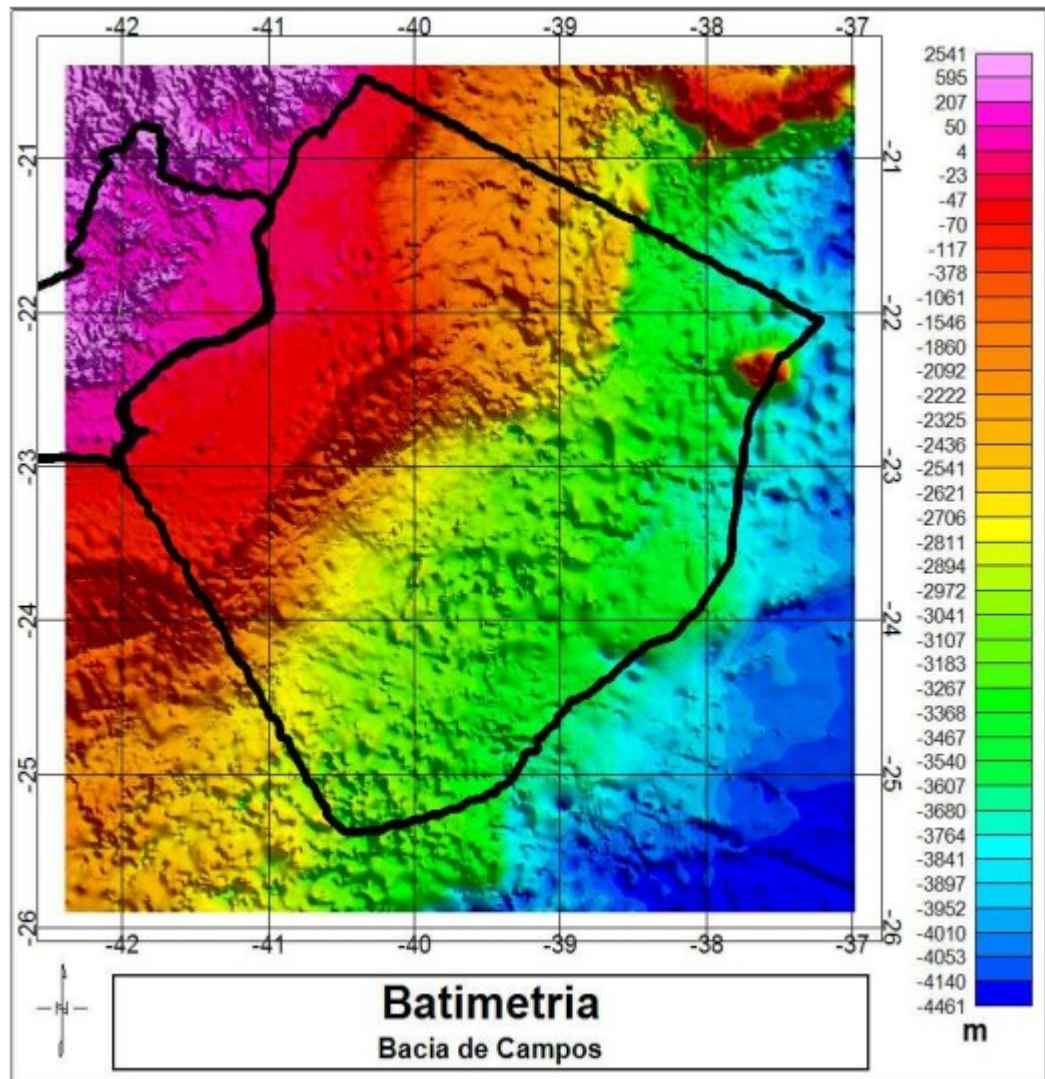
A batimetria é parte essencial de um levantamento hidrográfico (KRUEGER, 1999). De acordo com a Marinha do Brasil (2017), considera-se Levantamento Hidrográfico (LH):

Conjunto de atividades executadas na obtenção de dados batimétricos, geológicos, maregráficos, fluviométricos, topogeodésicos, oceanográficos e geofísicos, em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não, que não tenham como finalidade a pesquisa pura e a investigação científica, assuntos tratados pelo Decreto nº 96.000, de 2 de maio de 1988.

Desta forma, pode-se afirmar que a obtenção das informações oriundas da batimetria, consiste em uma tarefa fundamental para compreender a dinâmica hídrica em corpos d'água (SOUZA & PINTO, 2020; KRUEGER, 2012).

O trabalho consiste em realizar medições de profundidades relacionadas com uma posição da embarcação na superfície da água, podendo ser realizadas em todos os corpos d'água que necessitem de estudos. Essas informações são expressas cartograficamente através das curvas isobatimétricas (GAGG, 2016; KRUEGER, 2012). A FIGURA 2 foi incluída para exemplificar mapa batimétrico 2D da Bacia de Campos; é possível verificar as profundidades do mar e as altitudes do continente.

FIGURA 2: MAPA BATIMÉTRICO DA BACIA DE CAMPOS



Fonte: Santos *et al*, 2015.

Existem diversas metodologias para se medir a profundidade dos corpos d'água. Tais metodologias dividem-se basicamente em métodos diretos e indiretos (GAGG, 2016).

2.1.1 Metodologia direta

Neste caso, utilizam-se equipamentos como prumo de mão, máquina de sondar e estádias (régua graduada centimetricamente). A anotação dos dados ocorre de forma manual a medida que se vai obtendo as informações (GAGG, 2016;

KRUEGER, 2012). Este método é indicado somente para áreas de pouca profundidade e pequenos corpos hídricos devido à limitação dos equipamentos. De acordo com Gagg (2016), as varas de sondagem, por exemplo, costumam ter 5 m de comprimento, inviabilizando medições em corpos d'água com maior profundidade. Ademais, métodos como esse tendem a ser mais laboriosos, dificultando a obtenção de dados, que muitas vezes é obtido de forma descontínua, necessitando de maior empenho de pessoal, contribuindo para o aumento da possibilidade de erros grosseiros. A vantagem fica no quesito custo, já que não necessita de equipamentos mais caros. A FIGURA 3 mostra uma trena de 10 m (*fiber glass*) com lastro pesando 3 Kg, utilizada no levantamento para obtenção de valores de profundidade estimada.

FIGURA 3: TRENA DE 10 m (*FIBER GLASS*)



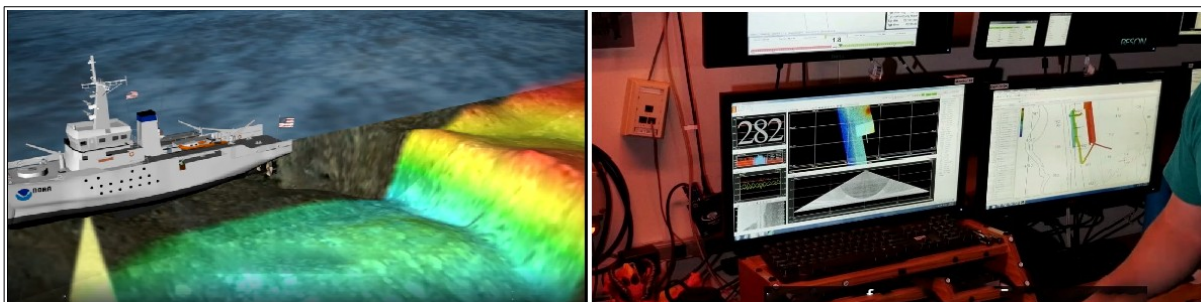
Fonte: Bilhalva, 2013.

2.1.2 Metodologia indireta

Na metodologia indireta, os dados do fundo dos corpos hídricos são obtidos de maneira indireta aferindo-se a propagação de sinais acústicos (BILHALVA, 2017). Desta forma, o uso de equipamentos com maior tecnologia acabam por tornar o processo mais oneroso, mas com resultados mais rápidos.

Aparelhos mais modernos e com maior precisão estão sendo cada vez mais utilizados nos levantamentos hídricos. As técnicas de levantamento foram absorvendo as novas tecnologias a medida que estas foram se tornando mais sofisticadas. Um exemplo é o SONAR (*Sound Navigation and Ranging*), navegação e medição de distância pelo som, que realiza a medição de distâncias sob a água, oferecendo um alto nível de detecção e definição das formações geológicas presentes no fundo dos corpos d'água (GAGG, 2016; KRUEGER, 2012). A FIGURA 4 mostra o mapeamento em detalhes do assoalho submarino a 282 m de profundidade. A esquerda observa-se uma representação das ondas incidindo no fundo do oceano. A direita pode-se observar o *software* de leitura dos dados em tempo real. O equipamento encontra-se a bordo do navio *NOAA Nancy Foster*, e visa explorar ecossistemas de corais em alto mar ao largo do sudeste dos EUA.

FIGURA 4 - MAPEAMENTO DE ASSOALHO MARÍTIMO



Fonte: Adaptado de NOAA, 2022.

