

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 05/02/2025.

VALDER ALVARO DA LUZ SILVA

**DETERMINAÇÃO DA TOPOGRAFIA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR  
POR MEIO DO POSICIONAMENTO GNSS**

Presidente Prudente – SP

2024

VALDER ALVARO DA LUZ SILVA

**DETERMINAÇÃO DA TOPOGRAFIA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR  
POR MEIO DO POSICIONAMENTO GNSS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da FCT\UNESP - Câmpus de Presidente Prudente, como parte dos requisitos parciais para a obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

**Orientadora: Dra. Daniele Barroca Marra Alves**

Presidente Prudente – SP

2024

S586d Silva, Valder Alvaro da Luz  
Determinação da Topografia do Nível Médio do Mar por meio do  
Posicionamento GNSS / Valder Alvaro daLuz Silva. -- , 2024  
121 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente,  
Orientadora: Daniele Barroca Marra Alves

1. Topografia do Nível Médio do Mar. 2. Posicionamento GNSS. 3.  
Modelos de TNMM. 4. Modelos Geoidais. 5. Marés Oceânicas. I.  
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de  
Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.


**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Determinação da Topografia do Nível Médio do Mar por meio do Posicionamento GNSS

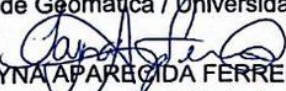
**AUTOR:** VALDER ALVARO DA LUZ SILVA

**ORIENTADORA:** DANIELE BARROCA MARRA ALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Cartográficas, área: Aquisição, Análise e Representação de Informações Espaciais pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. DANIELE BARROCA MARRA ALVES (Participação Presencial)  
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Profa. Dra. REGIANE DALAZOANA (Participação Virtual)  
Departamento de Geomática / Universidade Federal do Paraná

  
Profa. Dra. TAYNA APARECIDA FERREIRA GOUVEIA (Participação Presencial)  
Pós-Doutoranda / Unesp - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Presidente Prudente, 05 de fevereiro de 2024

## **DEDICATÓRIA**

*Ao meu Senhor e Salvador, Jesus Cristo.  
“Pois Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas.  
A Ele seja a glória para sempre! Amém.”  
Rm 11:36*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, eu agradeço ao meu Deus por me guiar em todos os momentos durante este período de grandes desafios, novidades incríveis e imensas alegrias. Sem a capacitação, a força, a saúde e a paz que Ele me concedeu, certamente, não seria possível alcançar a realização deste sonho.

À minha esposa, Alany, por toda motivação nos momentos de fraqueza, pela paciência nos períodos de ausência, pela perseverança durante as dificuldades, pelo cuidado rotineiro e atencioso e pelo amor dedicado e verdadeiro.

Aos meus pais, Ismar e Maria de Fátima, por sempre lutarem para me dar a melhor educação possível e por sempre acreditarem, investirem e orarem por mim. Ao meu irmão, Vitor, por ser meu melhor amigo e um companheiro para todos os momentos. Sou eternamente grato por nunca desistirem de mim, mesmo nos momentos em que nem eu mesmo acreditava.

À minha orientadora, Professora Dra. Daniele Barroca, por acreditar em meu potencial, pelos ensinamentos e conselhos precisos que me auxiliaram a ingressar na vida acadêmica. Sou grato, também, pela paciência, pela compreensão e pela confiança que sempre depositou em mim.

À Professora Dra. Regiane Dalazoana e à Dra. Tayná Gouveia, por todas as contribuições ao estudo por ocasião do exame de qualificação e da defesa da dissertação.

Aos meus sogros, Jaime e Regina, por todas as palavras de incentivo e pelas constantes orações.

Aos meus tios: Ivan, Ivana, Gilvan, Severina, Jorge, Maria das Graças, Maria Aparecida, Nadir, Rubens, Eluiza, Edson e Deise por todas as orações, apoio e votos de sucesso.

À empresa Delfos Marítima, na pessoa do CMG (Rm-1) Aluízio, por apoiar esta pesquisa, cedendo um dia útil de sua embarcação hidrográfica e de seus colaboradores para que este estudo fosse realizado.

Ao amigo Felipe Santana, por todas as dicas, conselhos e ensinamentos, bem como por me ajudar a obter os dados utilizados nesta pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC), por todos os ensinamentos passados a mim durante o período do mestrado. Aos funcionários do programa, por todo apoio que necessitei. Aos colegas, pós-graduandos do PPGCC, pelo convívio amistoso e pelo constante incentivo.

À Marinha do Brasil, por me dar a oportunidade de cursar o mestrado e me dar todo o apoio que necessitei durante o período que estive em Presidente Prudente.

Aos demais amigos e familiares, que sempre oraram e torceram por mim durante esta caminhada.

## RESUMO

O nível médio do mar (NMM), desde muitos anos, vem sendo alvo de preocupação e estudo por diversas áreas do conhecimento. Seu acompanhamento contínuo é de suma importância para assuntos relativos a mudanças climáticas, prevenção de desastres e, ainda, para a definição de referenciais altimétricos. Neste último contexto, o NMM é constantemente utilizado como uma aproximação do geoide, que consiste em uma superfície equipotencial do campo da gravidade e descreve o formato físico da Terra. Entretanto, verifica-se a existência de uma diferença entre o NMM e o geoide, denominada Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM), gerada principalmente por fatores hidrodinâmicos. A TNMM é bastante intensificada nas regiões costeiras, o que influencia na definição adequada dos referenciais verticais baseados na observação do nível do mar, sejam estes altimétricos ou batimétricos. Além disso, a determinação desta diferença torna possível a unificação destes sistemas de medições, trazendo uma série de vantagens em termos cartográficos, ambientais e operacionais. Dessa forma, tendo este mesmo foco, o presente trabalho teve por objetivo a definição da superfície topográfica do NMM, na região da Baía de Guanabara-RJ, por meio da modelagem da TNMM. Para isso, foi utilizado o posicionamento GNSS, ciência cada vez mais empregada em inúmeras aplicações que necessitam de estimativas de posições, devido ao constante aprimoramento de suas técnicas em termos de resolução e acurácia. O trabalho se iniciou com a revisão bibliográfica que forneceu a base teórica para a realização da pesquisa. Logo após, foi realizada uma pesquisa de campo, na qual dados de posicionamento foram coletados sobre uma embarcação que percorreu um trajeto específico no interior da região aludida. Ademais, foram incluídos na modelagem as alturas de maré coletadas por meio de marégrafos distribuídos pela área e dados referentes aos fatores de conversão extraídos do modelo hgeoHNOR2020, assumidos como equivalentes às ondulações geoidais da região. O resultado foi o desenvolvimento de um modelo local de TNMM com desvio-padrão de  $\pm 7,4$  cm. Em seguida, este resultado foi representado em uma grade de 50 metros de resolução e comparado aos modelos de TNMM globais DTU22MDT e MDT CNES-CLS22, adequadamente interpolados sobre a área do estudo. Na comparação, foram obtidos os valores de RMSE de 2,6 cm e de 2,5 cm, respectivamente, ratificando a qualidade do modelo desenvolvido.

Palavras-Chave: TNMM, Posicionamento, GNSS, NMM, Geoide.

## ABSTRACT

The mean sea level (MSL) has been a subject of concern and study across various fields of knowledge for many years. Its continuous monitoring is crucial for addressing issues related to climate change, disaster prevention, and the establishment of altimetric references. In this context, MSL is often utilized as an approximation of the geoid, representing an equipotential surface of the gravitational field that describes the physical shape of the Earth. However, a disparity exists between MSL and the geoid, termed Mean Dynamic Topography (MDT), primarily generated by hydrodynamic factors. MDT is significantly intensified in coastal regions, impacting the accurate definition of vertical references based on sea level observation, whether altimetric or bathymetric. Additionally, resolving this difference enables the unification of these measurement systems, bringing forth numerous advantages in cartographic, environmental, and operational terms. In line with this focus, the present study aimed to define the topographic surface of MSL in the region of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, through the modeling of MDT. Global Navigation Satellite System (GNSS) positioning, an increasingly employed science in applications requiring position estimates due to continual refinement in resolution and accuracy, was used for this purpose. The research commenced with a literature review providing the theoretical foundation for the study. Subsequently, a field survey collected positioning data on a vessel following a specific route within the mentioned region. The modeling incorporated tidal heights collected from tide gauges distributed throughout the region and geoidal undulation data extracted from the hgeoHNOR2020 altitude conversion model. The outcome was the development of a local MDT model with a standard deviation of  $\pm 7.4$  cm. This result was then represented on a 50 m resolution grid and compared to global MDT models DTU22MDT and MDT CNES-CLS22, appropriately interpolated over the study area. In the comparison, Root Mean Square Error (RMSE) values of 2.6 cm and 2.5 cm were obtained, respectively, affirming the quality of the developed model.

Keywords: MDT, Positioning, GNSS, MSL, Geoid.

