



MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS

REDUÇÃO DE SONDAGEM PARA MARÉ-GNSS: UMA AVALIAÇÃO DA MÉTODO
RTK-NTRIP NA BAÍA DE GUANABARA

1º Ten. KUETE TCHADJE Williams Parfait

Niterói-RJ, Brasil Outubro, 2025

KUETE TCHADJE Williams Parfait

**REDUÇÃO DE SONDAGEM PARA MARÉ-GNSS: UMA AVALIAÇÃO DA MÉTODO
RTK-NTRIP NA BAÍA DE GUANABARA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente e técnico do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino da Marinha do Brasil (CIAARA/MB), como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Oficial Hidrógrafo.

Orientador: Capitão Tenente Felipe Rodrigues Santana
Coorientador: Capitão de Fragata Bruno Neves Batista

Niterói – RJ Outubro, 2025

Kuete Tchadje, Williams Parfait

Redução de sondagem par maré-GNSS uma avaliação da
método RTK-NTRIP na baía de Guanabara

xii, 82 f.: il. Color.; 29,7 cm.

Orientador: Capitão Tenente Felipe Rodrigues Santana

Coorientador: Capitão de Fragata Bruno Neves Baptista

Monografia – MB/CIAARA Curso de Aperfeiçoamento em
Hidrografia para Oficiais, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 61-62

1. Batimetria. 2. Gnss. 3. Maré(oceanografia). 4. RTK. 5. Redução de
sondagem. 6. Baía de Guanabara (RJ). 7. Hidrografia.

I. Santana, Felipe Rodrigues. II. Centro de Instrução e Adestramento
Almirante Radler de Aquino, CIAARA, Curso de Aperfeiçoamento
em Hidrografia para Oficiais. III. Redução de sondagem par maré
GNSS; uma avaliação da método RTK-NTRIP.

CDD: 526.9

**REDUÇÃO DE SONDAGEM PARA MARÉ-GNSS UMA AVALIAÇÃO DA
MÉTODO RTK-NTRIP NA BAIA DE GUANABARA**

Kuete Tchadje Williams Parfait

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE TÉCNICO DO CENTRO DE
INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO DA
MARINHA DO BRASIL (CIAARA/MB) COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE OFICIAL HIDRÓGRAFO.

Examinada por:

CT VALDER Álvaro da Luz Silva, CHM.

CT FLÁVIO Alves da Cunha Silva, CIARRA

NITERÓI, RJ – BRASIL OUTUBRO DE 2025

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho ao meu tio, LORD FOKOUE, Professor de Estatística na Universidade de Rochester, Estados Unidos, cuja trajetória de vida e exemplo pessoal me revelam diariamente os verdadeiros mecanismos da perseverança e do esforço. Sua postura inspiradora, pautada na paixão e na disciplina em cada tarefa, é um farol que guia minha própria caminhada acadêmica e profissional.

Eu registro também minha gratidão à turma do CAHO 2025, que compartilhou comigo não apenas os desafios e dificuldades, mas também as conquistas e alegrias dessa jornada. Seguimos juntos, com espírito de equipe e companheirismo, até o fim.

À minha avó KAZE e à mãe da minha avó, LYDIE FOUDJI; à minha mãe, FOMO CLARISSE; à minha avó MANKEJIEU AGATHE — essas mães de todas as gerações que, com sua presença e suas orações, me guiam e me protegem por onde eu vou.

À minha família e amigos, que mesmo à distância me deram força e coragem para enfrentar esta etapa longe de meus referenciais cotidianos.

Aos meus orientadores, Capitão-Tenente Felipe Rodrigues Santana e Capitão de Fragata Bruno Neves Baptista, manifesto um agradecimento especial pela paciência, pela dedicação em transmitir conhecimento e pela motivação constante. Sua orientação atenta e generosa foi determinante para a construção deste trabalho e um exemplo de liderança que levarei para minha vida profissional.

Estendo ainda meus agradecimentos aos mestres e à administração do CIAARA, pelo apoio e pelos ensinamentos essenciais à formação de um Oficial Hidrógrafo.

Por fim, expresso minha admiração a todos que se dedicam em prol da ciência — hidrógrafos, meteorologistas, oceanógrafos e pesquisadores — que, muitas vezes de forma anônima, constroem ferramentas e meios para o progresso da sociedade. É graças a esse esforço coletivo, movido por orgulho, abnegação e vocação, que trabalhos como este se tornam possíveis.

RESUMO

Este trabalho avalia a redução de sondagens por maré-GNSS na Baía de Guanabara, com ênfase no posicionamento RTK via NTRIP, como alternativa às reduções convencionais baseadas em estações maregráficas, cuja representatividade espacial é limitada e sujeita a erros cotidais. Foram adquiridos dados batimétricos e GNSS em condições reais e processados com correções diferenciais em tempo real. A separação vertical (β) entre o elipsoide de referência e o Nível de Redução foi estimada a partir da estação Ilha Fiscal (F-41) e, em seguida, ajustada no CARIS por procedimento iterativo (reprocessamento da superfície por maré GNSS, geração da superfície de diferenças em relação ao marégrafo e cálculo de estatísticas) com o objetivo de reduzir a média das diferenças para próximo de zero. As profundidades reduzidas por GNSS foram comparadas às do método tradicional, resultando em médias de viés próximas de zero. Em termos comparativos, obteve-se viés equivalente e dispersão cerca de quatro vezes menor do que o melhor caso divulgado por Ramos e Krueger (2009), reforçando a maturidade do método e a eficácia do controle de qualidade adotado. Os resultados apontam para a viabilidade da maré GNSS via RTK/NTRIP como alternativa operacional à maré convencional, permitindo maior consistência geodésica e melhor adequação espacial das correções, ainda que mantendo a necessidade inicial de calibração em relação a uma estação maregráfica de referência.

Palavras-chave: redução de sondagem por GNSS; RTK; NTRIP; levantamento batimétrico; Baía de Guanabara.

ABSTRACT

This study evaluates GNSS-tide-based survey reduction in Guanabara Bay, emphasizing RTK positioning via NTRIP as an alternative to conventional reductions based on tide gauges, whose spatial representativeness is limited and subject to co-tidal errors. Bathymetric and GNSS data were acquired under real operating conditions and processed with real-time differential corrections. The vertical separation (β) between the reference ellipsoid and the Reduction Level (NR) was estimated from the Ilha Fiscal station (F-41) and then adjusted in CARIS through an iterative procedure (reprocessing the GNSS-tide surface, generating the difference surface relative to the tide-gauge solution, and computing statistics) with the goal of bringing the mean of differences close to zero. GNSS-reduced depths were compared with those from the traditional method, yielding near-zero mean biases, centimeter-level dispersions. In comparative terms, we obtained an equivalent bias and a dispersion about four times smaller than the best case reported by Ramos and Krueger (2009), reinforcing the method's maturity and the effectiveness of the applied quality control. The results indicate that GNSS tide via RTK/NTRIP is an operationally viable alternative to conventional tide-gauge reduction, enabling greater geodetic consistency and better spatial adequacy of corrections, while still requiring an initial β calibration relative to a local reference tide station.

Keywords: GNSS-based tide reduction; RTK; NTRIP; bathymetric surveying; Guanabara Bay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Baixa mar na baia de Fundy.....	17
Figura 2 : Esquema de uma onda	18
Figura 3 Posições dos astros nos períodos de sizígia e quadratura	18
Figura 4: Mapa de classificação da maré para a região de estudo segundo o critério de Courtier (1932)	20
Figura 5: Correções a serem realizadas no pós-processamento GNSS	23
Figura 6 : Estrutura NTRIP	28
Figura 7 : Correção de sondagem para maré GNSS	29
Figura 8 Correção de sondagem para maré GNSS	31
Figura 9: Offsets utilizados na embarcação DELFOS 2	36
Figura 10 :Area de levantamento perto da Ilha fiscal.....	37
Figura 11 : Distancia área de levantamento até a estação maré gráfica Ilha fiscal	38
Figura 12 : Determinação do SEP na estação maregráfica da Ilha Fiscal	39
Figura 13 Fluxograma de Processamento.	40
Figura 14 Importação do arquivo hips.....	40
Figura 15 : Aplicação do filtro com Threshhold 1.8.....	41
Figura 16 Tratamento linhas de verificação com swath editor.....	42
Figura 17 Georreferenciamento batimétrico com o Tide no CARIS	42
Figura 18 Georreferenciamento com a maré-GNSS	43
Figura 19 Geração de superficie com a <i>ferramenta Gridded Surface</i>	44
Figura 20 Geração diferença entre as dois superfícies	44
Figura 21 Coeficientes a e b da TVU	46
Figura 22 : Configuração do Line QC Report no Caris.	47
Figura 23 : Resultados do Compute Statistics.....	48
Figura 24 Superfície reduzida para maré-GNSS	49
Figura 25 Superfície reduzida para maré convencional	49
Figura 26 Superfície diferença entre os dois superfícies	50
Figura 27 Boxplot das diferenças	50
Figura 28 Histograma das diferenças	51
Figura 29 Curva de distribuição cumulativa das diferenças.....	52
Figura 30 Line QC report das reduções das maré GPS e maré Conventional.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação tipos de marés pelo critério de Courtier	19
Quadro 2 : Vantagens, Desvantagens e Precisões do PPP	24
Quadro 3 : Quadro comparativo- PPP X RTK X PPK.....	27
Quadro 4 : Vantagens e limitações Maré convencional	30
Quadro 5 : Vantagens e limitações da redução para maré GNSS	32
Quadro 6 : Comparações Maré convencional com maré GPS	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das ondas capilares e gravitacionais.....	16
Tabela 2: Precisão esperada para um levantamento estático (metros)	25
Tabela 3: Sensores	35
Tabela 4 : Informações estação marégrafia da ilha fiscal	39
Tabela 5 : Estatísticas superfície diferença das dois superfícies	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários
CAHO – Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais
CDF – *Cumulative Distribution Function*
CIAARA – Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino
DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação
GNSS – *Global Navigation Satellite System*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS – *International GNSS Service*
IHO – *International Hydrographic Organization*
IMU – *Inertial Measurement Unit*
IP/TCP – *Internet Protocol / Transmission Control Protocol*
NR – Nível de Redução
NTRIP – *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*
OHI – Organização Hidrográfica Internacional
PPK – *Post-Processed Kinematic*
PPP – *Precise Point Positioning*
RMS/RMSE – *Root Mean Square (Error)*
RTG – *Real Time Gipsy*
RTK – *Real Time Kinematic*
SEP (β) – Separação Elipsoide–Plano de Redução
SIRGAS2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPP – *Standard Point Positioning*
TVU – *Total Vertical Uncertainty*
WGS-84 – *World Geodetic System 1984*
NR – Nível de redução