Os levantamentos batimétricos modernos recorrem ao uso de ecobatímetros (podendo ser monofeixe ou multifeixe), varreduras aéreas por LASER (sensores eletromagnético espacial ou teletransportado), imagens de sensoriamento remoto, além do ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) (GAGG, 2016; KRUEGER, 2012). Cada opção tem sua metodologia e pode apresentar vantagens e desvantagens, tendo sua aplicação mais ou menos indicada para cada ambiente.

2.1.2.1 Ecobatímetros

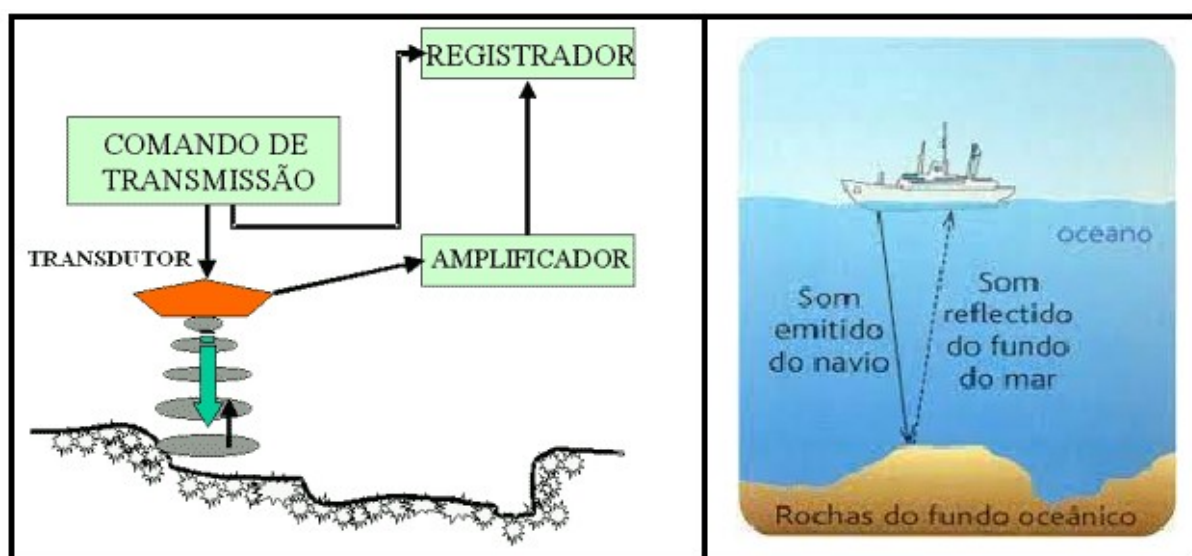
Também chamado de eco-sonda (BILHALVA, 2013), os ecobatímetros apresentam-se como a principal fonte de dados de profundidade (GAGG, 2016).

Esses instrumentos emitem um sinal sonoro (ondas sonoras – frequência menor que 18 KHz ou ultra sonoras – frequência maior que 18 KHz) e seu eco é registrado medindo o tempo de percurso, determinando assim a profundidade (GAGG, 2016; PEREIRA & BARACUHY, 2008).

A frequência acústica da sonda é o parâmetro que determina o alcance e a penetração do som nos sedimentos. A atenuação do sinal acústico na água é proporcional à frequência. Quanto maior a frequência, maior será a atenuação e, conseqüentemente, menor será o alcance e a penetração no corpo d'água (IHO, 2005). Desta forma, pode-se dizer que as menores frequências são utilizadas para maiores profundidades e as frequências mais altas para profundidades menores.

A FIGURA 5 mostra a esquerda um ecobatímetro constituído por um transmissor, receptor, amplificador, registrador, transdutor e comando de transmissão; e a direita um esquema da emissão e recepção do sinal sonoro emitido pelo aparelho.

FIGURA 5: FUNCIONAMENTO DO ECOBATÍMETRO



Fonte: Adaptado de GAGG, 2016.

A Equação 2.1 mostra, de forma simplificada, como é obtido o valor da profundidade com a medição utilizando o ecobatímetro (IHO, 2005 *apud* GAGG, 2016).

$$p = v_{H2O} (t_r - t_e)/2 \quad (2.1)$$

Em que:

p = profundidade medida (m);

V_{H2O} = velocidade do som no meio (m/s);

t_e = instante, em segundos, da emissão do pulso emitido pelo ecobatímetro;

t_r = instante, em segundos, da recepção do pulso emitido pelo ecobatímetro.

É importante frisar que em um levantamento hidrográfico realizado com o uso de ecobatímetros, a qualidade dos dados relaciona-se à qualidade de todos os equipamentos utilizados no processo (BRASIL, 2017). Além disso, existem fatores externos que podem interferir ou até mesmo limitar o uso dos ecobatímetros, como salinidade, pressão e temperatura da água. Isto acontece porque velocidade da propagação das ondas aumenta conforme ocorre o aumento da densidade do meio. Ou seja, quanto maior a densidade da água, maior será a velocidade da propagação da onda (BRASIL, 2017; GAGG, 2016; PACHECO, 2010). Outros fatores como a quantidade de sedimentos em suspensão ou turbulência muito forte também devem ser observados (BRASIL, 2017).

Os ecobatímetros podem ser digital ou analógico de registro contínuo, com transdutor montado em um dos lados da embarcação. Para um levantamento batimétrico, faz-se necessários outros equipamentos, como rastreadores de satélite NAVSTAR, denominado GPS, dupla frequência (L1 e L2), rádios para correções de coordenadas em tempo real (PEREIRA & BARACUHY, 2008).

Para o presente trabalho, foi utilizado o ecobatímetro de baixo custo, modelo Garmin echoMAP™, séries 40/50, cujo diferencial foi a obtenção de coordenadas horizontais com precisão oriundas do GNSS. Vale ressaltar que o ecobatímetro utilizado não possui o GNSS capaz de rastrear com precisão as coordenadas horizontais, nem a altitude geométrica, sendo necessário a integração dos dados do ecobatímetro (profundidade) com o GNSS L1/L2.

2.2 GNSS

GNSS – *Global Navigation Satellite System*, são sistemas globais de posicionamento por satélite. Entre estes sistemas, pode-se citar o GPS - *Global Positioning System*, GLONASS - *Global Navigation Satellite System*, e os mais recentes, como o Galileo, sistema desenvolvido pela união Europeia e o BeiDou, desenvolvido pela China. Os sistemas GNSS, principalmente aqueles baseados em GPS, estão sendo largamente utilizados como sistemas de coleta de dados de alta precisão topográfica e geodésica (FERREIRA & FORTES, 2019; SANTOS *et al*, 2013; ÁLVARES, 2008; PEREIRA & BARACUHY, 2008; CAMARGO, 2004).

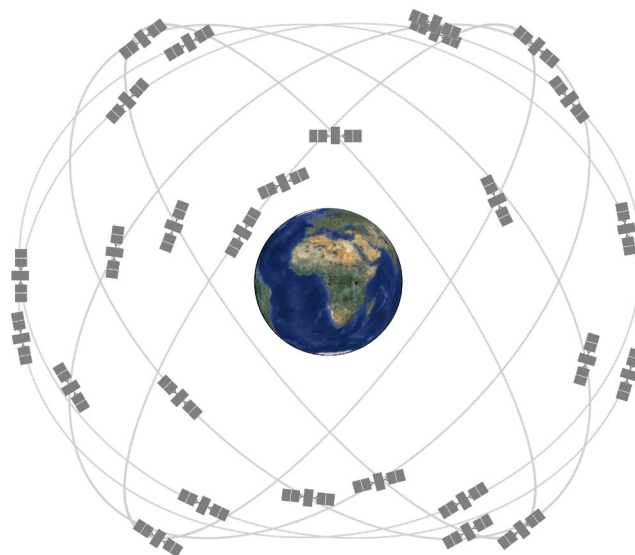
Em 1995 o GPS já contava com 24 satélites situados a 20.200 km, distribuídos em seis planos orbitais espaçados igualmente em 60° ao redor da Terra. Cada plano contém quatro "slots" ocupados por satélites de linha de base. Esse arranjo possibilita que em qualquer instante do dia, em qualquer lugar do globo, pelo menos quatro satélites estejam disponíveis. Esses satélites movem-se em uma velocidade de 2.000 mph, completando uma órbita a cada 12 horas; transmitem ondas L1 e L2, com frequência de 1.575,42 MHz (com comprimento da onda de 19 cm) e 1.227,6 MHz (com comprimento da onda de 24 cm). Posteriormente um novo sinal L5 foi incluído, possibilitando melhorias na qualidade do posicionamento (EUA, 2022; FERREIRA & FORTES, 2019; PEREIRA & BARACUHY, 2008).

De acordo com site GPS.Gov (2022), site de informações oficiais do governo dos EUA sobre o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e tópicos relacionados, a partir de 2 de fevereiro de 2022, havia um total de 30 satélites operacionais na constelação de GPS (sem incluir os desativados) em órbita.