## LISTA DA FIGURAS

Figura 1: Blocos de Satélites GPS. ....	29
Figura 2: Segmento de Controle GPS.....	30
Figura 3: Blocos de Satélites GLONASS. ....	32
Figura 4: Transmissão e Recepção do sinal GNSS.....	34
Figura 5: Demonstração geométrica do PDOP.....	36
Figura 6: Configuração para simples diferenças (SD).....	39
Figura 7: Configuração para Dupla Diferença (DD). ....	40
Figura 8: Comparação entre DD de pseudodistâncias e de fases. ....	41
Figura 9: Forças geradoras de maré.....	50
Figura 10: Interações entre as influências da Lua e do Sol sobre as massas d'água terrestre: (esquerda) interação construtiva e (direita) destrutiva. ....	51
Figura 11: Movimento da maré oceânica. ....	51
Figura 12: Comparação entre dados maregráficos e dados filtrados por FMM. ....	54
Figura 13: Comparação entre dados maregráficos e dados filtrados por compressão <i>wavelet</i> .....	55
Figura 14: Modelo geoidal MAPGEO2015.....	59
Figura 15: Modelo DTU22MDT. ....	64
Figura 16: Modelo MDT CNES-CLS22.....	65
Figura 17: Área de estudo.....	66
Figura 18: a) Embarcação Delfos 2; b) Antena do receptor GNSS Seapath 130. ....	67
Figura 19: Localização da Estação RJNI.....	68
Figura 20: Disposição dos marégrafos utilizados na pesquisa. ....	69
Figura 21: Dados altimétricos medidos pelos marégrafos.....	70
Figura 22: Registro de dados de 32 anos do marégrafo da Ponta da Armação. ....	71
Figura 23: Extrato do arquivo de saída do modelo de conversão de altitudes hgeoHNOR2020. ....	71
Figura 24: Fluxograma da metodologia proposta. ....	73
Figura 24: Carta de Correntes de Maré da Baía de Guanabara-RJ: a) 2 horas antes da preamar e b) 2 horas depois da preamar. ....	79
Figura 26: Distância entre estações no zoneamento de maré. ....	82
Figura 26: Nivelamento dos dados maregráficos. ....	83
Figura 27: Ilustração da metodologia adotada.....	84
Figura 29: Trajeto percorrido em relação à área de estudo.....	87

Figura 30: Resultado do posicionamento horizontal obtido pelo software RTKLIB.....	88
Figura 31: Componentes N e E do posicionamento. ....	88
Figura 32: Número de satélites utilizados no processamento.....	89
Figura 33: Desvios-padrões do posicionamento horizontal (m).....	90
Figura 34: Componentes verticais do posicionamento. ....	90
Figura 35: Desvios-padrões do posicionamento vertical (m). ....	91
Figura 36: Comparações entre os resultados do FMM, com janelas amostrais variadas, com a curva de maré da Ponta da Armação.....	92
Figura 37: Verificação dos NMD reduzidos à média. ....	93
Figura 38: Curvas de maré dos marégrafos da Ilha Rasa e da Ilha do Boqueirão reduzidos de seus respectivos valores médios .....	94
Figura 39: Zonas de maré na região da Baía de Guanabara. ....	96
Figura 40: Curvas de maré interpoladas niveladas ao NMM de 32 anos. ....	97
Figura 41: Modelo de Altitudes Elipsoidais do NMM em função do Tempo. ....	97
Figura 42: Comparação das Altitudes Elipsoidais do NMM com os Fatores de Correção do hgeoHNOR2020 .....	98
Figura 43: Modelo de TNMM em função do tempo. ....	99
Figura 44: Verificação dos valores de TNMM nos cruzamentos do trajeto.....	100
Figura 45: Superfície da TNMM. ....	101
Figura 46: Modelos Globais de TNMM interpolados. ....	102
Figura 47: Superfícies Diferença. ....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre os filtros de dados estudados. ....	56
Tabela 2: Marégrafos utilizados na pesquisa. ....	69
Tabela 3: Configuração utilizada no processamento pelo RTKLIB. ....	75
Tabela 4: Análise das janelas amostrais do FMM. ....	91
Tabela 5: Parâmetros estatísticos do zoneamento com diversos valores de degrau. ....	95

## LISTAS DE SIGLAS

CDMA	- <i>Code Division Multiple Access</i>
CHAMP	- <i>Challenging Mini-Satellite Payload</i>
CICVTM	- Comitê de Integração das Componentes Verticais Terrestres e Marítimas
CLS	- <i>Collecte Localisation Satellites</i>
CMQ	- Colocação por Mínimos Quadrados
CNES	- <i>Centre National d'Études Spatiales</i>
CODE	- <i>Centre for Orbit Determination in Europe</i>
CONCAR	- Comissão Nacional de Cartografia
DD	- Dupla Diferença
DHN	- Diretoria de Hidrografia e Navegação
DTU	- <i>Danmarks Tekniske Universitet</i>
EGM	- <i>Earth Gravitational Model</i>
EGNOS	- <i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>
EKF	- <i>Extended Kalman Filter</i>
EMQ	- Erro Médio Quadrático
EPUSP	- Escola Politécnica da USP
FDMA	- <i>Frequency Division Multiple Access</i>
FMM	- Filtro de Média Móvel
GAGAN	- <i>GPS and GEO Augmented Navigation</i>
GBAS	- <i>Ground-Based Augmentation System</i>
GDOP	- <i>Geometric Dilution of Precision</i>
VDOP	- <i>Vertical Dilution of Precision</i>
GEOS	- <i>Geophysical Satellite</i>
GGOS	- <i>Global Geodetic Observation System</i>
GGRF	- <i>Global Geodetic Reference Frame</i>
GGRS	- <i>Global Geodetic Reference System</i>
GLONASS	- <i>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema</i>
GNSS	- <i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GNSS-R	- Reflectometria GNSS
GOCE	- <i>Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer</i>
GPS	- <i>Global Positioning System</i>
GRACE	- <i>Gravity Recovery And Climate Experiment</i>

HDOP	- <i>Horizontal Dilution of Precision</i>
IAG	- <i>International Association of Geodesy</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
ICGEM	- <i>International Centre for Global Earth Models</i>
IGFS	- <i>International Gravity Field Service</i>
IGS	- <i>International GNSS Service</i>
IHRS	- <i>International Height Reference System</i>
ISB	- <i>Inter-System Bias</i>
ISG	- <i>International Service for the Geoid</i>
ITRF	- <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
ITRS	- <i>International Terrestrial Reference System</i>
LAMBDA	- <i>Least-Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment</i>
MDE	- Modelo Digital de Elevação
MDT	- <i>Mean Dynamic Topography</i>
MGG	- Modelos Globais de Geopotencial
MGO	- Modelos Globais Oceânicos
MMQI	- Método dos Mínimos Quadrados Inteiros
MSS	- <i>Mean Sea Surface</i>
NMM	- Nível Médio do Mar
NORMAM	- Norma da Autoridade Marítima
OHI	- Organização Hidrográfica Internacional
ONU	- Organização das Nações Unidas
PDOP	- <i>Position Dilution of Precision</i>
PRN	- <i>Pseudo Random Noise</i>
PZ-90	- <i>Parametry Zemli 1990</i>
RAAP	- Rede Altimétrica de Alta Precisão
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
REALT-2018	- Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais em 2018
RGRC	- Rede Geodésica de Referência Costeira
RINEX	- <i>Receiver Independent Exchange Format</i>
RMSE	- <i>Root Mean Squared Error</i>
RN	- Referência de Nível
SA	- <i>Selective Availability</i>

SAT-RN	- Referências de Nível com conexão Satelital GNSS
SBAS	- <i>Satellite-Based Augmentation System</i>
SCGGSA	- Subcomissão de Gravidade e Geoide da América do Sul
SD	- Simple Diferença
SEP	- Separação entre o Nível de Redução de Maré e o Elipsoide
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro
SGS	- <i>Sovietic Geodetic System</i>
SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SLA	- <i>Sea Level Anomalies</i>
SRTM	- <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
SSH	- <i>Sea Height Surface</i>
TAI	- Tempo Atômico Internacional
TNMM	- Topografia do Nível Médio do Mar
USP	- Universidade de São Paulo
UTC	- Universal Time Coordinated
WAAS	- <i>Wide Area Augmentation System</i>
WGS-84	- <i>World Geodetic System 1984</i>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1.	Caracterização do Assunto.....	18
1.2.	Objetivos .....	21
1.3.	Justificativa.....	22
1.4.	Estrutura da Dissertação.....	25
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>27</b>
2.1.	Sistemas de Posicionamento.....	28
2.1.1.	GPS .....	28
2.1.2.	GLONASS.....	31
2.2.	Posicionamento pelo GNSS .....	33
2.2.1.	Observáveis GNSS.....	37
2.2.2.	Posicionamento Relativo Cinemático .....	41
2.3.	O Geoide .....	45
2.4.	O Nível Médio do Mar e a Topografia do Nível Médio do Mar .....	46
2.5.	Marés.....	49
2.5.1.	Experimento sobre Filtragem de Dados Maregráficos.....	53
2.6.	Modelos Globais de Geopotencial (MGG).....	56
2.6.1.	MAPGEO2015.....	58
2.6.2.	HgeoHNOR2020 .....	61
2.7.	Modelos Globais Oceânicos (MGO) .....	62
2.7.1.	Modelos de TNMM .....	63
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>66</b>
3.1.	Área de Estudo .....	66
3.2.	Material.....	67
3.3.	Métodos.....	72
3.3.1.	Coleta dos dados GNSS.....	74