LISTA DAS EQUAÇÕES

Equação 2.1	17
Equação 2.2	19
Equação 2.3	20
Equação 2.4	21
Equação 2.5	22
Equação 2.6	29
Equação 2.7	29
Equação 2.8	30
Equação 2.9	30
Equação 2.10	31
Equação 4.1	39
Equação 4.2	39
Equação 4.3	39
Equação 4.4	45
Equação 4.5	45
Equação 4.6	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	MARÉ.....	16
2.1.1	Definição e conceito de maré	16
2.1.2	Previsão de Maré.....	20
2.2	METODOS DE POSICIONAMENTO GNSS.....	21
2.2.1	Conceito de Posicionamento GNSS.....	21
2.2.2	Classificação dos Métodos de Posicionamento.....	23
2.2.3	NTRIP – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol	27
2.3	REDUÇÃO DE SONDAGEM	29
2.3.1	Redução de sondagem por maré convencional	29
2.3.2	Redução de sondagem por GNSS (Maré GNSS).....	30
3	OBJETIVOS.....	34
4	METODOLOGIA	35
4.1	Informações sensores e embarcações	35
4.1.1	Sistema multifeixe.....	35
4.1.2	Offsets da embarcação	35
4.2	Dados batimétricas.....	36
4.3	Dados marégráficas.....	37
4.4	Cálculo do SEP	38
4.5	Processamento de dados	40
4.5.1	Tratamento das Linhas regulares	41
4.5.2	Tratamento Linha das linhas de verificação.....	41
4.5.3	Geração de superfícies	42
4.5.4	Superfície de diferença entre superfícies reduzidas por maré GNSS e maré convencional	44
4.6	Analise de dados	44
4.6.1	Controle de Qualidade.....	44
4.6.2	Compute statistics	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	Superfícies geradas.....	49
5.1.1	Superfície reduzida para maré GNSS	49

5.1.2	Superfície reduzida para maré convencional	49
5.1.3	Superfície diferença entre as duas superfícies.....	49
5.1.4	Análise Estatística das Diferenças entre Maré GNSS e Maré Convencional	50
5.2	Resultado do line QC report	52
5.2.1	Resultados	52
5.2.2	Interpretação.....	53
6	CONCLUSÃO	54
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo representa cerca de 80% do comércio mundial (OMI, 2022) e constitui um pilar essencial da economia brasileira, com aproximadamente 95% das trocas comerciais realizadas por via marítima (ANTAQ, 2022). Essa relevância exige que a navegação em áreas costeiras e canais rasos seja realizada com elevada segurança, uma vez que cada centímetro de profundidade pode ser decisivo para a manobra de navios de grande porte.

Nos levantamentos hidrográficos, a redução de sondagem é o processo que transforma profundidades medidas em campo em valores referenciados a um nível vertical padrão — o Nível de Redução (NR) adotado pela DHN. Tradicionalmente, essa redução é realizada a partir de registros de estações maregráficas costeiras. Contudo, essa metodologia apresenta limitações: a maré observada em terra pode não ser representativa na área de levantamento, gerando discrepâncias conhecidas como erros cotidais (RAMOS, 2007).

Diante dessas limitações, os últimos anos testemunharam o avanço das técnicas baseadas em GNSS diferencial, que permitem aplicar correções de maré derivadas de observações satelitais. O método RTK (*real time Kinematic*), que pode ser associado ao serviço NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), viabiliza a obtenção em tempo real de altitudes elipsoidais corrigidas, que podem ser convertidas em profundidades reduzidas por meio da separação vertical entre o elipsoide e o NR local (IHO, 2005). Essa abordagem tem potencial para reduzir a dependência de marégrafos costeiros e eliminar os erros cotidais, oferecendo maior consistência geodésica (CLARKE et al., 2005).

Assim, o presente trabalho busca avaliar, em condições reais na Baía de Guanabara, a aplicabilidade operacional da maré GNSS via RTK/NTRIP na redução de sondagens.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MARÉ

2.1.1 DEFINIÇÃO E CONCEITO DE MARÉ

A maré é um fenômeno periódico que se manifesta na oscilação do nível médio do mar, resultante da interação gravitacional da Lua e do Sol com a Terra, modulada pela rotação terrestre e pelas características geomorfológicas das bacias oceânicas. Trata-se de um movimento oscilatório que pode ser descrito como uma onda de gravidade de longo período, cujo comprimento de onda é da ordem de milhares de quilômetros (PUGH, 1987; PUGH; WOODWORTH, 2014), como mostrado na Tabela 1 em comparação com ondas capilares e gravitacionais que tem períodos e comprimentos de ondas inferior.

Tabela 1: Características das ondas capilares e gravitacionais

Onda	Período	λ	Tipo de Onda*	Forçante
capilar	< 0,1 s	< 2 cm	profunda - rasa	ventos locais
<i>chop</i>	1-10 s	1-10 m	profunda - rasa	ventos locais
<i>swell</i>	10-30 s	> dezenas m	profunda - rasa	tempestades distantes
<i>seiches</i>	10 min - 10 h	> dezenas Km	rasa - intermediária	vento, ressonância de maré
tsunami	10-60 min	> dezenas Km	rasa - intermediária	distúrbios submarinos
marés	12,4 - 24,8 h	centenas de Km	rasa	Astronômica

Fonte: Gomes, 2003

2.1.1.1 A MARÉ COMO UMA ONDA

Do ponto de vista dinâmico, a maré é classificada como uma onda de águas rasas (PUGH, 1987), uma vez que o seu comprimento de onda é muito superior à profundidade oceânica. A velocidade de propagação dessa onda é dada pela relação:

$$c = \sqrt{g \cdot h}$$

Equação 2.1

onde:

c é a velocidade de propagação (m/s);

g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$);

h é a profundidade média oceânica.

Além do aspecto físico, deve-se considerar que a maré apresenta grande variabilidade espacial e temporal. Essa característica impõe a necessidade de previsão precisa para garantir a segurança da navegação, a operação em portos e a proteção de áreas costeiras ambientalmente sensíveis. A Figura 1 mostra uma baixa mar na Baía de Fundy no Canadá, ele não tem mais coluna d'água suficiente para conseguir navegar nessa zona. Então tem que prever isso para planejar operações de navegação mostrando bem o papel d'entender a maré.

Figura 1 : Baixa mar na baía de Fundy



Fonte: Gomes,2003

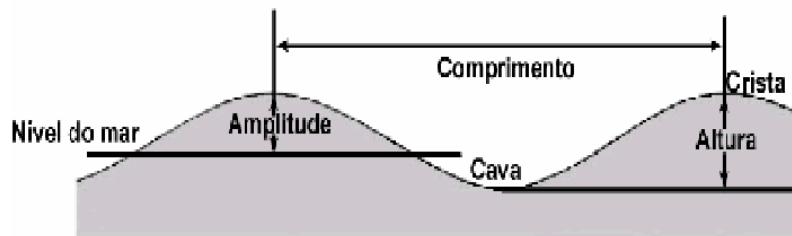
2.1.1.2 TERMOS BÁSICOS DE MARÉ

- Crista: o ponto mais elevado da onda
- Cava: a depressão entre duas cristas
- Altura (H): distância vertical entre o topo de uma crista e o fundo de uma cava vizinha
- Comprimento (λ): distância horizontal entre qualquer ponto de uma onda e o ponto

correspondente da próxima onda como mostrado na Figura 2.