A FIGURA 6 mostra a constelação de satélites GPS ao redor do globo.

O segmento espacial de um GNSS deve ter um número suficiente de satélites de navegação, de modo que possam garantir uma cobertura global em todo o momento. Neste trabalho foi utilizado o levantamento relativo cinemático, sendo a base processada com os dados da RBMC localizados em Curitiba, Cananéia e Joinville.

FIGURA 6: CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES GPS



Fonte: EUA – GPS.Gov, 2022.

2.3 LEVANTAMENTOS CINEMÁTICO E ESTÁTICO

O levantamento estático pode apresentar uma precisão que varia de 0,1 a 1 ppm, sendo que este valor depende do comprimento da linha de base (MONICO, 2000). Como o próprio nome sugere, no posicionamento relativo estático, o receptor da estação de referência e a estação com coordenadas a determinar, mantêm-se estacionários a todo o momento no decorrer do levantamento. O tempo de duração do levantamento depende basicamente de condições favoráveis da ionosfera e que não haja obstáculos nos locais onde os equipamentos estejam estacionados (como árvores, prédios, etc.). (IBGE, 2008).

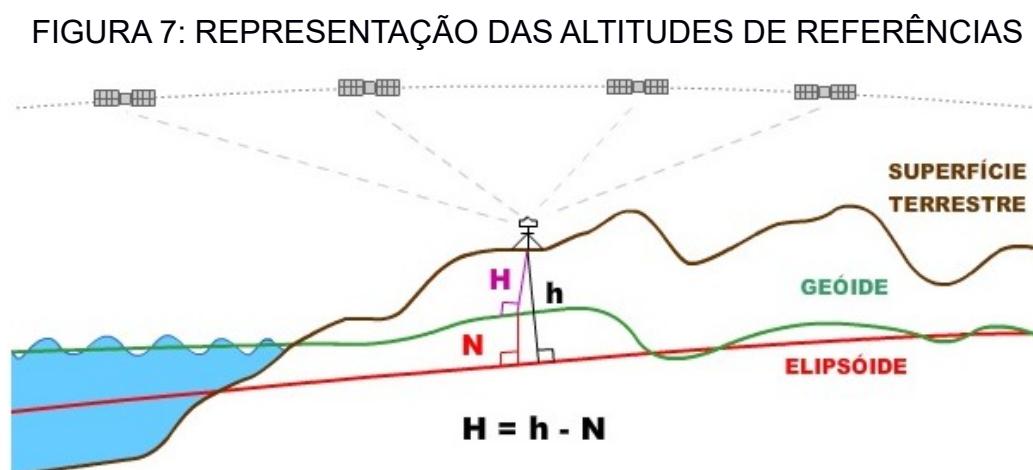
Já no posicionamento relativo cinemático, a precisão varia entre 1 a 10 ppm. Neste método, a antena (ou receptor) fica em movimento enquanto a estação de referência mantêm-se estática. Desse modo é determinado “um conjunto de coordenadas para cada época de observação”, onde “a trajetória é descrita por uma série de pontos”. (IBGE, 2008).

2.4 ALTITUDES

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022), a altitude é a “distância vertical a partir de um referencial, geralmente o nível médio dos mares, ao ponto considerado” e são expressas em metros (GAGG, 2016; PEREIRA & BARACUHY, 2008). As altitudes podem ser definidas conforme (BRYN, 2006):

- Altitude ortométrica (H): Representa a distância contada sobre a vertical entre o ponto e o geóide.
- Altitude geométrica (h): Representa a distância contada sobre a normal entre o ponto e o elipsoide.
- Altura geoidal ou ondulação do geóide (N): Representa a distância contada sobre a normal, entre as superfícies geoidal e elipsoidal.

A FIGURA 7 mostra as duas superfícies (geóide e elipsóide) e a representação da altitude ortométrica representada por H, altitude geométrica representada por h, e a ondulação geoidal por N.



Fonte: IBGE, 2021.

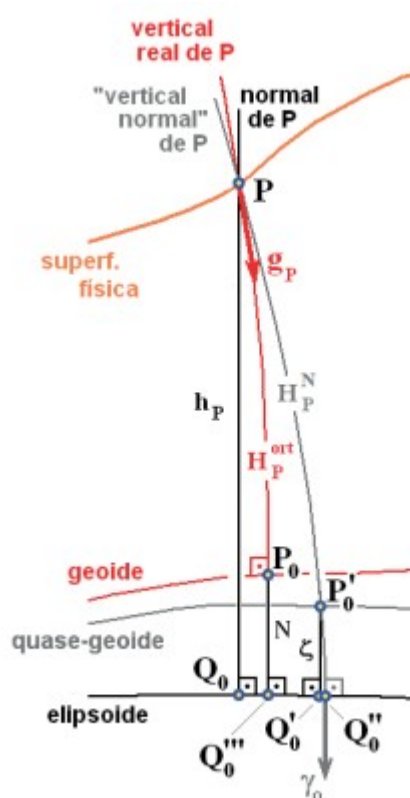
A partir de 2018, com o Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais – REALT 2018, o IBGE passou a disponibilizar no Banco de Dados Geodésicos as altitudes normais das Referências de Nível que estabelecem a Rede Altimétrica de Alta Precisão – RAAP. De acordo com o IBGE (2021), “a adoção das

altitudes normais está alinhada às recomendações internacionais relativas aos SGRAs, em particular àquelas emanadas do SIRGAS”.

A altitude normal refere-se a distância entre um ponto e o quase-geoide (conceito que considera as diferenças entre a gravidade observada e a normal), mensurada ao longo da linha de força do campo gravitacional normal ou linha vertical normal. (IBGE, 2021). Já “a superfície do campo da gravidade que possui esferopotencial igual geopotencial do ponto é denominada de teluróide”. (ARANA, 2009).

A FIGURA 8 mostra todos os elementos envolvidos na definição das altitudes físicas.

FIGURA 8: ELEMENTOS ENVOLVIDOS NA DEFINIÇÃO DAS ALTITUDES FÍSICAS



Fonte: IBGE, 2019.

Onde:

P = Número geopotencial de um ponto qualquer (superfície física);

P_0 = Ponto de referência no geoide;

P_0' = Ponto de referência no quase-geoide;

g_p = Gravidade real ao longo da vertical P.

γ_0 = Gravidade normal do ponto;

h_p = Altitude geométrica (ou elipsoidal);

H_p^N = Altitude normal;

H_p^{ort} = Altitude normal-ortométrica;

ζ = Anomalia de altitude (distância do teluróide ao ponto, contada ao longo da normal do ponto);

N = Altura geoidal.

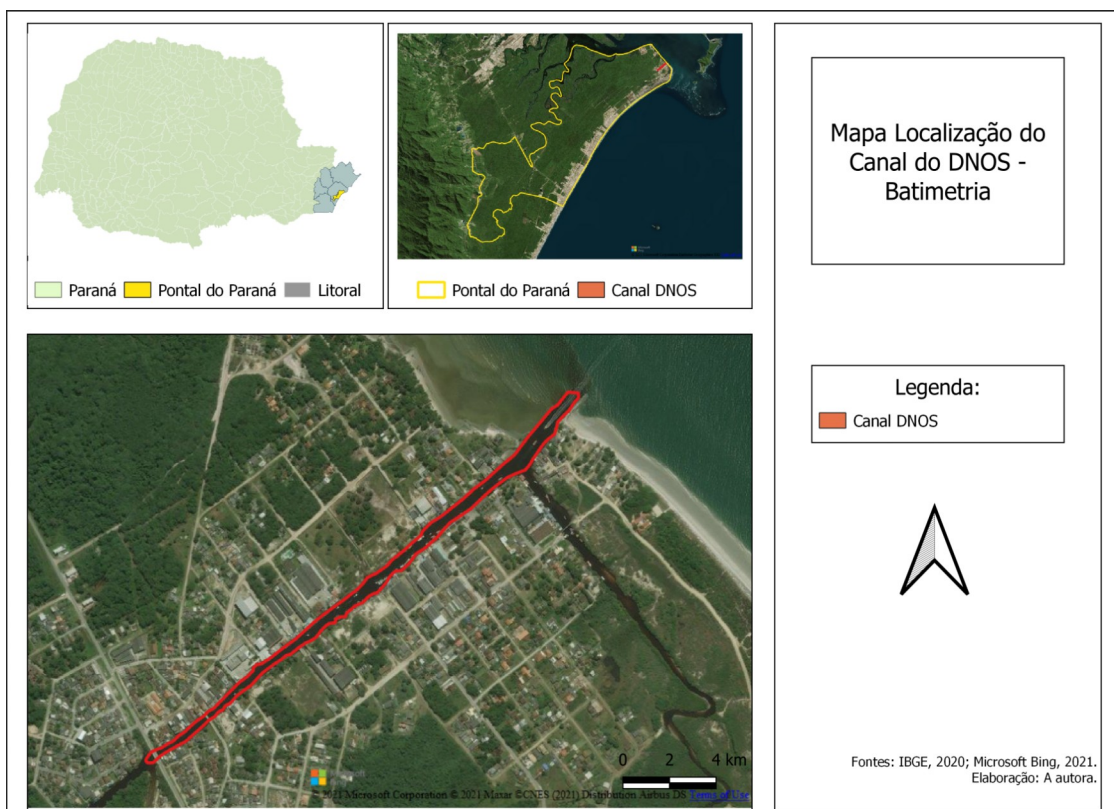
Neste trabalho, optou-se pela utilização da altitude geométrica, haja vista não haver variação do geoide na área de estudo e, neste caso, para a representação do modelo, a altitude geométrica se faz satisfatória.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O canal do DNOS está localizado dentro do município Pontal do Paraná, no balneário de Pontal do Paraná (FIGURA 9). Este canal foi construído no ano de 1954 com o objetivo de drenagem para reduzir os efeitos das inundações pós chuvas intensas, além de ser utilizado para fins de navegação (RIBEIRO *et al*, 2013; IAT, 2006; PONTAL DO PARANÁ, 2004). O trecho escolhido para o estudo é caracterizado por uma grande quantidade de marinas ao seu redor, apresentando, consequentemente, um alto fluxo de embarcações, além de suas margens serem alvos de ocupações irregulares e desordenadas. A soma destes fatores acarretaram erosões das margens, o que causou mudanças da paisagem natural ao longo do tempo (PONTAL DO PARANÁ, 2004).