3.3.2.	Processamento dos dados GNSS .....	74
3.3.3.	Filtragem dos Dados de Posicionamento pelo FMM.....	76
3.3.4.	Coleta de Dados Maregráficos .....	77
3.3.5.	Verificação dos dados maregráficos .....	77
3.3.6.	Interpolação espacial dos dados maregráficos .....	78
3.3.6.1.	Verificação da direção do zoneamento de maré .....	78
3.3.6.2.	Adoção de referência vertical única.....	79
3.3.6.3.	Cálculo da quantidade de subáreas (zonas) .....	80
3.3.6.4.	Interpolação linear dos dados maregráficos.....	81
3.3.6.5.	Cálculo do comprimento das subáreas (zonas).....	81
3.3.6.6.	Validação do zoneamento de maré .....	82
3.3.7.	Nivelamento dos dados maregráficos .....	82
3.3.8.	Modelagem das altitudes elipsoidais do NMM .....	84
3.3.9.	Comparação entre o modelo de altitudes elipsoidais e dados de ondulação geoidal .....	85
3.3.10.	Modelagem da TNMM.....	85
3.3.11.	Representação e comparação entre os modelos de TNMM.....	86
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	87
4.1.	Posicionamento GNSS .....	87
4.2.	Maregrafia .....	93
4.3.	Modelagem das altitudes elipsoidais do NMM.....	97
4.4.	Modelagem da TNMM .....	99
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros .....	106
6.	REFERÊNCIAS.....	108

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Caracterização do Assunto

A Geodésia é a Ciência que tem por objetivo a determinação da geometria, do campo de gravidade e dos parâmetros de rotação da Terra, além das respectivas evoluções temporais (TORGE, 2001, SANTANA, 2020). Tais atribuições a tornam intimamente ligada ao monitoramento dos processos geofísicos que ocorrem no planeta, bem como dos resultados das ações antrópicas sobre o ambiente terrestre. Fenômenos naturais como a tectônica de placas, efeitos da atração gravitacional, marés terrestres e oceânicas e os impactos das alterações climáticas sobre o ambiente terrestre e marítimo são apenas alguns dos processos que podem ser melhor compreendidos com o avanço da Geodésia (BLEWITT, 2007).

Como um dos principais movimentos neste sentido, a Associação Internacional de Geodésia (IAG - *International Association of Geodesy*) criou, após aprovação em sua assembleia geral ocorrida em 2003, o Sistema Global de Observação Geodésica (GGOS - *Global Geodetic Observation System*). O GGOS foi criado com o objetivo de fornecer a base metrológica para todas as análises de mudanças globais e para todas as questões essenciais que lidam com a deformação e redistribuição de massas dentro do Sistema Terra, o qual abrange crosta terrestre, hidrosfera, atmosfera e criosfera. Esta base consiste na materialização de referenciais geodésicos de alta acurácia e em observações inerentes à forma, rotação e campo gravitacional terrestre (GGOS, 2023).

Referenciais geodésicos estáveis ao longo do tempo e com consistência homogênea em todo o globo são essenciais para o acompanhamento dos processos geodinâmicos do planeta (IHDE et al., 2015). Sua importância, atualmente, tem sido reconhecida não só pela comunidade científica, mas também por órgãos internacionais. Neste contexto, a Organização das Nações Unidas (ONU) adotou, em fevereiro de 2015, uma resolução que institui uma Rede de Referência Geodésica Global (GGRF – *Global Geodetic Reference Frame*) para o desenvolvimento sustentável. Nela, a ONU reconhece a necessidade de referenciais para o gerenciamento de riscos provenientes de ameaças ambientais; monitoramento das mudanças climáticas e do nível do mar e para assuntos relacionados a informações geoespaciais, mapeamento e navegação (UN-GGIM, 2019).

Como elemento fundamental para a realização desta resolução da ONU, o GGOS tem atuado para a criação do Sistema Global de Referência Geodésica (GGRS – *Global Geodetic Reference System*) (GGOS, 2023). Conforme Castro Jr. (2018), o GGRS

consiste em modelos matemáticos e físicos, teorias e metodologias geodésicas com o propósito de integrar informações como coordenadas cartesianas tridimensionais (X, Y e Z), potenciais gravimétricos da Terra real (W), altitudes físicas (H) e vetores de aceleração da gravidade (g).

Em última análise, este esforço visa integrar o Sistema Internacional de Referência Terrestre (ITRS – *International Terrestrial Reference System*), altamente consolidado nas últimas décadas, ao Sistema Internacional de Referência Altimétrica (IHRs – *International Height Reference System*), o qual continua sendo um desafio para os dias atuais, principalmente no que diz respeito à sua unificação. Tal desafio corresponde a uma das quatro áreas de atuação (*Focus Areas*) atuais do GGOS (unificação dos sistemas de altitude, monitoramento de ameaças ambientais, pesquisa geodésica sobre clima espacial e inteligência artificial aplicada à geodésia) que consistem em assuntos nos quais considera haver lacunas de conhecimento e necessidade de desenvolvimentos de novas pesquisas e produtos (GGOS, 2023).

Neste mesmo foco, a relação entre o geoide e o nível médio do mar (NMM) é amplamente discutida no contexto de referenciais altimétricos. O geoide é uma superfície equipotencial do campo de gravidade aceita como o modelo mais próximo da forma do planeta Terra, sendo influenciado por variações locais de massa e densidade em seu interior, a partir de onde seriam medidas as altitudes físicas. Segundo Carl Friedrich Gauss (1777-1855) esta superfície corresponde à superfície do Nível Médio do Mar (NMM) homogêneo, supostamente prolongado pelos continentes (TORGE, 2001). Porém, diversos autores reconhecem que esta definição não pode ser aplicada em toda dimensão oceânica, embora outros considerem válida ainda hoje.

O motivo desta divergência se daria pela existência de uma diferença entre as superfícies do geoide e do NMM, principalmente, em regiões costeiras devido à efeitos hidrodinâmicos provocados pelo contato da massa d'água com o fundo do mar. Esta diferença é conhecida, pelos autores que consideram sua existência, como topografia do nível médio do mar (TNMM) e sua análise contribui para a definição mais adequada dos referenciais de altitude, bem como a possibilidade da integração destes.

Algumas instituições acadêmicas vêm realizando diversos estudos neste sentido. Como fruto destes esforços, foram desenvolvidos alguns modelos globais de TNMM que visam apoiar trabalhos que necessitem de sua aplicação em assuntos relativos à Geodésia ou à Oceanografia. Entretanto, apesar de alcançarem resultados expressivos nesta temática, tais modelos globais apresentam resoluções consideravelmente baixas, com

células de dimensões superiores a 10 Km, dificultando a análise de variações locais necessárias para a aplicação adequada no contexto de integração de referenciais altimétricos. Dessa forma, o desenvolvimento de modelos locais de TNMM surge como a solução para este problema, tendo em vista a possibilidade de fornecer produtos em alta resolução, como é o caso do presente trabalho.

Existem diversas formas de mensurar e quantificar a TNMM em áreas costeiras. Dentre estas, destaca-se a utilização do Posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). O termo GNSS refere-se aos sistemas de posicionamento baseados no uso de satélites, dentre os quais destacam-se os sistemas GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (*GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikova Sistema*), BeiDou e Galileo, bem como os sistemas de aumento (MONICO, 2008; SEEBER, 2003; HEGARTY, 2017). O GNSS apresenta inúmeras vantagens como a disponibilidade de dados em condições climáticas adversas, a não necessidade de visibilidade entre receptores e a rapidez na obtenção de coordenadas. Estas vantagens fazem com que o GNSS seja cada vez mais demandado para as mais distintas aplicações (LANGLEY et al., 2017).

No contexto da relação entre o geóide e o NMM, mesmo havendo divergências entre autores quanto à existência ou não da TNMM, o posicionamento GNSS tem sido aplicado por ambas as vertentes de pensamento, obtendo resultados expressivos em termos quantitativos e qualitativos, tanto na definição da superfície geoidal quanto na medição da TNMM (BOUIN et al., 2009, LAVROG et al., 2015, MACHUCA et al., 2018, LYCOURGHIOTIS, 2021).

Dentre os autores que desconsideram a existência da TNMM, Bouin et al. (2009), utilizando um receptor GNSS instalado numa embarcação, realizaram um experimento com o objetivo de definir, com alta acurácia, a superfície do NMM na região do arquipélago de Vanuatu. Semelhantemente, Lavrog et al. (2015) empregaram o mesmo método, com algumas adequações, bem como a interpolação de dados maregráficos para obter a superfície geoidal ao longo do rio Weser, na Alemanha. Machuca et al. (2018) aplicaram também receptores embarcados nas Baías de Buenaventura e Málaga, na Colômbia. Todos estes autores alcançaram, em suas respectivas pesquisas, acurácia centimétrica na comparação com modelos geoidais globais ou regionais.

Por outro lado, considerando a presença da TNMM, Oliveira Jr. et al. (2010), no decorrer do cálculo da separação entre o nível de redução de maré e o elipsoide (SEP) na Baía de Guanabara-RJ por meio de observações GNSS, verificaram a diferença entre o

NMM estimado para o período de sua pesquisa e o geoide na região. Já em um experimento desenvolvido por Lycourghiotis (2021), um receptor GNSS posto num navio percorreu a mesma rota comercial por diversas vezes entre os Mares Jônio e Adriático, calculou a superfície do NMM na região com acurácia centimétrica e, posteriormente, confrontou este resultado com o modelo geoidal EGM96, obtendo a TNMM máxima de 48 cm. Tendo em vista as acurácias obtidas por estes estudos, a despeito das discordâncias mencionadas entre os autores, é possível verificar a factibilidade da metodologia adotada, bem como o caráter promissor do emprego do posicionamento GNSS no contexto apresentado.