- Inclinação: razão entre a altura e o comprimento (H/λ)
- Amplitude (T): deslocamento vertical máximo do nível basal do mar
- Período: tempo que um λ leva para passar por um ponto estacionário
- Velocidade: velocidade que uma onda passa por um ponto estacionário.

Figura 2 : Esquema de uma onda

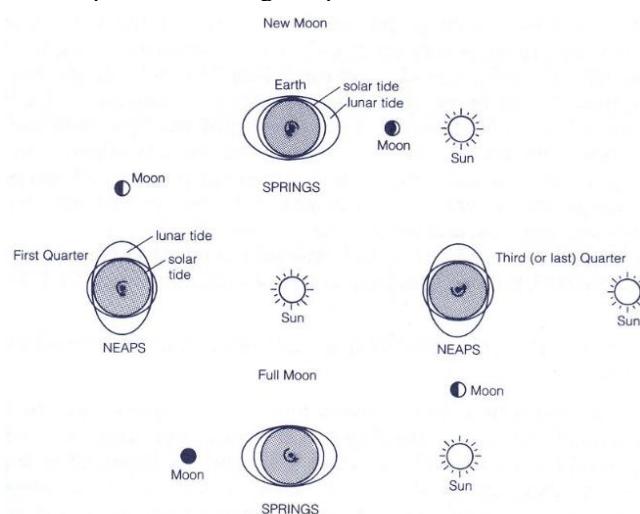


Fonte: MENICUCA FILHO (1952)

- Sizígia: alinhamento Sol–Terra–Lua (lua nova e lua cheia), associado a marés de maior amplitude.
- Quadratura: quando Sol e Lua formam ângulo de 90° , gerando marés de menor amplitude.

As posições dos astros nos períodos de sizígia e de quadratura são mostradas na Figura 3.

Figura 3 Posições dos astros nos períodos de sizígia e quadratura



Fonte: Gomes ,2003

2.1.1.3 NÍVEIS DE REFERÊNCIA

Os níveis de referência são planos utilizados como base para a redução das sondagens

batimétricas e como referência nas cartas náuticas. O nível de referência escolhido no Brasil é o nível de redução (NR), correspondente aproximadamente à média das baixa-mares de sínódio (DHN, 2015).

Outros níveis empregados internacionalmente são:

- MHHW (*Mean Higher High Water*): média das preamarés mais altas;
- MHW (*Mean High Water*): média das preamarés;
- MLW (*Mean Low Water*): média das baixa-mares;
- MLLW (*Mean Lower Low Water*): média das baixa-mares mais baixas.

2.1.1.4 TIPOS DE MARÉS

A classificação das marés no quadro 1 é feita segundo o regime de oscilação do nível do mar. Existem quatro tipos básicos:

- Diurna: apenas um ciclo por dia lunar (24h50min);
 - Semidiurna: dois ciclos por dia lunar, de amplitudes semelhantes;
 - Semidiurna com desigualdade diurna: dois ciclos por dia, mas preamarés e baixa-mares de diferentes amplitudes;
 - Mista: alternância entre comportamento diurno e semidiurno ao longo do ano.
- Courtier (1938) propôs um parâmetro de forma:

$$C = (H_K1 + H_O1) / (H_M2 + H_S2) \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde H_K1 , H_O1 , H_M2 , H_S2 são as amplitudes dos principais constituintes diurnos ($K1, O1$) e semidiurnos ($M2, S2$). A classificação da maré é calculada de acordo com o valor de C , conforme quadro abaixo.

Quadro 1: Classificação tipos de marés pelo critério de Courtier

Critério de Courtier	Classificação
$C \leq 0,25$	Semidiurna
$0,25 < C \leq 1,5$	Semidiurna com desigualdade
$1,5 < C \leq 3,0$	Mista
$C > 3,0$	Diurna

Fonte: Courtier (1938)

O mapa mostra os regimes de marés na costa brasileira: em azul, semidiurna (SD), com duas preamarés e duas baixa-mares quase iguais por dia; em verde, semidiurna desigual (SDD),

ainda com duas por dia, mas de alturas diferentes; em laranja, mista, alternando características diurnas e semidiurnas; e em cinza, diurna, com um ciclo por dia.

Figura 4: Mapa de classificação da maré para a região de estudo segundo o critério de Courtier (1932)



Fonte: DHN,2015

2.1.2 PREVISÃO DE MARÉ

A previsão de marés é essencial para a segurança da navegação, as operações portuárias e os levantamentos hidrográficos, pois subsidia a redução de sondagens, o planejamento náutico e a gestão costeira. Conforme Pugh e Woodworth (2014), ela resulta da combinação dos constituintes astronômicos com efeitos não astronômicos, como vento, pressão atmosférica, ressonância local e outros.

2.1.2.1 MARÉ ASTRONÔMICA E MARÉ REAL

O nível do mar observado pode ser representado de forma geral como:

$$N(t) = N_{\text{médio}} + N_{\text{astronômico}}(t) + N_{\text{não astronômico}}(t) \quad \text{Equação 2.3}$$

onde:

- $N_{\text{médio}}$ é o nível médio do mar, obtido a partir da média de séries longas de observações;
- $N_{\text{astronômico}}(t)$ corresponde à componente periódica, representando a maré puramente astronômica, calculada a partir das posições da Lua e do Sol e da hidrodinâmica local (ressonância, atrito, batimetria, geometrias costeiras);

$N_{\text{não astronômico}}(t)$ representa os efeitos de origem meteorológica (ventos, pressão atmosférica).

Essa formulação destaca que a maré real é a soma de um plano de referência (nível médio), de uma parte previsível (astronômica) e de uma parcela não periódica (não

astronômica), que precisa ser analisada caso a caso.

2.1.2.2 MÉTODOS DE PREVISÃO

2.1.2.2.1 MÉTODO NÃO HARMÔNICO

O método não harmônico, também chamado de estabelecimento do porto, é aplicado principalmente em portos secundários. Esse método, com o apoio do Almanaque Náutico, permite prever horários de preamarés e baixa-mares por correções empíricas, com erros típicos da ordem de ± 30 min para os horários e $\pm 0,10$ m para as alturas previstas (CAHO Maré 2025).

2.1.2.2.2 MÉTODO HARMÔNICO

Baseia-se na decomposição da maré em constituintes periódicos associados a forçantes astronômicas. A previsão é dada por:

$$h(t) = H_0 + \sum_i f_i H_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u_i) - k_i) \quad \text{Equação 2.4}$$

Onde:

H_0 é o nível médio do mar;

H_i , a amplitude de cada constituinte;

k_i , a fase; ω_i , a velocidade angular;

f_i, u_i , as correções nodais e astronômicas;

e V_0 , o ângulo astronômico inicial (DOODSON, 1921; FOREMAN, 2009).

Esse método exige séries históricas de observação (idealmente ≥ 1 ano) e aplicação de técnicas de ajuste por mínimos quadrados ou decomposição espectral de Fourier. No entanto, permite previsões de longo prazo com elevada precisão (FRANCO, 2009).

2.2 METODOS DE POSICIONAMENTO GNSS

2.2.1 CONCEITO DE POSICIONAMENTO GNSS

O posicionamento GNSS consiste na determinação das coordenadas tridimensionais de um ponto sobre a superfície terrestre a partir da recepção de sinais transmitidos por satélites artificiais. O princípio fundamental baseia-se na medição de pseudodistâncias e fases da onda portadora

entre os satélites e os receptores (KRUEGER, 1996). A equação geral da pseudodistância é:

$$PD_r^s = \rho_r^s + c(\Delta t_r - \Delta t_s) + I_r^s + T_r^s + dm_r^s + b_r^{\{Li\}} + b_s^{\{Li\}} + \varepsilon \quad \text{Equação 2.5}$$

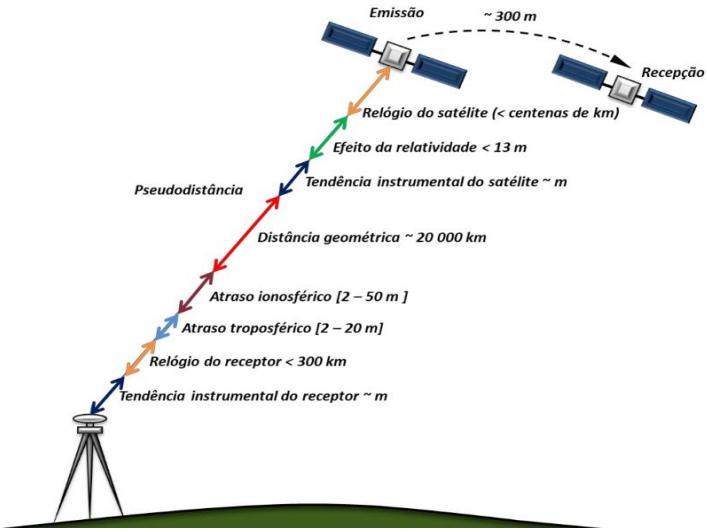
Onde:

- ρ_r^s : distância geométrica satélite–receptor
- $\Delta t_r, \Delta t_s$: erros de relógio do receptor e do satélite
- I_r^s : atraso ionosférico
- T_r^s : atraso troposférico
- dm_r^s : multicaminho
- $b_r^{\{Li\}}, b_s^{\{Li\}}$: atrasos de hardware
- ε : ruído aleatório.