FIGURA 9 – MAPA COM LOCALIZAÇÃO DO CANAL



Fonte: A autora.

A metodologia proposta consiste basicamente em: 1) adaptar sensores ecobatímetros em pequenas embarcações; 2) realizar o posicionamento relativo cinemático da embarcação com o sensor adaptado na embarcação; 3) pós processar os dados GNSS; 4) integrar os dados GNSS com os dados do ecobatímetro e 4) gerar Modelos Digitais de Terreno (MDT) do canal que possibilita a aplicação em modelos numéricos de simulação.

3.2 ADAPTAÇÃO DOS SENSORES NA EMBARCAÇÃO

A embarcação foi equipada com um sensor na parte inferior, modelo Garmin echoMAP™, séries 40/50, e com uma antena de captação de sinais GNSS (L1/L2) na parte superior. O sensor foi programado para gravar os dados em um intervalo de 1 segundo, utilizando a frequência 200 kHz, com resolução do feixe vertical de 0,01 m, eficiente para medições de até 457 m (FERREIRA *et al*, 2014). Foi utilizado o método de posicionamento relativo cinemático, em que o receptor GNSS foi programado para gravar os dados em intervalo de tempo de 1 segundo.

A FIGURA 10 mostra o sensor utilizado no levantamento Batimétrico.

FIGURA 10: SENSOR GARMIN echoMAP™, SÉRIES 40/50



Fonte: Arquivo pessoal.

A FIGURA 11 mostra o início dos trabalhos na embarcação, ainda dentro das limitações do campus da UFPR/CEM, como colocação e configuração dos equipamentos, medições, entre outros procedimentos para início da batimetria.

FIGURA 11: INÍCIO DOS TRABALHOS



Fonte: Arquivo Pessoal.

A FIGURA 12 mostra a antena na embarcação já dentro do Canal do DNOS.

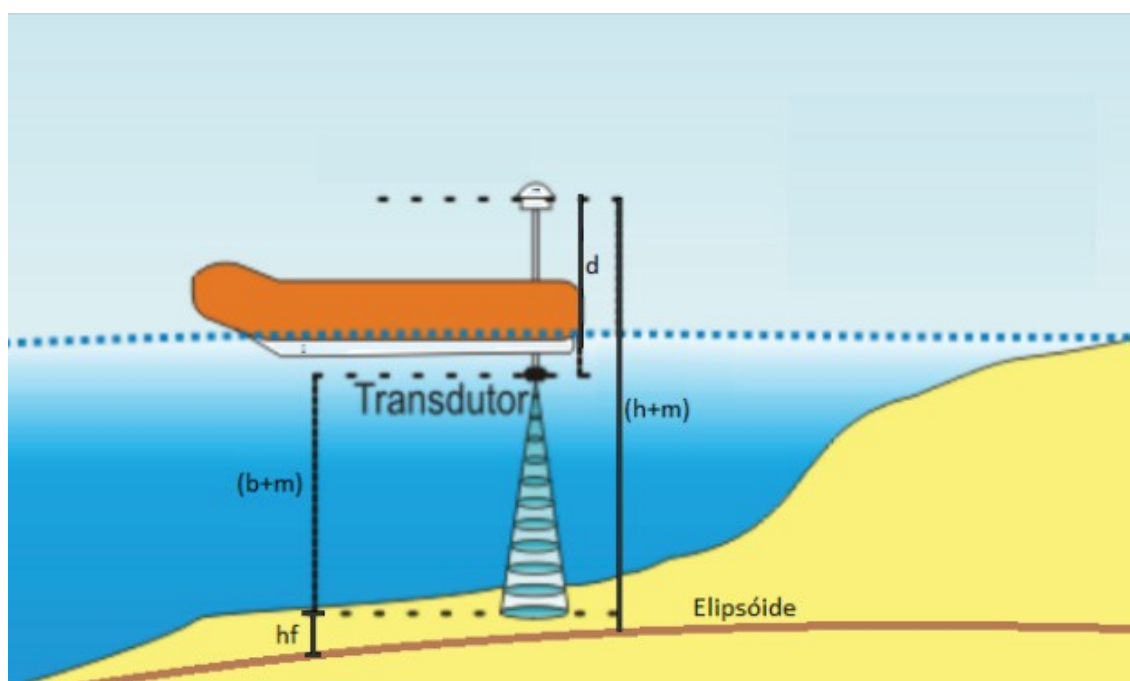
FIGURA 12: ANTENA ADAPTADA NA EMBARCAÇÃO



Fonte: Arquivo pessoal.

A embarcação foi equipada conforme pode ser observado no esquema da FIGURA 13: Antena de captação de sinais L1/L2 na parte superior e o ecobatímetro na parte inferior.

FIGURA 13: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO



Fonte: Adaptado de Ferreira *et al*, 2014.

Desta forma, a altura geométrica foi calculada de acordo com a Equação 2.2:

$$\begin{aligned} h_f &= [(h+m)-d]-(b+m) \\ h_f &= h+m-d-b-m \\ \mathbf{h_f} &= \mathbf{h-d-b} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Onde:

d = é a altura da antena até o ponto de medição do sensor do ecobatímetro.

$h+m$ = é altura da antena até o elipsoide, mais a variação da maré.

$b+m$ = é a altura medida do ecobatímetro até a superfície física, mais a variação da maré.

H_f = é a altura da superfície física até o elipsoide (altura geométrica).

Nota-se que a variação da maré não influi no resultado, não havendo necessidade de outros ajustes.

3.3 REALIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO COM O SISTEMA GNSS

As coordenadas de latitude, longitude e altitude geométrica dos pontos amostrais batimétricos são determinadas com o posicionamento GNSS no método relativo cinemático pós-processado. Neste método, é instalado um receptor em uma estação base e o outro na embarcação, em que ambos os receptores coletam dados sincronicamente. As informações investigadas são armazenadas nos próprios receptores, sendo mais tarde transferidas para um computador para processamento. A FIGURA 14 mostra um esquema da metodologia aplicada no levantamento batimétrico no canal do DNOS, em Pontal do Paraná, PR.



Os dados GNSS (L1/L2) são pós processados utilizando a base RBMC (Curitiba, Cananéia e Joinville). Foi utilizado o *Software Leica Geo Office* (LGO). A sincronização foi feita pelo tempo, em que tanto no GNSS quanto no ecobatímetro os dados foram registrados em um intervalo de 1 segundo. O uso do GNSS proporciona a correta obtenção das coordenadas horizontais, bem como a possibilidade de se trabalhar com a altitude geométrica, tendo a possibilidade de conversão para altitude normal através da utilização do hgeoHNOR2020, modelo para conversão de altitudes geométricas em altitudes físicas, compatíveis com o Datum Vertical do SGB, disponibilizado pelo IBGE. Entretanto, vale lembrar, que neste trabalho foram determinadas apenas as altitudes geométricas.

Os dados dos 5221 pontos foram organizados em planilha eletrônica (conforme pode ser observado no exemplo da Tabela 1), em que foi possível obter a

altura geométrica (h_f), diminuindo o valor medido pelo GNSS (h) com o valor obtido pelo ecobatímetro (b). O DPh indica o desvio padrão de h . Na Tabela 1 também é possível observar que os horários de cada coordenada obtida pelo sistema GNSS (Leste, Norte), coincide exatamente com o horário de obtenção da profundidade pelo ecobatímetro, em intervalos de 1 segundo, possibilitando a perfeita integração desses dados.