No Brasil, embora existam alguns trabalhos relacionados à TNMM (DALAZOANA, 2006, OLIVEIRA JR et al, 2010, DA SILVA et al., 2015, REIS et al., 2018, SANTANA, 2020, DE SOUZA, 2021), ainda é possível o aprofundamento desta temática. Portanto, este projeto busca contribuir com o tema, por meio da modelagem da superfície topográfica de uma determinada região costeira. Para isso, foram utilizados dados de posicionamento GNSS obtidos em campo por um receptor embarcado, dados maregráficos e dados de ondulação geoidal. Por fim, a modelagem desenvolvida foi confrontada com modelos globais de superfície topográfica do nível do mar a fim de ratificar a qualidade do resultado obtido.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho foi obter a modelagem da TNMM de uma região marítima da Baía de Guanabara-RJ, utilizando dados de posicionamento relativo obtidos por receptor GNSS embarcado. Para tanto, foram necessários os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo sobre o posicionamento relativo e os fatores que afetam as observações GNSS neste método, em específico;
- Realizar um levantamento sobre o NMM, sua relação com a superfície geoidal e os fatores que influenciam sua definição e sua variação espacial e temporal;
- Extrair, por meio de pesquisa de campo, dados de altura do nível do mar na região da Baía de Guanabara, empregando o posicionamento relativo cinemático e filtros de dados apropriados;

- Obter, por modelagem, as altitudes elipsoidais do NMM, levando em consideração dados de maré medidos por, aproximadamente, 32 anos na Baía de Guanabara;
- Confrontar o modelo de altitudes elipsoidais do NMM com os fatores de correção extraídos do modelo de conversão de altitudes hgeoHNOR2020, os quais serão considerados equivalentes aos valores de ondulação geoidal, para verificar a existência ou a ausência da TNMM na área levantada;
- Realizar a modelagem da TNMM, utilizando o modelo de altitudes elipsoidais obtido e os fatores de correção do hgeoHNOR2020 e, por meio de métodos de interpolação, gerar uma superfície estendida pela área estudada.
- Comparar a superfície da TNMM com os modelos globais DTU22MDT, da Universidade Técnica da Dinamarca (DTU) e MDT CNES-CLS2022, do Centro de Estudos Espaciais (CNES) da França.

### 1.3. Justificativa

A unificação de referenciais altimétricos é fundamental para garantir a consistência e a precisão das medidas verticais em diferentes contextos geodésicos. Atualmente, tal objetivo ainda é encarado como um desafio de caráter internacional, comprovado pela existência de uma área de atuação (*Focus Area*) do GGOS específica para este assunto (GGOS, 2023). Em regiões costeiras, tal desafio se torna ainda maior pois se trata de uma interface singular, onde diversos fatores, como marés, correntes oceânicas, variações do nível do mar, subsidência do solo e atividades tectônicas, se combinam para criar obstáculos únicos na obtenção precisa de medidas verticais, sejam elas altimétricas ou batimétricas (FRANCO, 2009, LOPES, 2017, BARROS; WASSERMAN; LIMA, 2010, SANTOS et al., 2012).

Além disso, o foco em áreas costeiras se dá por sua importância estratégica em diversos setores. Regiões litorâneas abrigam, atualmente, cerca de um terço da população mundial e desempenham um papel crucial nas economias locais e globais, impulsionadas pelo comércio realizado em zonas portuárias (REIMANN; VAFEIDIS; HONSEL, 2023). Contudo, elas também representam áreas sensíveis em termos ambientais, estando sujeitas aos impactos inerentes às mudanças climáticas, com aumento do nível do mar e eventos climáticos extremos (MARENGO et al., 2016). Neste contexto, o estabelecimento de um referencial altimétrico único e bem consolidado contribui para o planejamento de políticas

governamentais que buscam a preservação destas áreas por meio da análise de riscos e do monitoramento de ameaças a fim de evitar desastres (SANTANA, 2020).

Medidas altimétricas e batimétricas possuem a mesma natureza, visto que são mensuradas sobre o eixo vertical. Entretanto, tradicionalmente, elas são encaradas de maneira distinta em termos cartográficos. No Brasil, as altitudes oficiais estão sob responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como parte integrante do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), sendo retratadas nas cartas topográficas do território nacional. Por outro lado, a gerência sobre a cartografia de profundidades é atribuição da Marinha do Brasil, responsável pela produção de cartas náuticas onde estas medidas são assinaladas. A integração dos referenciais de ambas as medidas permitiria a conexão entre os produtos cartográficos aludidos, contribuindo para a melhoria do gerenciamento costeiro (SANTANA, 2020).

No âmbito internacional, a integração de referenciais em áreas costeiras também é uma recomendação da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), a qual orienta que sempre deve haver a conexão entre os *data* verticais oceânico e terrestre (OHI, 2008). No Brasil, uma iniciativa da extinta Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) foi a criação do Comitê de Integração das Componentes Verticais Terrestres e Marítimas (CICVTM), hoje sob a supervisão do Ministério do Meio Ambiente. O CICVTM tem por objetivo a padronização de metodologia de integração das superfícies de referência para altitudes e profundidades na zona costeira, a fim de contribuir para a correta avaliação de riscos de inundação costeira provenientes de alterações climáticas.

Um dos projetos piloto estabelecido pelo CICVTM neste sentido tem, como núcleo, a Rede Geodésica de Referência Costeira (RGRC), a qual vem sendo desenvolvida pelo IBGE na faixa litorânea compreendida entre os municípios de Macaé e Niterói, no estado do Rio de Janeiro. A RGRC tem por objetivo subsidiar os estudos sobre a integração dos referenciais costeiros por meio da avaliação, definição e consolidação de arcabouço técnico direcionado ao estabelecimento de uma rede ao longo do litoral brasileiro que favoreça a vinculação dos níveis de referência marítimo ao sistema de altitudes terrestres (SANTOS; LUZ; SOARES, 2019).

Dentro desta temática, a determinação da TNMM é um fator extremamente importante para a integração dos referenciais altimétricos, visto que se trata de uma medida estritamente necessária para a ligação entre referenciais terrestre e marítimo, sendo estes, respectivamente, o geoide e o Nível de Redução (NR), diretamente vinculado ao NMM por meio da expressão (FRANCO, 2009):

$$NR = NMM - Z_0 \quad (1)$$

onde  $Z_0$  é a amplitude de maré obtida por meio da análise harmônica da variação maregráfica da região. Dessa forma, ao ser determinada a ligação entre o geóide e o NMM, torna-se possível a integração destas referências altimétricas.

Teoricamente, a definição clássica de geóide não considera a diferença entre ele e o NMM. Entretanto, efeitos hidrodinâmicos, causados por fatores como ventos, marés, pressão atmosférica e correntes marítimas, tendem a exercer influência sobre o nível do mar, principalmente, em regiões costeiras, promovendo a existência do desnível que corresponde à TNMM (DALAZOANA, 2006, LYCOURGHOTIS, 2021). Neste contexto, a definição do geóide e do NMM é essencial para a mensuração desta diferença.

Tradicionalmente, o geóide tem sido determinado por uma combinação de medidas obtidas por diversas fontes: gravimetria terrestre, marítima e aérea; análise de órbita de satélites; dados de altimetria por satélites; nivelamentos geodésicos; medições astro-geodésicas e modelos matemáticos (RAAP, 1998, GUIMARÃES, 2010, BOTAI; COMBRINK, 2012, LYCOURGHOTIS, 2021). Todas estas medidas obtidas são utilizadas para o refinamento de modelos de geopotencial globais (MGG) e regionais (RAPP, 1998). No Brasil, grande parte dos esforços neste sentido é realizado pelo IBGE, o qual é responsável pelo desenvolvimento do MAPGEO 2015, atualização mais recente do modelo geoidal do território brasileiro, lançado inicialmente em 1992. Neste mesmo contexto, o IBGE desenvolveu, em 2021, o modelo de conversão de altitudes hgeoHNOR 2020 com a finalidade de converter altitudes elipsoidais em altitudes vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) (IBGE, 2021).

O NMM, por sua vez, normalmente é estimado por meio de séries de observações obtidas por marégrafos instalados ao longo da costa continental. Porém, com o desenvolvimento da tecnologia satelital, outras formas de acompanhar os níveis oceânicos foram desenvolvidas nas últimas décadas, como altimetria por satélites (PASCUAL et al, 2007; REIS et al., 2018; DE SOUZA, 2021), a reflectometria GNSS (NIEVINSKY; LARSON, 2014) e o posicionamento GNSS de meios flutuantes, o qual será aplicado no presente projeto junto a altitudes ortométricas, relacionadas ao geóide, para a modelagem da TNMM.

Nos últimos anos, diversos grupos se aplicaram a relacionar, em diferentes escalas, o NMM e o geóide por meio do Posicionamento GNSS. As metodologias adotadas utilizaram receptores instalados em boias (KELECY et al, 1994; MARSHALL e DENYS, 2009; KEY et al, 1998) ou em embarcações, paradas ou em movimento, dos mais diversos portes (BOUIN, 2009; LAVROG et al, 2015; MACHUCA, 2018; LYCOURGHOTIS, 2021). Contudo, tal aplicação, empregada neste trabalho, é pouco explorada no Brasil, limitando-se a poucos trabalhos (OLIVEIRA JR et al, 2010).

É interessante ressaltar que o método apresentado no presente projeto pode ser adaptado para beneficiar grandemente pesquisas referentes à unificação dos referenciais altimétricos em âmbito nacional. Isso se deve a alta disponibilidade dos dados GNSS, capazes de serem coletados ao longo dos 7.400 Km de costa brasileira, bem como no espaço marítimo nacional de, aproximadamente, 3,5 milhões de quilômetros quadrados (MARINHA DO BRASIL, 2022). Caso esta área fosse minimamente abrangida na determinação da superfície do NMM e do geóide, os resultados obtidos poderiam servir como importantes fatores para a integração e o refinamento de referenciais verticais no país, contribuindo para a melhoria do gerenciamento costeiro e da prevenção de desastres naturais. Portanto, verifica-se a importância do trabalho a ser desenvolvido, pois aborda um tema bastante atual, de grande relevância e com uma metodologia relativamente nova e útil para o cenário nacional.