Os sistemas GNSS fornecem como principais observáveis a pseudodistância e a fase da onda portadora. A pseudodistância resulta da correlação entre o código transmitido e o gerado no receptor, fornecendo uma medida direta de distância, mas sujeita a erros atmosféricos, instrumentais e de sincronização. Já a fase da portadora, muito mais precisa (nível milimétrico), apresenta a ambiguidade de fase, que deve ser resolvida para aplicações de alta acurácia. Além disso, o Doppler, derivado da variação da fase, é utilizado para estimar velocidades instantâneas. A adequada modelagem e combinação desses observáveis garante maior confiabilidade aos métodos de posicionamento, como PPP (Posicionamento por ponto preciso), RTK (posicionamento relativo em tempo real) e PPK (pós-processamento cinemático) (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008; MÔNICO, 2008).

Como mostra a Figura 5 , a pseudodistância GNSS (linha colorida) é a distância geométrica (~20 000 km) mais vários termos de erro ao longo do trajeto entre a emissão e a recepção do sinal: movimento do satélite durante o tempo de voo (~300 m), relógio do satélite, efeitos relativísticos (<13 m), tendências/viéses instrumentais do satélite e do receptor (ordem de metros), atrasos ionosférico (~2–50 m) e troposférico (~2–20 m), além do relógio do receptor (<300 m). Em posicionamento de alta precisão, esses termos são modelados, estimados ou eliminados (dupla frequência, diferenças, PPP/RTK/PPK) para recuperar a distância verdadeira.

Figura 5: Correções a serem realizadas no pós-processamento GNSS



Fonte: Adaptado de Agutz (2023)

2.2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

2.2.2.1 POSICIONAMENTO ABSOLUTO

No posicionamento absoluto, o receptor estima sua posição sem estação base, alcançando alguns metros mesmo sem correções. Quando se utilizam serviços de PPP (como o serviço PPP do IBGE), que aplicam órbitas e relógios precisos e modelos ionosféricos/troposféricos, a precisão pode chegar a nível centimétrico a milimétrico após um tempo de convergência.

2.2.2.1.1 O SERVIÇO PPP

O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) representa uma evolução do posicionamento absoluto convencional, pois utiliza órbitas precisas e correções atraso entre os relógios do receptor e do satélite, bem como modelos atmosféricos avançados, para estimar a posição de um único receptor sem necessidade de estação de referência local (KRUEGER, 2021). Com os avanços nos produtos do IGS (*International GNSS Service*), nos modelos de correção ionosférica e troposférica e nos algoritmos de resolução de ambiguidades, o PPP passou a alcançar precisões milimétricas em aplicações geodésicas para posicionamento estático.

O serviço IBGE-PPP, oferecido gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, processa dados GNSS utilizando diferentes arquivos de efemérides (ultrarrápido, rápido e final). As precisões variam conforme o produto orbital utilizado: cerca de ± 15 cm com efemérides ultrarrápidas, ± 5 cm com produtos rápidos após 12–36 horas e ± 2 cm com efemérides finais (IBGE, 2025). Assim, o PPP deixou de ser apenas uma técnica complementar

e tornou-se ferramenta fundamental para a implantação e densificação de redes geodésicas, monitoramento de estruturas e aplicações científicas que demandam elevado rigor posicional. Esse quadro 2 e a tabela 2 recapitulam as vantagens, desvantagens e precisões do PPP.

Quadro 2 : Vantagens, Desvantagens e Precisões do PPP

Critério	Vantagens	Desvantagens / Limitações	Precisão Típica Atual
Independência de base	Não necessita estação de referência local	Dependência de produtos orbitais precisos	±15 cm (ultrarrápido)
Convergência	Atinge alta acurácia após período de observação	Tempo de convergência (dezenas de minutos a algumas horas)	±5 cm (rápido, 12–36 h)
Cobertura global	Funciona em qualquer lugar, cobertura mundial	Sensível a condições atmosféricas locais	±2 cm (final, pós-processo)
Compatibilidade geodésica	Integra diretamente ao SIRGAS2000 via IBGE-PPP	Requer atenção às transformações entre ITRF e SIRGAS	Milimétrica em aplicações geodésicas
Aplicações	Geodésia de alta precisão, monitoramento, redes	Não fornece posição imediata (exceto PPP-RT)	Centimétrica a milimétrica

Fonte: Adaptado do IBGE,2025

Tabela 2: Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tempo de Observação	Uma frequência (Planimétrico)	Uma frequência (Altimétrico)	Duas frequências (Planimétrico)	Duas frequências (Altimétrico)
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

Fonte: Manual PPP-IBGE

2.2.2.2 POSICIONAMENTO RELATIVO

O posicionamento relativo consiste na determinação de coordenadas a partir da observação simultânea de dois ou mais receptores GNSS, sendo um deles instalado em ponto de coordenadas conhecidas (estação base) e outro no ponto a determinar (*rover*) (MONICO, 2008). Essa configuração permite eliminar ou reduzir significativamente erros comuns como os de relógio do satélite e, parcialmente, os efeitos atmosféricos, ao explorar correlações espaciais das observáveis (MONICO, 2008). O princípio básico é usar diferenças entre observações: a diferença simples elimina o erro de relógio do satélite ao comparar dois receptores rastreando o mesmo satélite; a diferença dupla combina duas diferenças simples de satélites distintos e cancela também o erro de relógio dos receptores; a diferença tripla introduz duas épocas na diferença dupla, facilitando a detecção de perdas de ciclo (MONICO, 2008). Em aplicações hidrográficas, essas estratégias são a base para integrar GNSS à redução de sondagens e controle de maré (RAMOS; KRUEGER, 2009).

Graças a essas técnicas de diferenciação, o posicionamento relativo atinge elevada precisão (nível centimétrico a milimétrico), sendo amplamente utilizado em levantamentos geodésicos, monitoramento de estruturas e aplicações hidrográficas. Contudo, sua principal limitação é a necessidade de comunicação ou proximidade entre base e o *rover*, geralmente restrita a distâncias de até algumas dezenas de quilômetros (MONICO, 2008; HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008).

2.2.2.2.1 RTK – REAL TIME KINEMATIC

O RTK (Real Time Kinematic) é uma técnica de posicionamento relativo em tempo real que utiliza observações de fase da onda portadora. Uma estação base transmite, por meio de rádio, GSM ou internet (via protocolo NTRIP), correções diferenciais a um receptor móvel

(rover).

Com isso, é possível resolver ambiguidades de fase em tempo real, alcançando precisão centimétrica (RAMOS; KRUEGER, 2009).

Para este trabalho, é importante destacar que a principal vantagem do RTK reside na precisão vertical alcançada, compatível com as exigências para fins de redução de sondagem, e na entrega de resultados imediatos, integrando diretamente os dados GNSS às medições de campo (como as sondagens). Por outro lado, sua limitação é a dependência de um enlace contínuo de comunicação entre base e rover e do comprimento de base, usualmente restrito a cerca de 30 a 50 km (HOFMANN-Wellenhof et al., 2008).

2.2.2.2.2 PPK – POST PROCESSED KINEMATIC

O PPK (Post-Processed Kinematic) é uma variação do posicionamento cinemático relativo. As observações GNSS são registradas na estação base e no rover e processadas depois em software especializado. Assim, dispensa comunicação em tempo real, aumenta o controle de qualidade e permite corrigir interrupções de sinal. É muito usado com drones e na aerofotogrametria, em levantamentos hidrográficos e na redução de sondagens quando não se exige resultado em tempo real. Sua principal vantagem é a robustez; a desvantagem é não fornecer posição instantânea, pois depende de processamento posterior (MONICO, 2008; TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017).

O quadro 3 mostra uma comparação entre os métodos PPP, RTK, PPK. Em síntese, PPP, RTK e PPK cobrem necessidades diferentes. O PPP (via técnica/serviços PPP) não depende de base local, tem cobertura global e é prático em áreas remotas; em contrapartida, exige tempo de convergência e produtos orbitais/relógio precisos, entregando precisão centimétrica a milimétrica sobretudo em pós-processamento—útil para redes geodésicas, monitoramento e geociências. O RTK oferece resultado centimétrico em tempo real, ideal para operações de campo (hidrografia, topografia, navegação de precisão) e integração direta a fluxos de obra; porém requer uma base próxima (linha de base curta) e link de comunicação estável entre base e rover. Já o PPK tem filosofia semelhante ao RTK, mas processa depois: dispensa comunicação contínua, é mais robusto a quedas de sinal e mantém precisão centimétrica; a troca é não ter posição instantânea, o que o torna excelente para drones, aerofotogrametria e redução de sondagens quando não se precisa do resultado em tempo real.