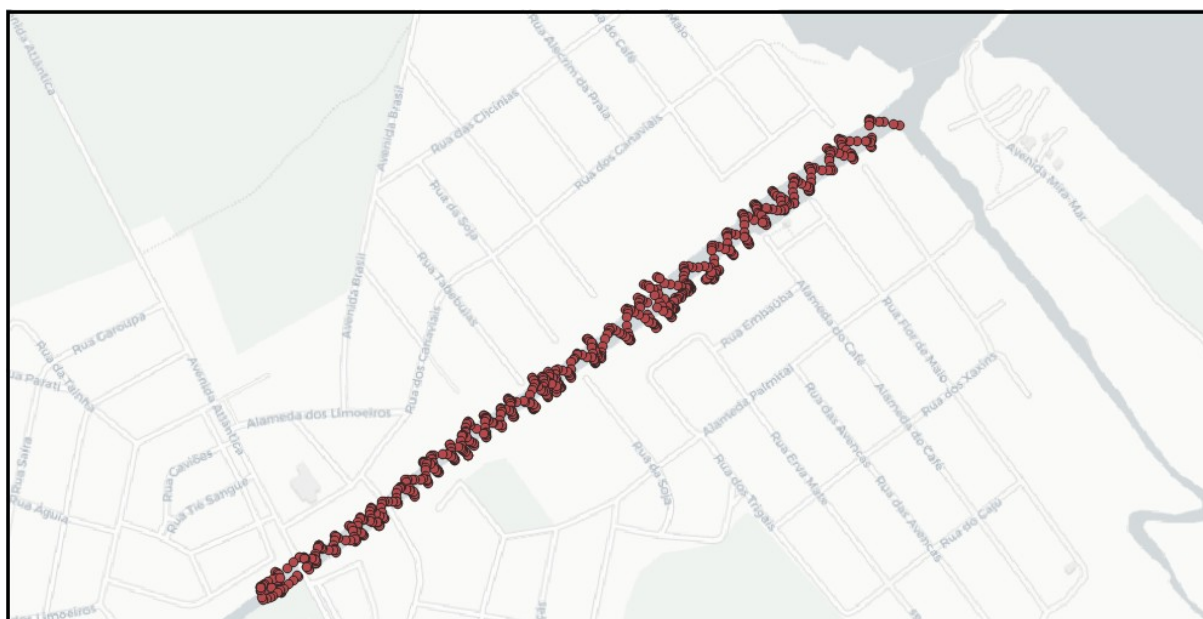
Tabela 1: Dados dispostos em planilha eletrônica

ID	Time	Leste	Norte	h	DPh	b	h_f	Hora Eco	Data_Hora_Eco
GPS_Auto_260352	14:02:30	766113,85	7168935,3	-1,35	0,01	0,76	-2,11	14:02:30	2021-07-23T17:02:30Z
GPS_Auto_260353	14:02:31	766113,84	7168935,29	-1,35	0,01	0,76	-2,11	14:02:31	2021-07-23T17:02:31Z
GPS_Auto_260354	14:02:32	766113,84	7168935,29	-1,34	0,01	0,74	-2,08	14:02:32	2021-07-23T17:02:32Z
GPS_Auto_260355	14:02:33	766113,84	7168935,29	-1,35	0,01	0,76	-2,11	14:02:33	2021-07-23T17:02:33Z
GPS_Auto_260356	14:02:34	766113,84	7168935,27	-1,34	0,01	0,76	-2,1	14:02:34	2021-07-23T17:02:34Z
GPS_Auto_260357	14:02:35	766113,83	7168935,27	-1,33	0,01	0,78	-2,12	14:02:35	2021-07-23T17:02:35Z
GPS_Auto_260358	14:02:36	766113,84	7168935,27	-1,34	0,01	0,76	-2,1	14:02:36	2021-07-23T17:02:36Z
GPS_Auto_260359	14:02:37	766113,84	7168935,26	-1,34	0,01	0,76	-2,09	14:02:37	2021-07-23T17:02:37Z
GPS_Auto_260360	14:02:38	766113,86	7168935,25	-1,35	0,01	0,76	-2,1	14:02:38	2021-07-23T17:02:38Z
GPS_Auto_260361	14:02:39	766113,86	7168935,25	-1,35	0,01	0,76	-2,11	14:02:39	2021-07-23T17:02:39Z
GPS_Auto_260362	14:02:40	766113,87	7168935,25	-1,35	0,01	0,76	-2,11	14:02:40	2021-07-23T17:02:40Z
GPS_Auto_260363	14:03:52	766108,65	7168934,47	-1,32	0,01	0,78	-2,11	14:03:52	2021-07-23T17:03:52Z

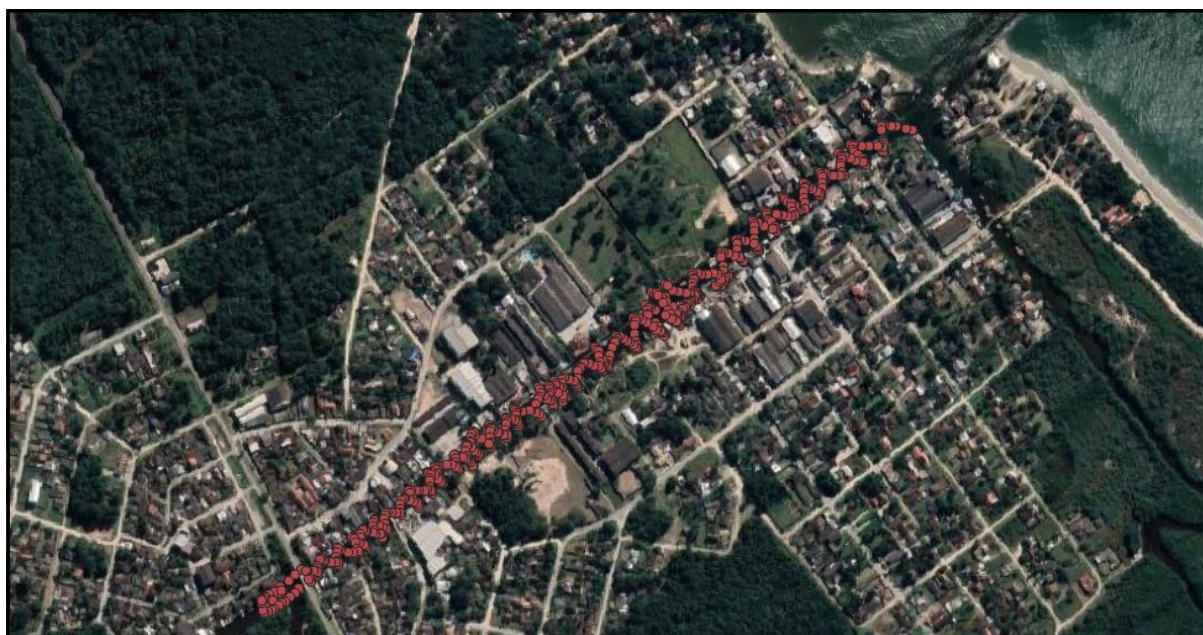
Fonte: A autora.

3.5 GERAÇÃO DO MDT

Para geração do MDT foi utilizado o *software* QGIS, versão 3.20.3-Odense. Os dados foram carregados em uma camada de texto delimitado a partir de uma planilha no formato *.csv, utilizando a geometria SRC EPSG:31982 - SIRGAS 2000 / UTM zone 22S. Também foram carregados os *layers Google Satellite* e *Carto Ligth* a fim de verificar a correta localização dos pontos, conforme pode ser observado nas FIGURAS 15 E 16:

FIGURA 15: PONTOS CARREGADOS NO QGIS – *LAYER CARTO LIGTH*

Fonte: A autora.

FIGURA 16: PONTOS CARREGADOS NO QGIS – *LAYER GOOGLE SATELLITE*

Fonte: A autora.