#### **1.4. Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação é composta por 6 capítulos, estruturados conforme a descrição a seguir.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica que visa contextualizar o tema abordado. Nele, são descritas as bases teóricas que fundamentam o posicionamento GNSS, com ênfase no modo relativo cinemático; a relação entre o geóide e o NMM; os principais fatores que influenciam o NMM e geram a TNMM; os Modelos Globais de Geopotencial (MGG) e desenvolvimento do MAPGEO2015 e do hgeoHNOR2020 e os Modelos Globais Oceânicos (MGO), com destaque para os modelos de TNMM.

Em seguida, no capítulo 3, será primeiramente apresentada a área onde a pesquisa foi realizada. Ademais, serão citados todos os materiais empregados na pesquisa, dentro dos quais incluem-se os equipamentos e os softwares utilizados, bem como os dados obtidos tanto em campo quanto em banco de dados digitais disponibilizados por

instituições de pesquisa nacionais e internacionais. Serão, ainda, descritos detalhadamente todos os métodos realizados na pesquisa para o cumprimento dos objetivos propostos.

No capítulo 4, os resultados de cada etapa da metodologia estarão apresentados e adequadamente analisados conforme detalhado no capítulo anterior.

Ademais, no capítulo 5, foram colocadas as considerações finais referentes ao trabalho, que contemplam as lições aprendidas, as dificuldades encontradas, as contribuições para a temática abordada e as sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, o capítulo 6, é composto pelas referências bibliográficas que serviram de fonte para o desenvolvimento desta dissertação.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve por pretensão ressaltar a importância e contribuir para o estudo do NMM, da TNMM e da temática da unificação dos referenciais verticais altimétricos e batimétricos em regiões costeiras. Para este fim, seu objetivo foi propor a modelagem da TNMM na Baía de Guanabara-RJ. Nela, foram empregados dados de posicionamento GNSS coletados, em campo, por uma embarcação que realizou um trajeto predeterminado no interior da área de interesse, alturas de maré medidas por marégrafos distribuídos nos limites desta região e os fatores de correção extraídos do conversor de altitudes hgeoHNOR2020, assumidos como dados de ondulação geoidal. As incertezas de todas estas medidas foram consideradas e propagadas para a estimativa final do modelo obtido.

Inicialmente, foi realizada a revisão bibliográfica, a partir de onde foram obtidas as bases teóricas para o presente trabalho. Nela, foram abordados os princípios sobre o posicionamento GNSS, com ênfase no método relativo pós-processado; o geoide e sua relação com o NMM; a TNMM; marés oceânicas; o desenvolvimento dos MGG até chegar ao conversor de altitudes hgeoHNOR2020 e os MGO da TNMM, utilizados como parâmetros de comparação para o modelo desenvolvido.

Em seguida, no dia 02 de novembro de 2021, uma pesquisa de campo foi empreendida na região da Baía de Guanabara, com o intuito de coletar os dados GNSS e de alturas maregráficas. O posicionamento GNSS foi realizado por meio do método relativo pós-processado, pelo software RTKLIB, com dados de dupla frequência dos sistemas GPS e GLONASS, utilizando a estação da RBMC localizada em Niterói-RJ como base. Durante a trajetória o posicionamento estimado variou entre valores de ambiguidade fixos e *float*, resultando em valores médios de desvios-padrões horizontais e verticais de 0,6 e 1,1 cm, respectivamente.

Aliado a isso, durante todo o mês de novembro de 2021, foi realizada a aquisição de dados de maré em seis estações maregráficas distribuídas pela área de estudo. Tais informações foram adequadamente verificadas, tratadas e interpoladas ao longo da localidade, tendo como base dois dos marégrafos situados nos limites da região. Os resultados da interpolação ainda foram validados pela comparação com dados reais obtidos pelos demais marégrafos. A fim de considerar um nível de referência solidamente determinado, as curvas resultantes foram niveladas ao NMM determinado por uma série de registros do nível do mar de 32 anos, adquirida na estação da Ponta da Armação. Foi

então iniciada a modelagem das altitudes elipsoidais do NMM por meio dos dados de posicionamento GNSS, da variação da maré em torno do nível médio e da altura da antena, a qual foi a média das medidas realizadas antes e depois do levantamento. O modelo gerado abrangeu a trajetória percorrida pela embarcação e teve sua precisão vertical estimada em  $\pm 5,5$  cm.

Logo após, este modelo foi comparado aos fatores de conversão extraídos pelo modelo hgeoHNOR2020, considerado, no presente estudo, como dados de ondulação geoidal. Este passo da metodologia visou o cumprimento do objetivo específico de verificar a definição tradicional de geóide, formulada por Gauss no século XVIII. Como resultado, foi calculado um RMSE considerável de 51,6 cm, fortalecendo a ideia de que o NMM não coincide com o geóide, principalmente em regiões costeiras, as quais são fortemente influenciadas por efeitos hidrodinâmicos provenientes da interação da água com a superfície terrestre. Entretanto, o índice de correlação obtido na comparação entre os dados, de 72,9%, permitiu concluir uma certa similaridade entre o comportamento do NMM com o de uma superfície equipotencial do campo de gravidade.

O passo seguinte consistiu na modelagem da TNMM ao longo do trajeto percorrido. Esta foi efetuada por meio da utilização do modelo de altitudes elipsoidais do NMM, gerado durante a metodologia, e dos fatores de correção extraídos do hgeoHNOR2020. O modelo resultante gerou dados de TNMM que variaram de 43,5 a 51,6 cm, com o desvio padrão de  $\pm 7,4$  cm. Estes dados foram extrapolados para uma grade de 50 m de resolução para, efetivamente, gerar o que se denomina de superfície topográfica do NMM.

Por fim, esta superfície foi comparada com os modelos globais de TNMM DTU22MDT e MDT CNES-CLS22, os quais foram interpolados pelo método bilinear para permitir sua representação na mesma resolução da superfície gerada no presente trabalho. Destas comparações, foram geradas superfícies de diferenças que se comportaram de maneira semelhante, aproximando-se, em módulo, de 10 cm em alguns setores da região. Outrossim, foram obtidos os RMSE de 2,6 cm, com modelo da DTU, e de 2,5 cm, com o modelo do CNES, comprovando, assim, a proximidade entre os modelos e a qualidade da superfície gerada. Com isso, pode-se verificar o cumprimento integral dos objetos propostos por esta dissertação.

Este estudo representa um avanço no que diz respeito aos objetivos dos órgãos internacionais em relação à unificação de referenciais verticais. Além disso, contribui para a transição dos métodos antigos de determinação de referenciais altimétricos,

baseados no NMM, para o atual, que leva em consideração uma superfície equipotencial do campo da gravidade padronizada. Ele ainda reforça a possibilidade de emprego do posicionamento GNSS em estudos que requerem a medição do nível do mar com as mais variadas finalidades.

Como possibilidade de aplicação, os resultados obtidos podem contribuir para a compatibilização dos *data* batimétricos e altimétricos, na localidade da Baía de Guanabara, tendo em vista a boa resolução e a acurácia de poucos centímetros obtidas pela modelagem. Isto permite a comunicação entre produtos cartográficos náuticos e terrestres, o que traz vantagens em termos de acompanhamento do nível do mar, planejamento costeiro e prevenção de desastres nesta região.

Além disso, a modelagem proposta tem a possibilidade de ser difundida e adaptada para toda a extensão da costa brasileira e internacional. A disponibilidade global dos sistemas de posicionamento GNSS e o incremento de sua acurácia no decorrer dos anos é um fator de suma importância para esta expansão. Aliado a isso, o intenso tráfego marítimo ao redor do mundo pode ser utilizado neste sentido, por meio da coleta de dados de observáveis no decorrer das rotas dos navios. Com isso, a TNMM teria a possibilidade de ser estimada em larga escala, contribuindo grandemente para os objetivos que envolvem os referenciais verticais.

### **5.1. Sugestões para trabalhos futuros**

De acordo com os resultados e os aprendizados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, seguem algumas sugestões de melhorias para o presente estudo, bem como para trabalhos futuros:

- Realizar a modelagem proposta, percorrendo o trajeto planejado em um número maior de dias, a fim de permitir o ajustamento dos valores de posicionamento estimados.
- Realizar a modelagem proposta, empregando um sistema de navegação inercial na fase de coleta de dados, com o objetivo de auxiliar na compensação de quaisquer movimentos não considerados na metodologia supracitada;
- Realizar a modelagem proposta, utilizando modelos de NMM de alta resolução e referenciados ao elipsoide ao invés de gerar este nível por meio de marégrafos convencionais;

- Empregar diferentes sistemas de posicionamento como o Galileo e o Beidou, bem como os sistemas de aumento como o GBAS e o SBAS, para modelar a TNMM;
- Utilizar diferentes métodos de posicionamento, como o DGNSS, o Posicionamento em Redes, o PPP e o RTK;
- Pesquisar sobre diferentes tipos de filtro de dados para tratar dados de posicionamento GNSS;
- Realizar a modelagem da TNMM em ambientes com mais influências meteorológicas e utilizando embarcações de características diferentes a fim de verificar os impactos destes fatores na modelagem;
- Testar outras formas de compensar as variações do nível do mar, utilizando, por exemplo, modelos hidrodinâmicos e reflectometria GNSS;
- Estudar outras formas de interpolação para os dados de TNMM;
- Buscar a integração de bases cartográficas náuticas e terrestre da região com os resultados obtidos no presente estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

ADEBISI, N.; BALOGUN, A.; MIN, T. H.; TELLA, A. Advances in estimating Sea Level Rise: A review of tide gauge, satellite altimetry and spatial data science approaches. **Ocean and Coastal Management**, [s. l.], v. 208, abril 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105632>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569121001174?via%3Dihub>. Acesso em: 9 jun. 2022.