Quadro 3 : Quadro comparativo- PPP X RTK X PPK

Método	Vantagens	Desvantagens / Limitações	Precisão Típica	Aplicações
PPP	Independente de base local; cobertura global; gratuito via IBGE-PPP	Tempo de convergência (minutos a horas); dependência de produtos orbitais	Centimétrica a milimétrica (pós-processo)	Redes geodésicas, monitoramento, geociências
RTK	Centimétrico em tempo real; integração direta a levantamentos	Exige base próxima (até ~50 km); precisa de comunicação estável	2–5 cm horizontal; 5–10 cm vertical	Hidrografia, topografia, navegação de precisão
PPK	Robusto; corrige falhas temporárias; sem necessidade de link contínuo	Não fornece resultado em tempo real	Centimétrica (após processamento)	Drones, aerofotogrametria, levantamentos hidrográficos
RTG	Cobertura global; absoluto em tempo real; alternativa ao RTK	Serviço pago (assinatura anual); dependência de produtos em tempo real	Decimétrica a centimétrica	Monitoramento global, áreas remotas, aplicações científicas

Fonte: Autor

2.2.3 NTRIP – NETWORKED TRANSPORT OF RTCM VIA INTERNET PROTOCOL

O NTRIP é um protocolo padronizado pela RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) que permite a transmissão de correções diferenciais GNSS pela internet, em

tempo real, comumente utilizadas em técnicas como RTK e NRTK (Network RTK). Diferentemente dos métodos tradicionais de radiotransmissão, o NTRIP utiliza a infraestrutura da rede IP (TCP/IP), tornando possível acessar correções por meio de dispositivos móveis, modems GPRS/3G/4G, conexões Wi-Fi, conexões satelitais como o STARLINK por exemplo.

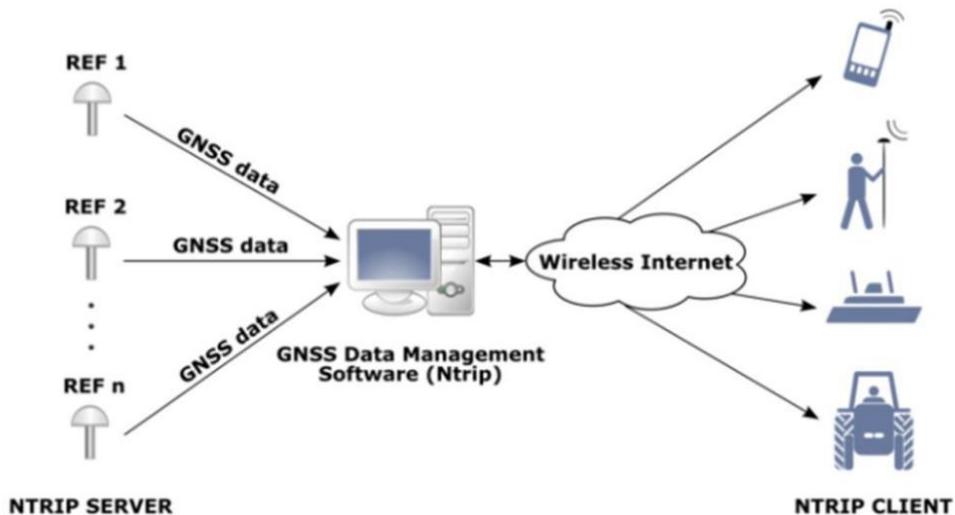
O sistema NTRIP é composto por três elementos principais como mostrado na figura 6:

- NTRIP *Server*: envia os dados de correções GNSS em formato padronizado (geralmente RTCM 3.x).
- NTRIP *Caster*: atua como servidor intermediário, responsável por gerenciar múltiplas conexões e organizar os pontos de montagem.
- NTRIP *Client*: receptor móvel (rover) que acessa os pontos de montagem via login e senha, recebendo correções diferenciais em tempo real.

Quando um rover GNSS se conecta ao NTRIP *Caster*, ele seleciona o ponto de montagem correspondente à estação ou rede de interesse. O fluxo de dados é transmitido em tempo real, permitindo resolver ambiguidades de fase e obter posições centimétricas instantâneas.

No contexto deste TCC, o método adotado é o RTK via NTRIP, uma vez que ele possibilita a integração direta entre as observações GNSS e as medições maregráficas, permitindo a correção em tempo real da maré via GNSS durante os levantamentos hidrográficos.

Figura 6 : Estrutura NTRIP



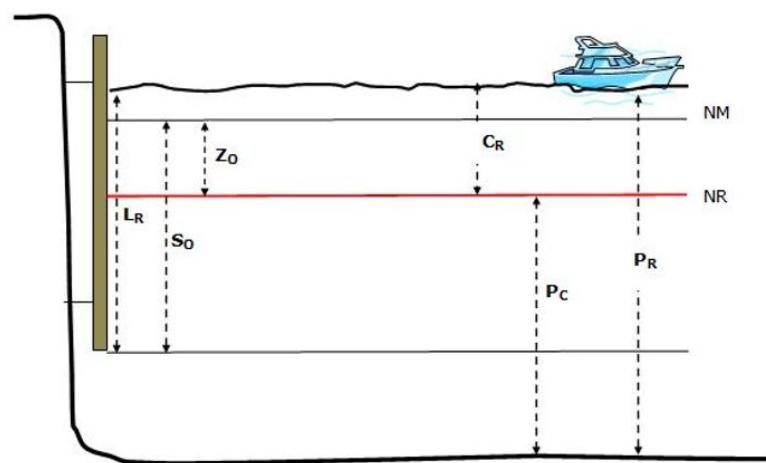
Fonte: IBGE,2025

2.3 REDUÇÃO DE SONDAGEM

2.3.1 REDUÇÃO DE SONDAGEM POR MARÉ CONVENCIONAL

A redução de sondagem pela maré convencional é baseada nas observações maregráficas obtidas em réguas de maré ou marégrafos automáticos, referidas ao nível de redução (NR) definido pela DHN para cada zona. Esse procedimento busca corrigir a profundidade medida pelo ecobatímetro em função das variações da maré, garantindo que todas as profundidades sejam expressas em um plano comum de referência hidrográfica.

Figura 7 : Correção de sondagem para maré GNSS



Fonte: Silva ,2015

A profundidade corrigida (P_c) é determinada pela equação:

$$P_c = P_m - C_R \quad \text{Equação 2.6}$$

$$C_R = L_R - (S_o - Z_o) \quad \text{Equação 2.7}$$

sendo:

- P_m é a profundidade medida
- P_c é a profundidade corrigida
- L_R é a leitura da régua (ou marégrafo),
- S_o é a altura do nível médio do mar em relação ao zero da régua de marés,
- Z_o é a altura do nível médio do mar em relação ao nível de redução,
- NR é ao nível de redução definida pela equação seguinte:

$$NR = S_0 - Z_0$$

Equação 2.8

Esse método é amplamente adotado em levantamentos hidrográficos convencionais e segue as diretrizes da NORMAM-501/DHN. A aplicação do zoneamento de maré permite dividir a área levantada em zonas com valores específicos de NR, ajustando as correções de acordo com a variação espacial da maré para reduzir erros cotidais. O quadro 4. mostra vantagens e limitações dessa redução para maré convencional. Quando um levantamento ocorre próximo de uma estação maregráfica, não há necessidade de realizar o zoneamento de marés.

Quadro 4 : Vantagens e limitações Maré convencional

Vantagens	Limitações
Metodologia consolidada e normatizada pela DHN e pela IHO	Dependência de estações maregráficas próximas.
Compatível com softwares de processamento hidrográfico (ex.: Caris HIPS/SIPS).	Necessidade de interpolação temporal e espacial se a estação maregráfica não for representativa da área do LH
	Susceptível a erros cotidais (diferenças entre a maré registrada e a efetiva na área do levantamento).

Fonte: adaptado do Aulas Maré CAHO 2025

Na prática, as correções de maré são disponibilizadas em arquivos digitais e, no caso do CARIS HIPS, no formato. TID — uma tabela de redução de sondagem que armazena a variação temporal da maré (altura em relação ao NR) para aplicação automática às sondagens durante o processamento.

2.3.2 REDUÇÃO DE SONDAGEM POR GNSS (MARÉ GNSS)

A redução de sondagem por GNSS substitui o uso direto das estações maregráficas pelas altitudes obtidas por receptores GNSS instalados a bordo. O princípio é transformar a altura elipsoidal fornecida pelo GNSS em altura referida ao nível de redução (NR), por meio de modelos de separação entre o elipsoide de referência e o nível de redução.