Após o carregamento dos dados, foram interpoladas as profundidades por triangulação, utilizando a técnica *TIN* – *Triangulated Irregular Network*), a qual é

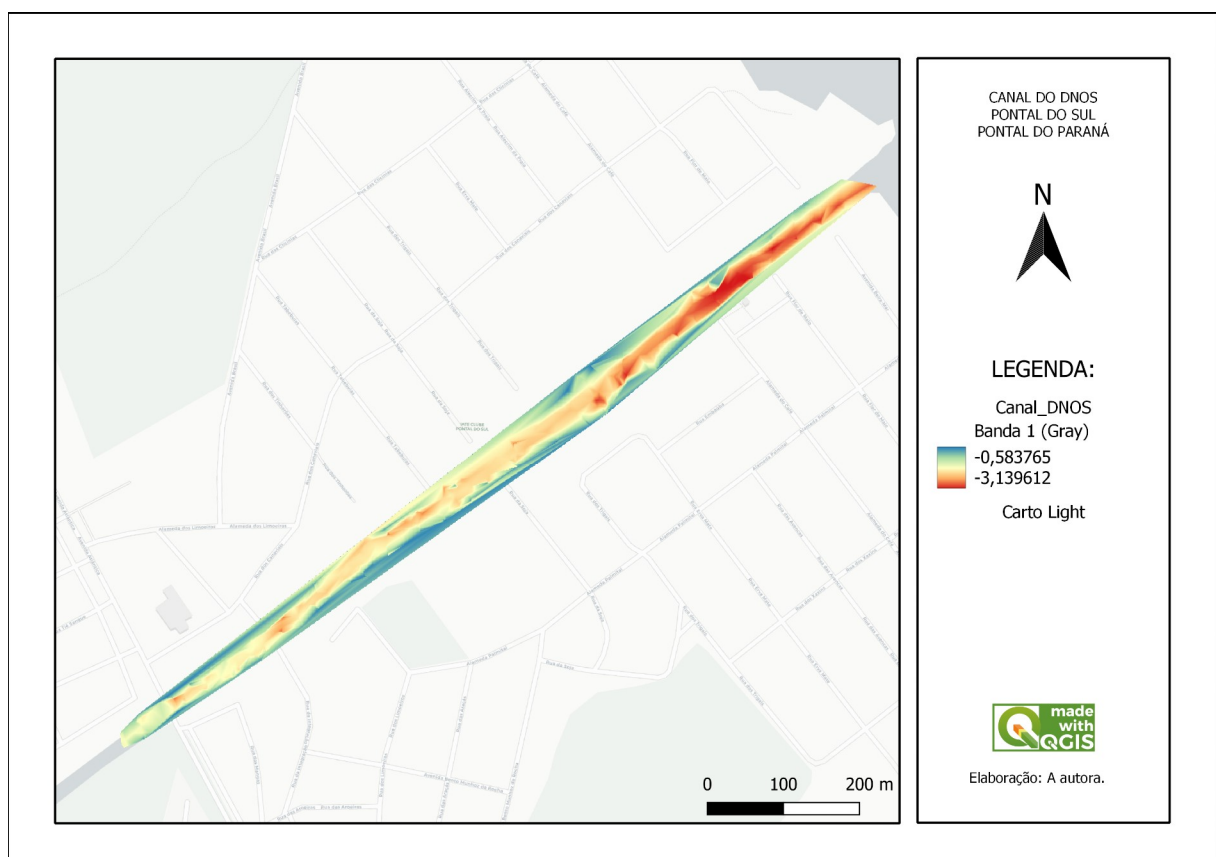
frequentemente empregada para as aplicações de análises e modelagens nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), apresentando um bom desempenho para criação de modelos digitais de elevação (CARMO *et al*, 2015; FERREIRA *et al*, 2014; AMARO *et al*, 2013; ELMIRO, 2008). O método de interpolação foi o linear, com a extensão limitada pela própria camada dos dados batimétricos e o tamanho do *raster* de saída foi 1496 x 1990 (linhas x colunas), com tamanho de pixel de 0,5 x 0,5 (X x Y). Para melhor visualização, foi aplicado o gradiente de cores *Spectral* (do azul ao vermelho), indicando as profundidades ao longo da área estudada, variando em 2,55 metros, em que o vermelho representa as maiores profundidades e o azul as menores profundidades. Para representação do modelo em 3D, foi utilizado o complemento Qgis2threejs, versão 2.7.1, com *Z exaggeration* 10. Também foram extraídas as curvas de nível, com equidistâncias entre contornos de 0,5 metros.

4 RESULTADOS

No levantamento batimétrico, a área de estudo do canal era de aproximadamente 45.506,440 m², onde foram medidos 5.221 pontos amostrais, sendo possível, através da interpolação dos dados, a geração de um Modelo Digital de Terreno (MDT). O tempo utilizado para realização da batimetria dentro do canal foi em torno de 2h30min, o que nos leva a uma taxa de aquisição de aproximadamente 35 pontos por minuto. O desvio padrão médio de h foi de 0,02 m.

A FIGURA 17 apresenta o Modelo Digital de Terreno (MDT) obtido a partir da interpolação dos dados batimétricos.

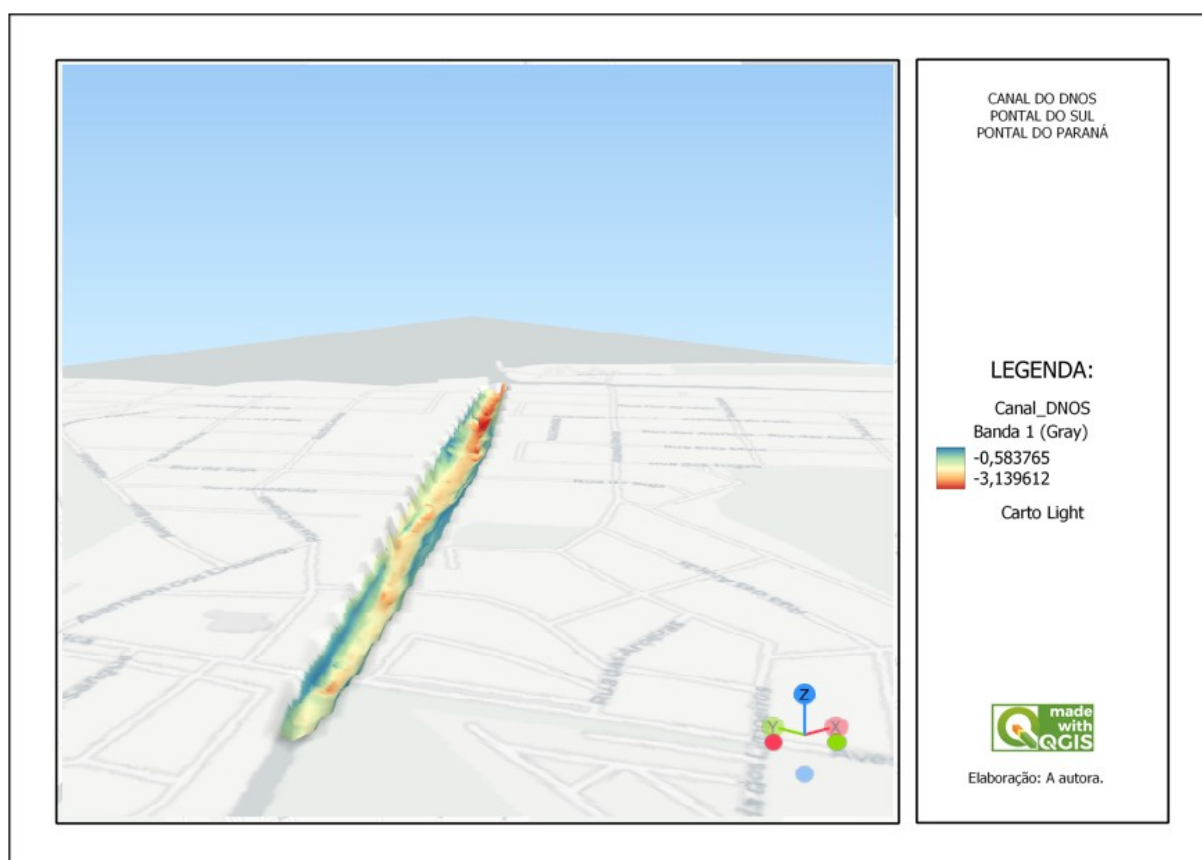
FIGURA 17: REPRESENTAÇÃO DAS PROFUNDIDADES



Fonte: A autora.

A FIGURA 18 apresenta o Modelo Digital de Terreno (MDT) em 3D.

FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO 3D



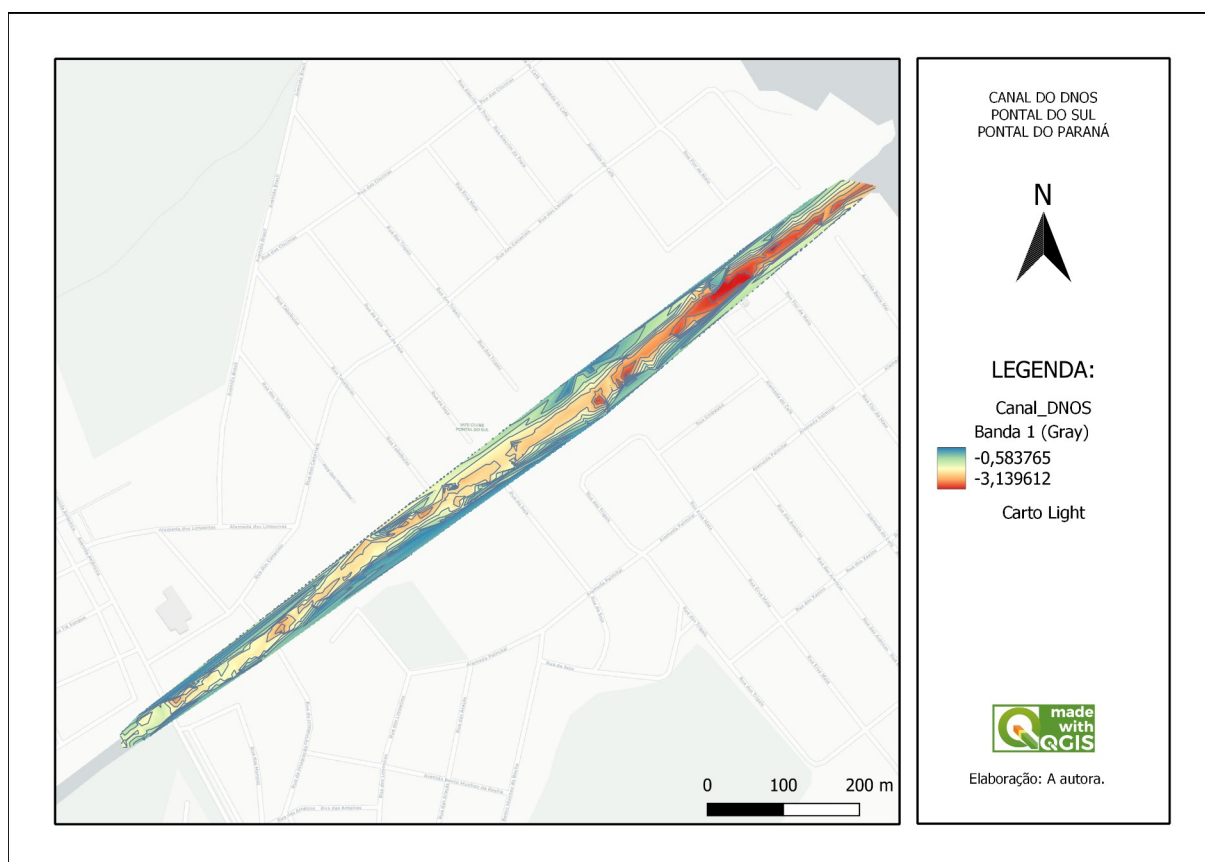
Fonte: A autora.

É possível verificar uma variação da profundidade de 0,58 m nos pontos mais rasos até 3,14 m nos pontos de maior profundidade.

A FIGURA 19 apresenta o Modelo Digital de Terreno com as curvas isobatimétricas em representação 2D de toda a área do estudo no Canal do DNOS. As curvas de nível podem auxiliar na identificação de feições topográficas, sendo muito relevante para a navegação, pois podem indicar o limite do calado para as embarcações, garantindo a segurança do tráfego náutico.

As curvas batimétricas também podem oferecer informações da área e do volume referente a cada cota, auxiliando, por exemplo, em cálculos de volume de dragagem.

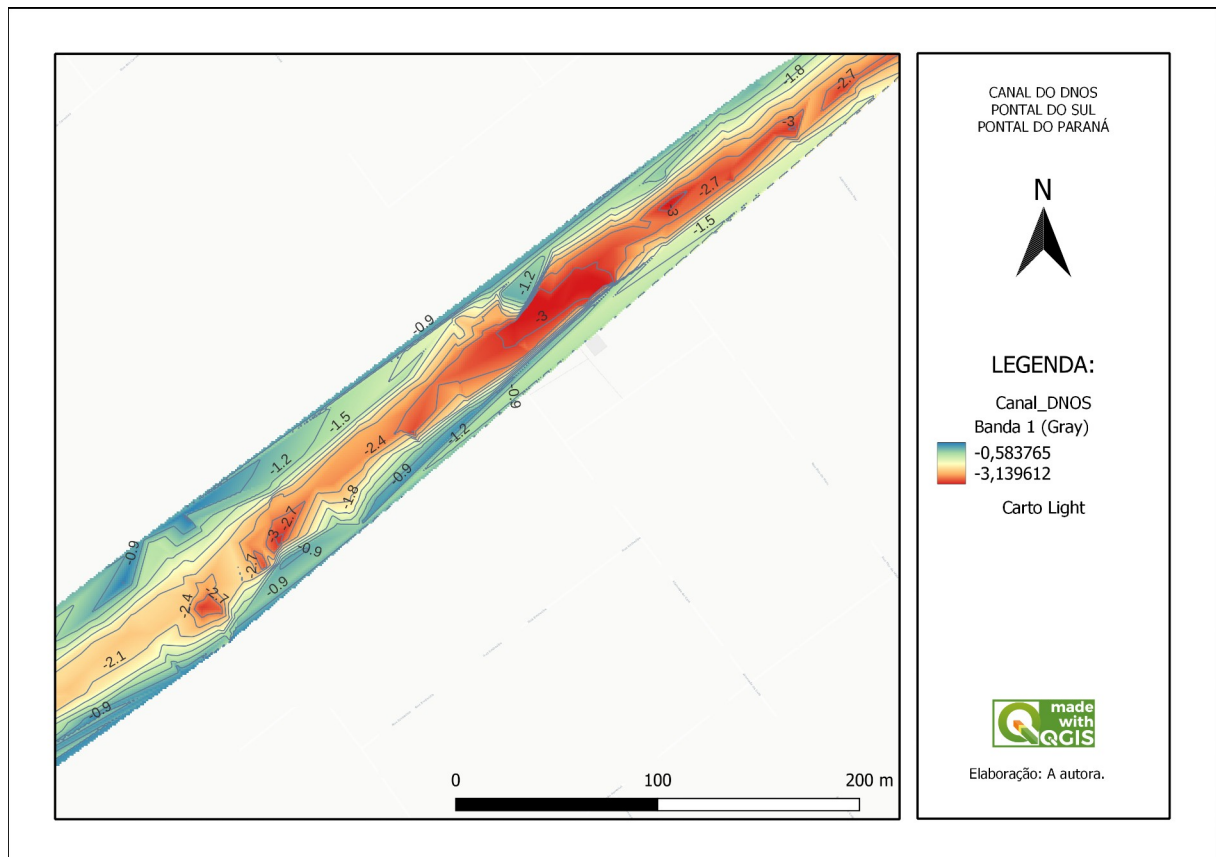
FIGURA 19: REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS ISOBATIMÉTRICAS



Fonte: A autora.

Para uma melhor visualização, a FIGURA 20 mostra um trecho do canal de forma ampliada, sendo possível identificar a feição topográfica das profundidades do canal com mais detalhes. O recorte escolhido foi o qual apresentava maior variação de profundidades, localizado em uma área com grande fluxo de embarcações.

FIGURA 20: REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS ISOBATIMÉTRICAS - AMPLIADA



Fonte: A autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou realizar uma batimetria com integração de dados de ecobatímetro de baixo custo e GNSS no canal do DNOS, na cidade de Pontal do Paraná. A metodologia apresentada mostrou-se como uma alternativa promissora para realização de batimetria em corpos hídricos de pequeno e médio porte, sendo acessível e eficaz para resolução de problemas que necessitem de uma geração de perfil topográfico para avaliação da área de estudo, por ter baixo custo e rapidez na apresentação dos resultados.

Além das vantagens econômicas, o modelo ainda pode ser utilizado em áreas que sofrem influência da maré, pois esta não influi nos dados obtidos, conforme a equação 2.2 apresentada neste trabalho.

Os dados de batimetria referenciados a um referencial geodésico (geoide ou quase-geoide ou elipsoide) possibilita a integração de dados topográficos de área emersas com áreas submersas, que por sua vez é fundamental na modelagem numérica para previsão de inundações e demais aplicações.

Trabalhos futuros poderão ser avaliados com indicadores estatísticos de dispersão, como Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, definido pelo Decreto nº 89.817/1984, o qual estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional.

Considerando o baixo custo da metodologia, a avaliação periódica dos canais podem ser realizadas para auxiliar em análises de assoreamento, melhorando o uso do canal para fins de navegação e auxiliando em estudos de erosão.

O levantamento batimétrico realizado possibilitou uma rápida avaliação empírica do canal do DNOS a partir do MDT gerado. A metodologia de baixo custo apresentada mostrou-se como uma possibilidade para determinação da batimetria do canal do DNOS, podendo ser utilizada frequentemente para avaliação de navegabilidade e outras aplicações.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Engenharia portuária**. São Paulo: Blucher, 2014. ISBN 978-85-212-0812-9.

ÁLVAREZ, D. G. **Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)**. 2008. 124 f. Proyecto Fin de Carrera – Grupo de sistemas de radiocomunicaciones y comunicaciones ópticas. Dpto. de Ingeniería Informática. Escuela Politécnica Superior. Universidad Autónoma de Madrid, 2008. Disponível em: <arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2022.

AMARO, V. E. ; LIMA, F. G. F. ; SANTOS, M.S.T. An Evaluation of Digital Elevation Models to Short-Term Monitoring of a High Energy Barrier Island, Northeast Brazil. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 76, p. 317-324, 2013.