AOCEANO (Associação Brasileira de Oceanografia). **Oceanografia**. Disponível em <https://aoceano.org.br/oceanografia/>. Acesso em: 11 jan. 2023.

BAO, L.; WANG, N.; GAO, F. Improvement of Data Precision and Spatial Resolution of cGNSS-R Altimetry Using Improved Device with External Atomic Clock. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, [s. l.], v. 13, ed. 5, p. 207-211, 2016. DOI 10.1109/LGRS.2015.2506186. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7364160>. Acesso em: 9 jun. 2022.

BARROS, S. R. S.; WASSERMAN, J. C.; LIMA, G. B. A. Risco Ambiental na zona costeira: uma proposta interdisciplinar de gestão participativa para os Planos de Controle a Emergências dos portos brasileiros. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 10, n. 2, p. 217-227, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3883/388340129004.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

BLEWITT, G. GPS and space-based geodetic methods. **Geodesy**, v. 3, p. 351-390, 2007.

BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. O. C.; MACHADO W. C.; NUNES, M. A.; LENGROBER, N. V.; XAVIER, E. M. L.; FORTES, L. P. S. MAPGEO2015: O novo modelo de ondulação geoidal do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 68, n. 10, p.1873-1884. 19 nov. 2016. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44289>. Acesso em: 24 dez. 2023.

BOTAI, C. M.; COMBRINCK, L. Global geopotential models from Satellite Laser Ranging data with geophysical applications: A review. **South African Journal of Science**. 2012;108(3/4), Art. #662, 10 pages. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v108i3/4.662>. Acesso em: 12 dez. 2023.

BOUIN, M. N.; BALLU, V.; CALMANT, S.; PELLETIER, B. Improving resolution and accuracy of mean sea surface from kinematic GPS, Vanuatu Subduction Zone. **Journal of Geodesy**, Berlim, v. 83, n. 11, ed. 3, p. 1017-1030, Novembro 2009. DOI 10.1007/s00190-009-0320-7. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00190-009-0320-7>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

CASTRO JR., C. A. C. **Arcabouço gravimétrico brasileiro e o meio ambiente: possibilidades e perspectivas**. 2018. 234 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018. Disponível em:<<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8460>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

CAZENAVE, A.; PALANISAMY, H.; ABLAIN, M. Contemporary sea level changes from satellite altimetry: What have we learned? What are the new challenges? **Advances in Space Research**, [s. l.], v. 62, ed. 7, p. 1639-1653, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.017>>. Acesso em: 23 dez. 2023.

CHANG, X. W.; YANG, X.; ZHOU, T. MLAMBDA: a modified LAMBDA method for integer least-squares estimation. **Journal of Geodesy**, [S. l.], ano 2005, n. 79, p. 552-565, 5 nov. 2005. DOI 10.1007/s00190-005-0004-x. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00190-005-0004-x>. Acesso em: 12 jan. 2023.

COCARD, M.; GEIGER, A.; KAHLE, H. G.; VEIS, G. Airborne laser altimetry in the Ionian Sea, Greece. **Global and Planetary Change**, [s. l.], v. 34, p. 87-96, 2002. DOI [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00107-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00107-8). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818102001078>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

COSTA, D. S. **Variação do nível médio do mar: Técnicas para a Avaliação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Escola Politécnica da Universidade do Estado de São Paulo (USP), São Paulo, 2007. DOI 10.11606/D.3.2007.tde-17012008-110654. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-17012008-110654/en.php>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

DA SILVA, L. M.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R. Análise de séries temporais maregráficas correlacionadas com observações GNSS no datum vertical brasileiro de Imbituba-SC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 1, p. 73-90, 2016. Disponível em:

<<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/44472/23545/184452>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

DALAZOANA, R. **Estudos dirigidos à análise temporal do datum vertical brasileiro**. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/3922>. Acesso em: 21 fev. 2023.

DE SOUZA, L. M. **Análise das variações da topografia do nível "médio" do mar (TNMM) utilizando o CRYOSAT-2 (CS2) e observações maregráficas**. 2021. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28153>. Acesso em: 21 fev. 2023.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Carta de Correntes de Maré** – Baía de Guanabara (RJ). Niterói: DHN, 2012.

DOODSON, A. T. The Harmonic Development of the Tide-Generating Potential. **Proceedings of the Royal Society of London**. Series A, v. 100, n. 704, Dec. 1, 1921, pp. 305-329. Disponível em: <<http://doi.org/10.1098/rspa.1921.0088>>. Acesso em: 23 dez. 2023.

FEAIRHELLER, S.; CLARK, R. Other Satellite Navigation Systems. In: KAPLAN, E. D. (ed.); HEGARTY, C. J. (ed.). **Understanding GPS: Principles and Applications**. 2 ed. Artech House, Norwood, 2006. pp. 595-634.

FEATHERSTONE, W. Expected Contributions of Dedicated Satellite Gravity Field Missions to Regional Geoid Determination with some Examples from Australia. **Journal of Geospatial Engineering**. [S.l.], v. 4, n.1, p. 1-18, 2002. Disponível em: <[http://www.lsgi.polyu.edu.hk/sTAFF/zl.li/vol\\_4\\_1/01\\_featherstone.pdf](http://www.lsgi.polyu.edu.hk/sTAFF/zl.li/vol_4_1/01_featherstone.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2023

FILHO, H. D. S.; CORNERO, C.; PEREIRA, A.; NERO, M. Cartographic Accuracy Standard (CAS) of the digital terrain model of the digital and continuous cartographic base of the state of Amapá: case study in the city of Macapá. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 28, 2022.

FOSTER, J. H.; CARTER, G. S.; MERRIFIELD, M. A. Ship-based measurements of sea surface topography. **Geophysical Research Letters**, [s. l.], v. 36, ed. 11, 2009. DOI <https://doi.org/10.1029/2009GL038324>. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2009GL038324>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

FRANCO, A. S. **Marés. Fundamentos, Análise e Previsão**. 2ª edição. Niterói. 2009.

FSA - FEDERAL SPACE AGENCY - INFORMATION ANALYTICAL CENTRE. **Constellation status**. 2019. Disponível em: < <https://glonass-iac.ru/gps/sostavOG/>>. Acesso em: 28 dez. 2023.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. 2 ed. Curitiba: Editora UFPR, 2012. 304p.

\_\_\_\_\_.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. 2. Ed. Curitiba: UFPR, 2015. 428 p.

GETREUER, P. Linear Methods for Image Interpolation. **Image Processing On Line**, v. 1, 2011, pp. 238–259. Disponível em: <[https://doi.org/10.5201/ipol.2011.g\\_lmii](https://doi.org/10.5201/ipol.2011.g_lmii)>. Acesso em: 24 dez. 2023.

GLOBAL GEODETIC OBSERVING SYSTEM (GGOS). **GGOS Focus Area**. Disponível em: < <https://ggos.org/about/org/fa/>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

\_\_\_\_\_. **What is GGOS?** Disponível em: < <https://ggos.org/about/what-is-ggos/>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

GLONASS. **GLONASS Constellation Status**. Disponível em <<https://www.glonass-iac.ru/en/sostavOG/>>. Acesso em: fev. 2023.

GPS WORLD. **Sanctions Delay Russia's GLONASS-K2 Program**. 2014. Disponível em < <https://www.gpsworld.com/sanctions-delay-russias-glonass-k2-program/>>. Acesso em: 28 dez. 2023.

\_\_\_\_\_. **GLONASS: The decade of transition to CDMA signals**. 2023. Disponível em <<https://www.gpsworld.com/glonass-the-decade-of-transition-to-cdma-signals/>>. Acesso em: 28 dez. 2023.

\_\_\_\_\_. **Russia launches Glonass-K2 No. 13.** 2023. Disponível em <<https://www.gpsworld.com/russia-launches-glonass-k2-no-13/>>. Acesso em: 28 dez. 2023.

GUIMARÃES, G. N. **A altimetria e o modelo geoidal no Estado de São Paulo.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-20102010-170156/pt-br.php>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

HAUSCHILD, A. Combinations of Observations. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. (eds) **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems.** Springer, Berlin, 2017.

HEGARTY, C. J. The Global Positioning System (GPS). In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. (eds) **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems.** Springer, Berlin, 2017.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.** Springer, Vienna, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1>>. Acesso em: 23 dez. 2023.

IHDE, J.; BARZAGHI, R.; MARTI, U.; SÁNCHEZ, L.; SIDERIS, M.; DREWES, H.; FOERSTE, C.; GRUBER, T.; LIEBSCH, G. e PAIL, R. (2015). Report of the ad-hoc group on an International Height Reference System (IHR). In: Drewes H., Hornik H.(Eds.) **Travaux de l'AIG 39**, IAG Reports 2011-2015. Disponível em: <<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1300913/document.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

IHDE, J.; MÄKINEN, J.; SACHER, M. Conventions for the definition and realization of a European Vertical Reference System (EVRS). **EVRS Conventions 2007.** EVRS Conv, p. 1-10, 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Jaakko-Maekinen-2/publication/265823560\\_Conventions\\_for\\_the\\_Definition\\_and\\_Realization\\_of\\_a\\_European\\_Vertical\\_Reference\\_System\\_EVRS\\_-\\_EVRS\\_Conventions\\_2007\\_-\\_links/615cc5e6c04f5909fd857b84/Conventions-for-the-Definition-and-Realization-of-a-European-Vertical-Reference-System-EVRS-EVRS-Conventions-2007.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jaakko-Maekinen-2/publication/265823560_Conventions_for_the_Definition_and_Realization_of_a_European_Vertical_Reference_System_EVRS_-_EVRS_Conventions_2007_-_links/615cc5e6c04f5909fd857b84/Conventions-for-the-Definition-and-Realization-of-a-European-Vertical-Reference-System-EVRS-EVRS-Conventions-2007.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2023.