A profundidade corrigida (P_c) mantém a mesma estrutura de cálculo:

$$P_c = P_m - CR$$

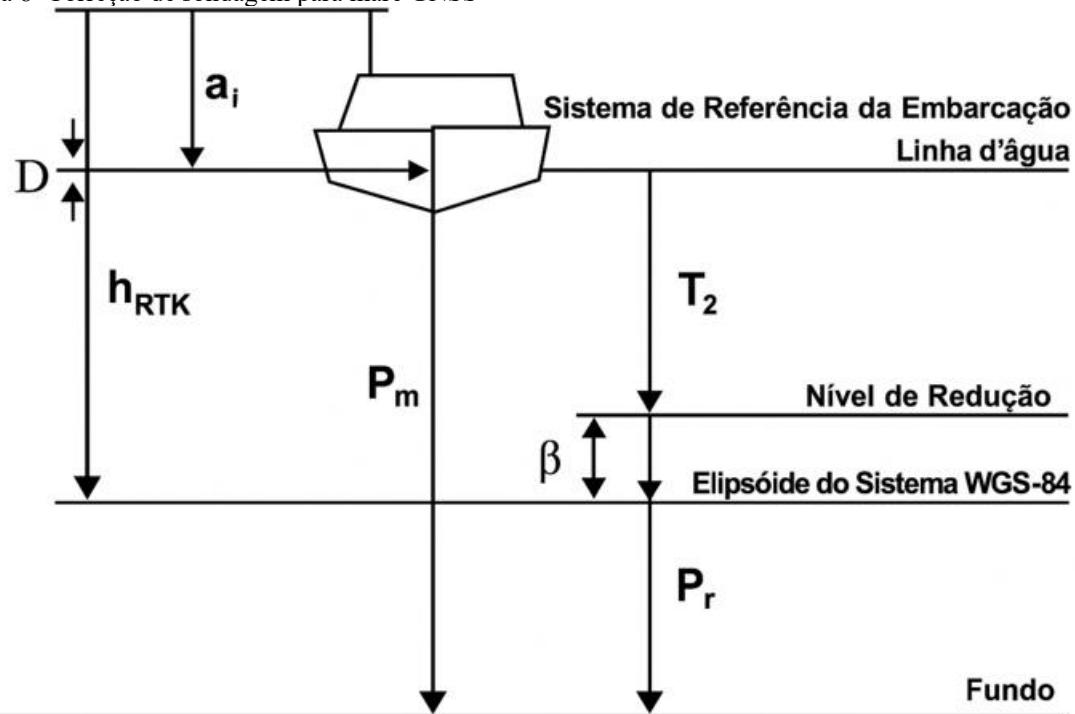
Equação 2.9

onde:

- P_m é a profundidade medida (ecobatímetro),

- CR é a correção de sondagem determinada a partir das alturas GNSS.

Figura 8 Correção de sondagem para maré GNSS



Fonte: (Ramos, Krueger 2009)

No caso GNSS, a correção é obtida pela relação:

$$CR = T_2 = h_{RTK}(t) - a_i - \beta \quad \text{Equação 2.10}$$

sendo:

- $h_{RTK}(t)$ = altura elipsoidal do receptor GNSS no instante t , corrigida em tempo real (RTK/NTRIP) ou em pós-processamento (PPK/PPP)
- a_i = altura da antena GNSS em relação à linha d'água,
- β = separação vertical entre o elipsoide de referência e o nível de redução, obtida por modelos de separação geoidal ou soluções regionais.

Esse método diminui a dependência de estações maregráficas locais, reduz os erros cotidianos e integra os levantamentos hidrográficos diretamente a um sistema geodésico global. Sua aplicação tem sido recomendada por guias internacionais, como o relatório da FIG/IHO (MILLS; DODD, 2014), e já foi avaliada no Brasil em trabalhos como o de Ramos & Krueger (2009).

Quadro 5 : Vantagens e limitações da redução para maré GNSS

Vantagens	Limitações
Menos dependente de estações maregráficas locais.	Necessidade de modelos de separação (β) de alta precisão.
Correções disponíveis em tempo real via RTK/NTRIP.	Exige receptores GNSS geodésicos e infraestrutura de correções diferenciais (NTRIP, PPP).
Consistência geodésica global (referência ao elipsoide/SIRGAS2000).	Dependência de serviços de correção.
Redução de incertezas associadas a erros cotidais.	

Fonte :adaptado do Aulas Geodesia CAHO, 2025

Como sintetiza o quadro 5 acima, a redução por maré GNSS oferece: menor dependência de estações maregráficas locais, correções em tempo real via RTK/NTRIP, consistência geodésica global (referência ao elipsoide/SIRGAS2000) e redução de incertezas cotidais. Em contrapartida, exige modelos de separação (β) de alta precisão, receptores GNSS geodésicos e infraestrutura de correções diferenciais (NTRIP e, quando aplicável, em tempo real ou pós-processado). Na prática, é especialmente útil em áreas pouco instrumentadas ou quando se busca padronização vertical; porém requer validação do β e controle de qualidade contínuo.

Na prática, os valores de altura GNSS podem ser processados em softwares como o Caris HIPS/SIPS que realiza o georreferenciamento dos dados de batimetria ao elipsoide, de acordo com o modelo de separação vertical β indicado.

A tabela a seguir compara, de forma sintética, a maré convencional e a maré-GNSS quanto à referência vertical, aplicação de correções, dependências, precisão, custos, normatização e aplicabilidade, auxiliando a escolha do método conforme a disponibilidade de estações/infraestrutura e as exigências de acurácia.

Quadro 6 : Comparações Maré convencional com maré GPS

Critério	Maré Convencional	Maré GNSS
Referência	Estações maregráficas, Zo e arquivos. TID	Elipsoide GNSS + modelos de separação (β)
Correção aplicada	Interpolada de réguas/marégrafos para o ecobatímetro	Altura elipsoidal GNSS corrigida em tempo real (RTK/NTRIP) ou pós-processada (PPK/PPP)
Dependência	Necessidade de estações próximas	Infraestrutura GNSS (base própria ou rede NTRIP). Serviço pago não é obrigatório. Pode necessitar estações maregráficas para calibração
Precisão típica	Decímetros a metros (dependendo da distância da estação)	Centímetros a decímetros (RTK/PPK). PPP pós-processado pode atingir centimétrico a milimétrico
Custos	Elevado (muitas estações e logística de manutenção)	Baixo a moderado (receptores GNSS geodésicos; NTRIP público e PPK podem ser gratuitos)
Normatização	Método consolidado: NORMAM-501/DHN, IHO	Método em expansão; validado em guias FIG/IHO
Aplicabilidade	Áreas costeiras com estações maregráficas	Áreas costeiras e oceânicas; regiões sem cobertura maregráfica

Fonte: Aulas CAHO 2025 modificada

3 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é avaliar a redução de sondagem por maré GNSS com RTK/NTRIP na Baía de Guanabara, tomando o método convencional (marégrafo) como referência para garantir consistência geodésica e padronização vertical. O plano inclui: determinar β (altura vertical elipsoide SIRGAS2000/WGS-84 ao Nível de redução do local), processar em tempo real via NTRIP e comparar as profundidades reduzidas GNSS versus convencionais. A análise usa RMS, MAE e desvio-padrão, além de discutir vantagens, limitações e perspectivas operacionais do método GNSS.

Objetivo geral:

Avaliar a viabilidade do método de redução de sondagem por maré GNSS utilizando RTK/NTRIP, aplicado a levantamentos hidrográficos na Baía de Guanabara.

Objetivos específicos:

- Determinar a separação vertical (β) entre o elipsoide de referência (SIRGAS2000/WGS-84) e o NR local.
- Processar os dados GNSS coletados em campo com correções diferenciais em tempo real via NTRIP.
- Comparar as profundidades reduzidas por maré GNSS (RTK/NTRIP) com as obtidas pelo método tradicional (marégrafo).
- Quantificar a acurácia por meio de métricas estatísticas (RMS, MAE, desvio-padrão).
- Analisar vantagens, limitações e perspectivas do método GNSS em relação à abordagem convencional

4 METODOLOGIA

4.1 INFORMAÇÕES SENSORES E EMBARCAÇÕES

4.1.1 SISTEMA MULTIFEIXE

O sistema multifeixe EM2040P é composto com o seguinte arranjo de sensores apresentado na tabela 3:

Tabela 3: Sensores

Propósito da medição	Equipamento
Profundidade	Ecobatímetro Multifeixe Kongsberg EM-2040P
Posicionamento e atitude	Giro-GPS Kongsberg Seatex Seapath-130
Sensor de Movimento	Seatex MRU-5
Perfilador da velocidade do Som	SVP AML Base-X2
Correção diferencial de posição	DGNSS 3710, G2/G4 Fugro e RTK NTRIP
Velocidade do som da face do transdutor	AML Micro-X