ARANA, J. M. **O uso do GPS na determinação de altitudes ortométrica**. Unesp/FCT – Pres. Prudente. Depto. de Cartografia. 19060-900 Presidente Prudente SP. 2004. Disponível em: <www2.fct.unesp.br/docentes/carto/arana/cobrac2004.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

_____. **Introdução à geodésia física**. Unesp/FCT – Pres. Prudente. Depto. de Cartografia. 19060-900 Presidente Prudente SP. 2009. Disponível em: <hww2.fct.unesp.br/docentes/carto/arana/Apgfis.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

BILHALVA, W. D. de B. **Batimetria de pequenos reservatórios através de metodologia convencional e alternativa**. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Setor de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS), 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9575/BILHALVA%2C%20WAGNER%20DANTON%20DE%20BITTECOURT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 fev. 2022.

BRASIL. **Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos – NORMAN – 25/DNH – 2ª Revisão**. Marinha do Brasil – Diretoria de Hidrografia e Navegação. 2017. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAN-25-REV2-MOD1.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2022.

_____. **Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: <hww.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm>. Acesso em: 20 abr. 2022.

BRYS, L. M. **Cálculos Geodésicos - Aplicações on-line**. 2006. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/lageo/calculos/inicial.html>>. Acesso em: 27 mar. 2022.

CAMARGO, P. de O.; *et al.* **Posicionamento Relativo Cinemático com Receptor de Navegação Garmin GPS 12XL**. COBRAC 2004 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 10 a 14 out. 2004. Disponível em:

<www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/anaiseventos/camargo_posic_rel_cinem_re_c_naveg_cobrac_2004.PDF>. Acesso em 15 mar. 2022.

CARMO, E. J. do; *et al.* Avaliação dos interpoladores Krigagem e Topo to Raster para geração de modelos digitais de elevação a partir de um “*as built*”. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 21, no 4, p.674-690, out-dez, 2015. ISSN 1982-2170 <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400039>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bcg/a/n83ZY5DP8gmwxKRpVVZ6NHj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 14 abr. 2022.

CORREA, P. M.; *et al.* **Topografia e Geoprocessamento**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. ISBN 978-85-9502-271-3.

DAIBERT, J. D. **Topografia: técnicas e práticas de campo**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2014. ISBN: 978-85-365-1881-7.

ELMIRO, M. A. T. **Correção de modelos digitais de elevação INSAR através de superfícies de ajustes geradas por método de interpolação espacial**. – São José dos Campos: INPE, 2008. 207p.; Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.14.14.09/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2022.

EUA – GPS.Gov. Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. **Space Segment**. 2022. Disponível em: <<https://www.gps.gov/systems/gps/space/>>. Acesso em 20 mar. 2022.

FERREIRA, A. T. S.; *et al.* Geodésia de precisão aplicada à integração de dados topográficos e batimétricos na caracterização de superfícies de praia. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia (Online)**, v. 66, p. 153-170, 2014. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43904>>. Acesso em: 07 Out. 2021.

FERREIRA, I. O.; *et al.* Viabilidade do uso de imagens do sistema Rapideye na determinação da batimetria de águas rasas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, 2017. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44363>>. Acesso em: 30 Set. 2021.

FERREIRA, S. C. N.; FORTES, L. P. S. Análise preliminar dos impactos do uso de mais de um sistema GNSS no posicionamento preciso. **Revista Cartográfica**, (92), 2019. 31-51.. Disponível em: <<https://doi.org/10.35424/rcarto.i92.435>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

GAGG, G. **Apostila de Levantamentos hidrográficos – Noções gerais**. IGEO – Departamento de Geodesia. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/157210/001020445.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 29 Set. 2021.

IAT – Instituto Água e Terra. **Plano de Manejo da EEG (Estação Ecológica do Guaraguaçu)**, Curitiba, 2006. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Plano-de-Manejo-Estacao-Ecologica-do-Guaraguacu>>. Acesso em 28 set. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dicionário cartográfico**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/vocabulario-e-glossarios/16496-dicionario-cartografico.html?edicao=16513&t=sobre>>. Acesso em 27 mar. 2022.

_____. **Modelo para conversão de altitudes geométricas (dadas pelos GNSS) em altitudes físicas (compatíveis com o Datum Vertical do SGB). - O que é o geóide? 2021**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html?=&t=sobre>>. Acesso em: 04 abr. 2022.

_____. **Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais**. IBGE, Coordenação de Geodésia. - 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 56p. ISBN 978-85-240-4502-8. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2022.

_____. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. 2008. 35 p. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

IHO – International Hydrographic Organization. **Manual on Hydrography**. Principauté de Mônaco: International Hydrographic Bureau, 2005. 540p. Disponível em: <<https://www.acls-aatc.ca/wp-content/uploads/2017/06/iho-manual.pdf>>. Acesso em: 10 Fev. 2022.

KRUEGER, C.P., Integração do GPS e Ecobatimetria. **Rev. Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 5, p.55-68, 1999. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/download/1520/1274>>. Acesso em: 30 Set. 2021.

_____. Levantamentos Batimétricos, Revista INFOGEO 39 (MUNDOGEO) setembro 2012, Disponível em <<http://mundogeo.com/blog/2005/09/27/levantamentos-batimetricos>>. Acesso em: 30 Set. 2021.

KRUG, L. A.; NOERNBERG, M. A. O sensoriamento remoto como ferramenta para determinação de batimetria de baixios na Baía das Laranjeiras, Paranaguá - PR. **Revista Brasileira de Geofísica** [online]. 2007, v. 25, suppl 1. pp. 101-105. Epub 06 Nov 2007. ISSN 0102-261X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-261X2007000500010>>. Acesso em: 29 Set. 2021.

_____. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3077-3084. Disponível em: <[harte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.15.11/doc/3077.pdf](http://arte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.15.11/doc/3077.pdf)>. Acesso em: 29 Set. 2021.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

NOAA. **Living in the Dark: Gulf of Mexico**. Ocean Today. Disponível em: <<https://oceanoday.noaa.gov/fullmoon-livinginthedark/welcome.html>>. Acesso em: 09 Fev. 2022.

OLIVEIRA, M. T. de; SARAIVA, S. **Fundamentos de geodésia e cartografia**. Porto Alegre: Bookman, 2016. ISBN 978-85-8260-369-7.

PACHECO, C. A. K. **Levantamento Hidrográfico – Topobatimetria do canal entre as ilhas do Lino e do Laje**. Trabalho de conclusão de Curso. Depto de Geodesia, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

PARANÁ; *et al.* RIMA – Relatório de Impacto Ambiental – Faixa de infraestrutura – Pontal do Paraná.

PEREIRA, J. P. G.; BARACUHY, G. de V. **Ecobatimetria - Teoria e Prática** - Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. 84p. il.

PINET, P. R. **Essential invitation to oceanography**, 1 ed. 2014. Jones and Barllet Learning, LLC. ISBN: 978-1-4496-8643-7.

PONTAL DO PARANÁ. **Diagnóstico – Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – Pontal do Paraná, Pr, Brasil**. 2004. Disponível em: <https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-03/pontal_diagnostico.pdf>. Acesso em 08 Out. 2021.

RAMOS, A. M.; KRUEGER, C.P., Aplicação de reduções batimétricas GPS em levantamentos hidrográficos, **Rev. Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, no 4, p.615-635, 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/16284/10775>>. Acesso em: 30 Set. 2021.

RIBEIRO, L.; SILVEIRA, R. M. P.; NUCCI, J. C. O crescimento populacional como fator de risco à perda florestal no município de Pontal do Paraná, litoral paranaense, Brasil. 2013. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. p.120-139. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/75177/78725>>. Acesso em: 07 Out. 2021.

SANTOS, H. S.; *et al.* Análise do Geopotencial a partir de Mapas Batimétricos da Bacia de Campos. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**. n. 2. 2015. pp. 10-18. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao2/FSMA_RESA_2015_2_02.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SANTOS, M. S. T.; *et al.* Altimetria GNSS de precisão aplicada ao monitoramento da dinâmica sedimentar costeira de curta duração em escala regional. **Boletim de Ciências Geodésicas [online]**. 2013, v. 19, n. 4, pp. 624-638. ISSN 1982-2170. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1982-21702013000400007>>. Acesso em: 16 Mar. 2022.

SAVIETTO, R. **Topografia aplicada**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. ISBN: 978-85-9502-079-5.

SILVA, I. da.; SEGANTINE, P. C. L. **Exercícios de topografia: teoria e prática de geomática**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.: il.; 27 cm. ISBN 978-85-352-8811-7.

_____. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. 1. ed. - [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2020. il. ; 28 cm.

SOUZA, D. F. de; PINTO, A. L. Levantamento batimétrico automatizado em ambiente lacustre brasileiro: o estudo de caso da Lagoa Maior. **Revista Cerrados**. Montes Claros –MG, v. 18, n. 02, p. 536-552, jul./dez.-2020. E-ISSN: 2448-2692; ISSN (Impresso): 1678-8346. Disponível em: <<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/3068/3466>>. Acesso em: 31 jan. 2022.