INCE, E. S.; BARTHELMES, F.; REISSLAND, S.; ELGER, K.; FÖRSTE, C.; FLECHTNER, F.; SCHUH, H. **ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans.** *Earth System Science Data*, v. 11, p. 647–674, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>>. Acesso em: 23 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Modelo hgeoHNOR2020 para conversão de Altitudes Geométricas em Altitudes Normais.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 51 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101841.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2023.

\_\_\_\_\_. **Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais 2018.** Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_sobre\\_posicionamento\\_geodesico/rede\\_altimetrica/relatorio/relatorio\\_REALT\\_2018.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio/relatorio_REALT_2018.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2023.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **Resolution 3/1919, as amended – Draft Proposal.** 2008. Disponível em: <[https://www.iho.int/mtg\\_docs/com\\_wg/IHOTC/TWCWG1/TWCWG1-7.1.2bResolution\\_3-1919-Clean.pdf](https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/IHOTC/TWCWG1/TWCWG1-7.1.2bResolution_3-1919-Clean.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2023.

\_\_\_\_\_. C-13. **Manual de Hidrografia**, Mônaco, 2005. Disponível em: <<https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-13/C-13.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

JOUSSET, S.; MULET, S.; WILKIN, J.; GREINER, E.; DIBARBOURE, G.; PICOT, N. New Global Mean Dynamic Topography CNES-CLS-22 Combining Drifters, Hydrological Profiles and High Frequency Radar Data. In: **Proceedings of the Ocean Surface Topography meeting (OSTST)**, Venice, Italy, 31 October–4 November 2022. Disponível em: <[https://ostst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user\\_upload/OSTST2022/Presentations/GEO2022-New\\_global\\_Mean\\_Dynamic\\_Topography\\_CNES-CLS-22\\_combining\\_drifters\\_\\_hydrological\\_profiles\\_and\\_High\\_Frequency\\_radar\\_data.pdf](https://ostst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/OSTST2022/Presentations/GEO2022-New_global_Mean_Dynamic_Topography_CNES-CLS-22_combining_drifters__hydrological_profiles_and_High_Frequency_radar_data.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2023.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C.J. **Understanding GPS, Principles and Applications**. Artech House, 2006. (703).

KELECY, T. M.; BORN, G. H.; PARKE, M. E.; ROCKEN, C. Precise mean sea level measurements using the Global Positioning System. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, [s. l.], v. 99, ed. C4, p. 7951-7959, abril 1994. DOI <https://doi.org/10.1029/93JC03355>. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/93JC03355>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

KEY, K. W.; PARKE, M. E.; BORN, G.H. Mapping the sea surface using a GPS buoy. **Marine Geodesy**, [s. l.], v. 21, ed. 1, p. 67-79, 1998. DOI <https://doi.org/10.1080/01490419809388122>. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01490419809388122?needAccess=true>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

KNUDSEN, P.; ANDERSEN, O.; MAXIMENKO, N. A new ocean mean dynamic topography model, derived from a combination of gravity, altimetry and drifter velocity data. **Advances in Space Research**, Volume 68, Issue 2, 2021, Pages 1090-1102. ISSN 0273-1177. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.12.001>>. Acesso em: 24 dez. 2023.

LANGLEY, R.B.; TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. Introduction to GNSS. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. (eds) **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems**. Springer, Berlin, 2017.

LAVROG, D.; EVEN-TZUR, G.; REINKING, J. Extraction of geoid heights from shipborne GNSS measurements along the Weser River in Northern Germany. **Journal of Geodetic Science**, Berlim, v. 5, ed. 1, p. 148-155, Outubro 2015. DOI [doi.org/10.1515/jogs-2015-0014](https://doi.org/10.1515/jogs-2015-0014). Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/jogs-2015-0014/html>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

LIN, Y.; HUANG, C.; CHEN, S.; DOONG, D.; KAO, C. C. Development of a GNSS buoy for monitoring water surface elevations in estuaries and coastal areas. **Sensors**, Suíça, v. 17, ed. 1, p. 105-109, 2017. DOI [10.3390/s17010172](https://doi.org/10.3390/s17010172). Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/312497719\\_Development\\_of\\_a\\_GNSS\\_Buoy\\_for\\_Monitoring\\_Water\\_Surface\\_Elevations\\_in\\_Estuaries\\_and\\_Coastal\\_Areas](https://www.researchgate.net/publication/312497719_Development_of_a_GNSS_Buoy_for_Monitoring_Water_Surface_Elevations_in_Estuaries_and_Coastal_Areas)>. Acesso em: 9 jun. 2022.

LÖFGREN, J. S. **Local Sea Level Observations Using Reflected GNSS Signals**. 2014. Tese (PhD) - Chalmers University of Technology, Gothenburg, Suécia, 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/273383831\\_Local\\_Sea\\_Level\\_Observations\\_Using\\_Reflected\\_GNSS\\_Signals](https://www.researchgate.net/publication/273383831_Local_Sea_Level_Observations_Using_Reflected_GNSS_Signals)>. Acesso em: 9 jun. 2022.

LOPES, V. M. **Etnogeomorfologia costeira e estuarina em comunidades de pescadores artesanais no litoral de Goiana**, Pernambuco. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/26763>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. **Dez anos de monitoramento do nível do mar no IBGE**. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/outros\\_documentos\\_tecnicos/rmpg/10anos.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/rmpg/10anos.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2023.

LYCOURGHOTIS, S. Sea Topography of the Ionian and Adriatic Seas Using Repeated GNSS Measurements. **Water**, [s. l.], v. 13, ed. 6, 2018. DOI 10.3390/w13060812. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/13/6/812>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MACHADO, W. C.; BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. O. C. Interpolação de anomalias de gravidade através de Redes Neurais visando o cálculo do modelo geoidal de Santa Catarina. In: **Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CBCG)**, 8., 3-5 dez. 2013, Curitiba, PR, Brasil. Disponível em: <[https://cbcg.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2013/11/G037\\_CBCG13.pdf](https://cbcg.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2013/11/G037_CBCG13.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2023.

MACHUCA, M. C. A.; NOSSA, D. A. P.; TRULLO, L. J. S.; BARRERO, F. O.. Construction of the reference (vertical) hydrographic surface for the bays of Buenaventura and Málaga, Colombian Pacific. **Boletín Científico CIOH**, [s. l.], ed. 36, p. 53-69, 2018. DOI 10.26640/22159045.438. Disponível em: <<https://ojs.dimar.mil.co/index.php/CIOH/article/view/438>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MAQUEDA, M. A. M.; PENNA, N. T.; WILLIAMS, S. D. P.; FODEN, P. R.; MARTIN, I.; PUGH, J. Water Surface Height Determination with a GPS Wave Glider: A Demonstration in Loch Ness, Scotland. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, [s. l.], v. 33, ed. 6, p. 1159-1168, 2016. DOI 10.1175/JTECH-D-15-0162.1.

Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/atot/33/6/jtech-d-15-0162\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/atot/33/6/jtech-d-15-0162_1.xml)>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MARCOS, M.; WÖPPELMANN, G.; MATTHEWS, A.; PONTE, R. M.; BIROL, F.; ARDHUIN, F.; COCO, G.; SANTAMARÍA-GOMEZ, A.; BALLU, V.; TESTUT, L.; CHAMBERS, D.; STOPA, J. E. Coastal Sea Level and Related Fields from Existing Observing Systems. **Surveys in Geophysics**, [s. l.], v. 40, p. 1293-1317, 2019. DOI <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09513-3>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-019-09513-3>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MARENGO, J. A., SCARANO, F. R., KLEIN, A. F., SOUZA, C. R. G. e CHOU, S. C. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC)**, p. 184, 2016.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. NORMAM-501 (1 ed.). **Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos**, Niterói, 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/dhn/normam/normam-501.html>>. Acesso em: 24 dez. 2023.

\_\_\_\_\_. **O que é a Amazônia Azul e por que o Brasil quer se tornar potência militar no Atlântico**. [S. l.], 2022. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/economia-azul/noticias/o-que-%C3%A9-amaz%C3%B4nia-azul-e-por-que-o-brasil-quer-se-tornar-pot%C3%Aancia-militar-no-atl%C3%A2ntico>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MARQUES, H. A. M. **PPP em Tempo Real com Estimativa das Correções dos Relógios dos Satélites no Contexto de Rede GNSS**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MARSHALL, A.; DENYS, P. Water level measurement and tidal datum transfer using high rate GPS buoys. In: **FIG (International Federation of Surveyors): Working Week**. Estocolmo, Suécia: [s. n.], 2008. p. 7951-7959. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Water-Level-Measurement-and-Tidal-Datum-Transfer-Marshall-Denys/cb8d3d898d3b660a55d5d7921c141c068b7efd13#citing-papers>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MARTI, F.; CAZENAVE, A.; BIROL, F.; PASSARO, M.; LÉGER, F.; NIÑO, F.; ALMAR, R.; BENVENISTE, J.; LEGEAIS, J. F. Altimetry-based sea level trends along the coasts of Western Africa. **Advances in Space Research**, [s. l.], v. 68, ed. 2, p. 504-522, 2021. DOI 10.1016/j.asr.2019.05.033. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117719303606>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

MATOS, A. C. O. C.; BLITZKOW, D. **Modelagem Digital de Terrenos (MDT) de 3ª para a América do Sul**. Relatório de Pós-Doutorado. Período: março de 2007 a fevereiro de 2008. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 38 p.