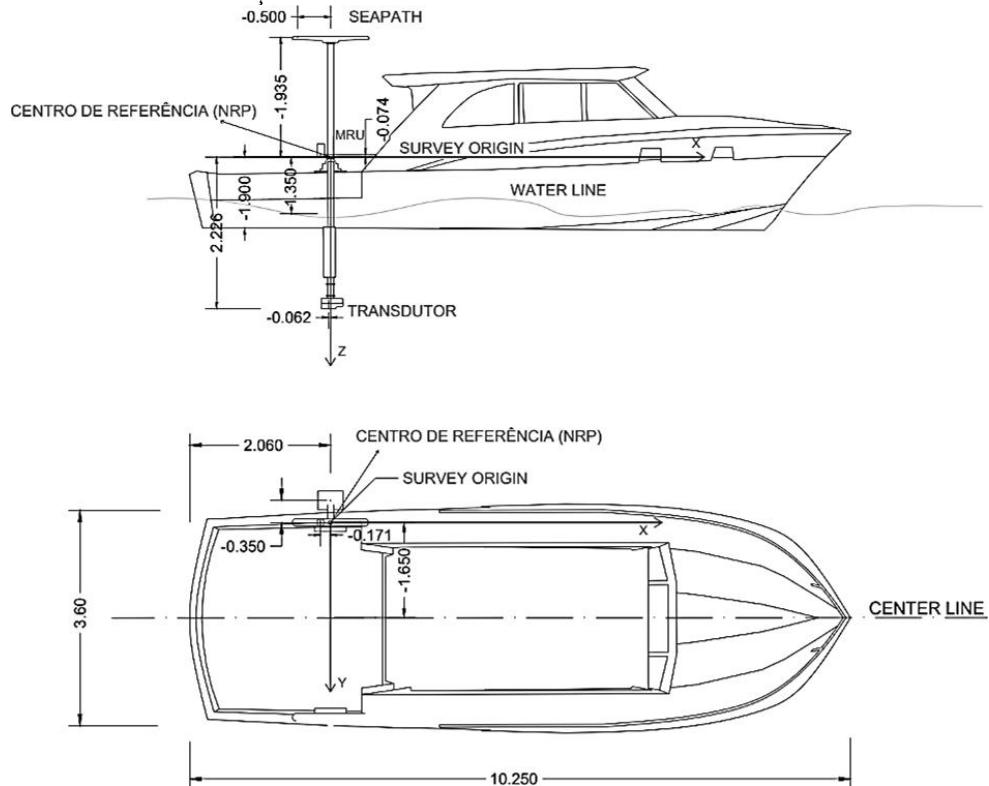
Fonte : Adaptado do (Marques,2021)

4.1.2 OFFSETS DA EMBARCAÇÃO

Essas informações da offsets da embarcação na figura 9 estão registradas no arquivo da embarcação (. Vessel file¹) no CARIS HIPS.

¹ *Vessel file*: arquivo de configuração do CARIS HIPS/SIPS que descreve a geometria da embarcação e a posição/offset dos sensores, usado para georreferenciar e corrigir as sondagens.

Figura 9: Offsets utilizados na embarcação DELFOS 2



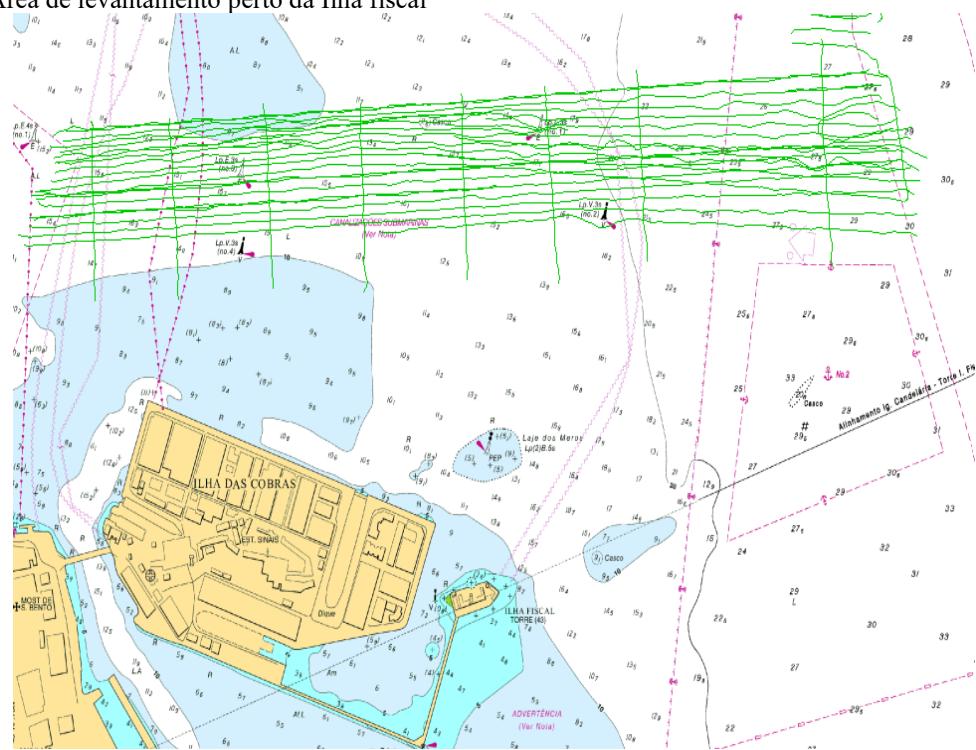
Fonte: Delfos Marítima

4.2 DADOS BATIMÉTRICAS

Os dados utilizados neste estudo foram gentilmente cedidos, em caráter de cortesia, pela Delfos Marítima², a partir do arquivo do Levantamento Hidrográfico (LH) realizado em 11 e 12 e 17 de novembro de 2022, na Baía de Guanabara (RJ), nas proximidades da estação maregráfica Ilha Fiscal (cód. 50140), conforme ilustrado na Figura 10. A área de operação encontra-se destacada na Carta Náutica 1511 (DHN), assegurando o adequado enquadramento cartográfico para planejamento, aquisição e controle de qualidade. O LH foi executado em conformidade com a Especificação S-44 da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), na classe de qualidade “Ordem Especial”.

² DELFOS é uma empresa moderna, focada em levantamentos hidrográficos.

Figura 10 :Area de levantamento perto da Ilha fiscal



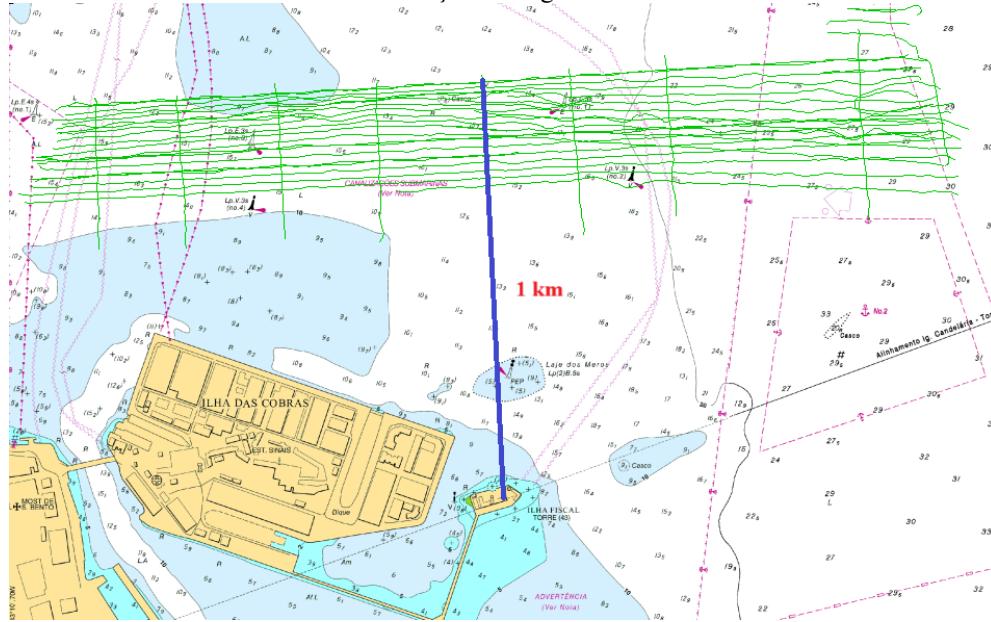
Fonte: autor

4.3 DADOS MARÉGRÁFICAS

Na região da área de sondagem encontra-se a estação maregráfica Ilha Fiscal, código 50140, homologada pelo CHM e utilizada como referência vertical deste levantamento. Segundo sua F-41 padrão, a estação localiza-se em 22°53,8'S / 43°10,0'W, possui NR igual a 169,33 cm acima do zero da régua, com zero do marégrafo coincidente ao zero da régua, e apresenta conjunto de réguas de alumínio HIDROMEC (módulos de 1 m totalizando 5 m).

As constantes harmônicas foram determinadas a partir de série de 731 dias (2018–2019), com atualização da ficha em 23/07/2021 e listagem de referências de nível para amarrações altimétricas. Esses elementos asseguram a rastreabilidade necessária para geração do arquivo. TID (redução T1) e para a ancoragem do SEP β (redução T2 por maré GNSS).