MEDEIROS, R. A. **Filtro de Kalman Estendido Baseado em Quaternions para Estimação de um Sistema de 6-DOF Embarcado**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/16850>. Acesso em: 24 jan. 2023.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

NIEVINSKI, F. G.; LARSON, K. M. Forward modeling of GPS multipath for near-surface reflectometry and positioning applications. **GPS Solutions**, [s. l.], v. 18, p. 309-322, 2014. DOI 10.1007/s10291-013-0331-y. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10291-013-0331-y>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

ODIJK, D. Positioning Model. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. (eds) **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems**. Springer, Berlin, 2017.

OLIVEIRA JR., A. M.; ARROYO-SUAREZ, E. N.; RAMOS, A. M.; ARENTZ, M. F. R. Seabed Mapping on an Earth Centered Earth Fixed (ECEF) Geocentric Reference Frame: Cooperative Validation with US Navy and Brazilian Navy in Guanabara Bay, Rio de Janeiro. In: 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation 2010 (ION GNSS 2010), 2010, Portland. **Proceedings** [...]. [S. l.: s. n.], 2010. p. 2064-2075. Disponível em: <<https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=9320>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

OPPENHEIMER, M.; GLAVOVIC, B. C.; HINKEL, J.; VAN DE WAL, R.; MAGNAN, A. K.; ABD-ELGAWAD, A.; CAI, R.; CIFUENTES-JARA, M.; DECONTO, R. M.; GHOSH, T.; HAY, J.; ISLA, F.; MARZEION, B.; MEYSSIGNAC, B.; SEBESVARI, Z. Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: PORTNER, H.-O.; ROBERTS, D. C.; MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E.; MINTENBECK, K.; ALEGRIA, A.; NICOLAI, M.; OKEM, A.; PETZOLD, J.; RAMA, B.; WEYER, N. M. (Eds.). **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. 2019. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/08\\_SROCC\\_Ch04\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/08_SROCC_Ch04_FINAL.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2023.

PASCUAL, A.; PUJOL, M.; LARNICOL, G.; TRAON, P. L.; RIO, Marie-hélène. Mesoscale Mapping Capabilities of Multisatellite Altimeter Missions: First results with Real Data in the Mediterranean Sea. **Journal of Marine Systems**, [s. l.], v. 65, p. 190-211, 2007. DOI 10.1016/j.jmarsys.2004.12.004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796306002922>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

PINEAU-GUILLOU, L.; DORST, L. Creation of Vertical Reference Surfaces at Sea Using Altimetry and GPS. In: ALTAMINI, Z.; COLLILIEUX, X. (ed.). **Reference Frames for Applications in Geosciences**. 1. ed. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 229-235. ISBN 978-3-642-32998-2. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32998-2\\_33](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32998-2_33)>. Acesso em: 9 jun. 2022.

PLAG, H.-P.; ALTAMIMI, Z.; BETTADPUR, S.; BEUTLER, G.; BEYERLE, G.; CAZENAVE, A.; CROSSLEY, D.; DONNELLAN, A.; FORSBERG, R.; GROSS, R.; HINDERER, J.; KOMJATHY, A.; MANNUCCI, A. J.; MA, C.; NOLL, C.; NOTHNAGEL, A.; PAVLIS, E. C.; PEARLMAN, M.; POLI, P.; SCHREIBER, U.; SENIOR, K.; WOODWORTH, P.; ZUFFADA, C. The goals, achievements, and tools of modern geodesy. In: PLAG, H.-P.; PEARLMAN, M. (Eds.). **The global geodetic observing system: meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020**. Springer, Berlin, 2009. p. 15–88. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-02687-4>>. Acesso em: 23 dez. 2023.

PUENTE, V.; VALDÉS, M. Sea Level Determination in the Spanish Coast Using GNSS-R. In: II CONGRESS IN GEOMATICS ENGINEERING, 2019, Madrid, Espanha. **Proceedings** [...]. [S. l.: s. n.], 2019. DOI 10.3390/proceedings2019019011. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2504-3900/19/1/11>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

PUGH, D. T. **Tides, Surges and Mean Sea Level**. John Wiley & Sons, Chichester, 1996. 472 p.

RAPP, R. H. (1998). Past and Future Developments in Geopotential Modeling. In: FORSBERG, R., FEISSEL, M., DIETRICH, R. (eds) **Geodesy on the Move**. International Association of Geodesy Symposia, vol 119. Springer, Berlin, Heidelberg. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-642-72245-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-72245-5_9)>. Acesso em: 12 dez. 2023.

REALINI, E. **GoGPS: Free and Constrained Relative Kinematic Positioning with Low Cost Receivers**. 2009. Tese (PhD em Geodésia e Geomática) - Politécnica de Milão, Milão, 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/237520116\\_goGPS\\_free\\_and\\_constrained\\_relative\\_kinematic\\_positioning\\_with\\_low\\_cost\\_receivers](https://www.researchgate.net/publication/237520116_goGPS_free_and_constrained_relative_kinematic_positioning_with_low_cost_receivers)>. Acesso em: 9 jun. 2022.

REIMANN, L.; VAFEIDIS, A. T.; HONSEL, L. E. Population development as a driver of coastal risk: current trends and future pathways. **Cambridge Prisms: Coastal Futures**, v. 1, p. e14, 2023.

REIS, V. P.; PALMEIRO, A. S.; BARBOSA, L. G. Estudo da obtenção do nível médio do mar com altimetria por satélites. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 3-22, 1 jan. 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v6n1.5518>. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5518>. Acesso em: 21 fev. 2023.

REVNIVYKH, S.; BOLKUNOV, A.; SERDYUKOV, A.; MONTENBRUCK, O. GLONASS. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. (eds) **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems**. Springer, Berlin, 2017.

RIO, M.-H. Use of Altimeter and Wind Data to Detect the Anomalous Loss of SVP-Type Drifter's Drogue. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 29, n. 11, 1 novembro 2012, p. 1663-1674. Disponível em: <<https://doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00008.1>>. Acesso em: 24 dez. 2023.

RUSSIAN SPACE WEB. **GLONASS-K2 satellite series**. Disponível em <<https://www.russianspaceweb.com/glonass-k2.html>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

SANSÒ, F.; SIDERIS, M. G. **Geoid Determination: Theory and Methods**. Lecture Notes in Earth System Sciences. Springer, Berlin, 2013.

SANTANA, T. A. **Contribuições para os estudos de integração das componentes verticais terrestre e marinha ao longo da costa brasileira**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/66382>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SANTOS, M. S. T. ; AMARO, V. E. ; FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, A. L. S. Mapeamento de precisão da dinâmica costeira de curta duração em áreas de alta taxa de erosão, Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia** (Fortaleza), v. 25, p. 7-7, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/geologia/article/view/1357>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SCHUMAKER, L. L. **Spline Functions: Basic Theory**. 3. ed. Cambridge University Press, 2007.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

SHI, L.; XU, X.; XU, K.; XU, Y. Coastal Altimetry: A Promising Technology for the Coastal Oceanography Community. In: PAN, J.; DEVLIN, A. (ed.). **Estuaries and Coastal Zones: Dynamics and Response to Environmental Changes**. [S. l.]: IntechOpen, 2019. cap. 4. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/C7RA00172J%0Ahttps://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

SILVEIRA, L. N.; SOUZA, S. F.; NIEVINSKI, F. G. Análise Preliminar da Altimetria Orbital por Radar para a Integração de Referenciais Altimétricos no Complexo Lagoa dos Patos/Lago Guaíba. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível

em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/analise-preliminar-da-altimetria-orbital-por-radar-para-a-integracao-de-referenc?lang=pt-br>. Acesso em: 24 dez. 2023.

SOARES, S.; SANTOS, E.G.; LUZ, R. T. Rede Geodésica de Referência Costeira (RGRC) como Insumo para Integração de Altitudes e Profundidades: Resultados Preliminares. **VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, p. 742-751, 2018.

SUN, W.; ZHOU, X.; FU, Y.; WANG, Z.; ZHOU, D. Monitoring Tides with GNSS Buoys in Open Sea Areas. In: International Workshop on Environment and Geoscience (IWEG 2018), 2018, Hangzhou, China. **Proceedings** [...]. [S. l.]: Scitepress, 2018. p. 105-109. Disponível em: <https://www.scitepress.org/Papers/2018/74265/74265.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2022.

THE OPEN UNIVERSITY. Chapter 2 - Tides. In: THE OPEN UNIVERSITY (Ed.). **Waves, Tides and Shallow-Water Processes**. Butterworth-Heinemann, 1999. p. 50-86. ISBN 9780080363721. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080363721500039>. Acesso em: 23 dez. 2023.

TORGE, W. **Geodesy**. 3. ed. rev. e aum. Berlim: Walter de Gruyter, 2001. 432 p. ISBN 3-11-017072-8.

UNITED NATIONS - GLOBAL GEOSPATIAL INFORMATION MANAGEMENT (UN-GGIM). Global Geodetic Reference Frame Working Group. **Newsletter 5**. 2015. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1NWVJKtcLpGhn9bLN88oCB-0IcxTjHuX-/view>. Acesso em: 12 dez. 2023.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2015.