Figura 11 : Distância área de levantamento até a estação maré gráfica Ilha fiscal



Fonte: autor

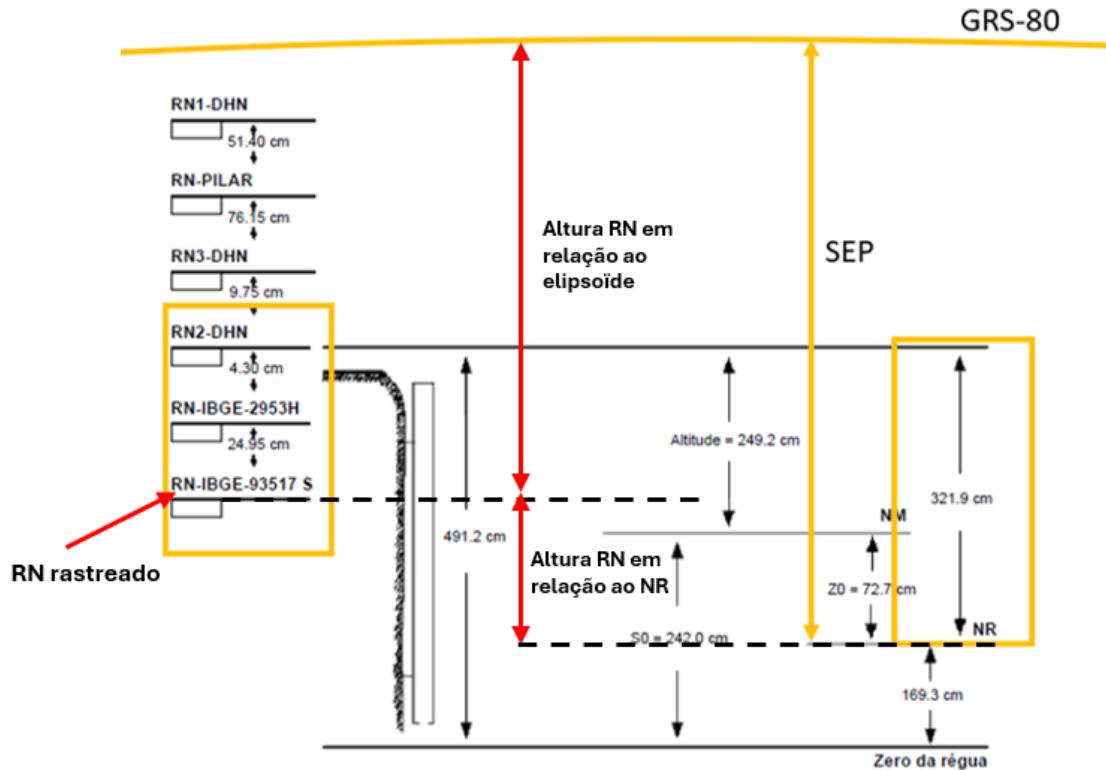
4.4 CÁLCULO DO SEP

Para este trabalho, é importante destacar que a principal vantagem do RTK reside na precisão vertical alcançada, compatível com as exigências para fins de redução de sondagem, e na entrega de resultados imediatos, integrando diretamente os dados GNSS às medições de campo, como as sondagens. Por outro lado, sua limitação é a dependência de um enlace contínuo de comunicação entre base e rover e do comprimento de base, usualmente restrito a cerca de 30 a 50 km (HOFMANN-Wellenhof et al., 2008).

Para este estudo, é fundamental distinguir as referências envolvidas: as alturas obtidas por GNSS-Tide estão referidas ao elipsoide WGS84, enquanto as leituras maregráficas adotadas pela DHN estão referidas ao Nível de Redução (NR), o zero hidrográfico associado ao nível médio das baixa-mares locais. Como a área de levantamento situa-se nas proximidades da estação maregráfica da Ilha Fiscal, é necessário transformar as alturas elipsoidais para a referência NR. Para isso, determina-se a separação entre o elipsoide WGS84 e o NR (SEP) no ponto de controle local: escolhe-se uma Referência de Nível (RN) vinculada à estação, realize-se o rastreamento GNSS dessa RN para obter sua altura elipsoidal h_{RN} , a partir da Ficha F41 da estação, obtém-se a cota da RN em relação ao NR. Então o SEP é o offset vertical que permite converter alturas elipsoidais (GNSS-Tide) para alturas referidas ao NR (zero hidrográfico) da estação maregráfica. O SEP como mostrado na figura 12 é dada por:

$$SEP = Altura RN_{em\ relação\ ao\ elipsóide\ WGS84} + Altura RN_{em\ relação\ ao\ NR} \quad \text{Equação 4.1}$$

Figura 12 : Determinação do SEP na estação maregráfica da Ilha Fiscal



Fonte: Adaptado de Marques ,2021

Nós determinamos o SEP então pela fórmula:

$$SEP = h_{RN-IBGE-93517S} - \Delta H_{RN2-RN93517} + Altitude + Z0 \quad \text{Equação 4.2}$$

Tabela 4 : Informações estação marégrafia da ilha fiscal

Parâmetro	Valor
Z0 (cm)	72,7
S0 (cm)	242,0
Nível de Redução (S0 - Z0) (cm)	169,3

Fonte: F41 Ilha Fiscal

Usando os valores da F41 da Tabela 4 agente encontrou a valor:

$$SEP = 3,4905m - 0,2925m + 2,492m + 0,727m = 6,417m \quad \text{Equação 4.3}$$

Esse valor de SEP é então inserido na etapa de georreferenciamento (GNSS Tide) do CARIS HIPS/SIPS, para que o software converta as alturas elipsoidais das medições em alturas referidas ao NR da Ilha Fiscal e aplique corretamente a redução de sondagem.

4.5 PROCESSAMENTO DE DADOS

O processamento dos dados hidrográficos foi conduzido conforme a sequência estabelecida pelo fluxograma apresentado na Figura 13.

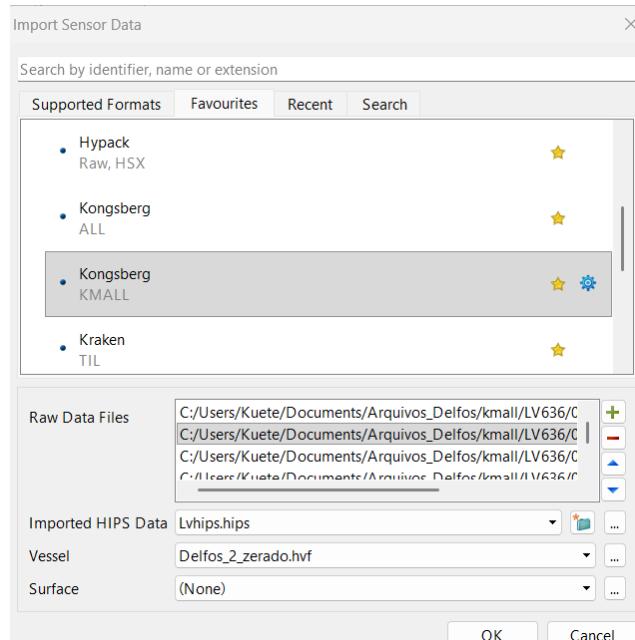
Figura 13 Fluxograma de Processamento.



Fonte : Aula Hidrografia , 2025

Inicia-se com a criação do projeto HIPS (sistema de coordenadas, unidades e diretórios de trabalho) e a importação dos dados brutos: arquivos ALL do EM2040 (pings) na figura 14, navegação/IMU e perfis de velocidade do som.

Figura 14 Importação do arquivo hips



Fonte: autor

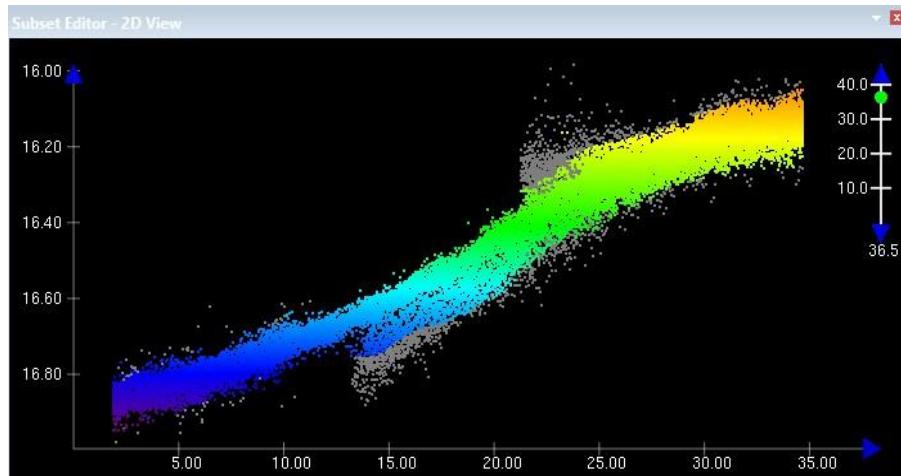
Em seguida, carrega-se o Vessel file contendo offsets lineares e angulares dos sensores

(GNSS, IMU, transdutor)

4.5.1 TRATAMENTO DAS LINHAS REGULARES

Utilizou-se o *Subset Editor* para inspecionar e sanear as linhas regulares; aplicou-se um filtro de superfície com *Threshold Value Scalar* de 1.8 *standard deviation* como mostrado na figura 15 para rejeição inicial de Outliers que resolveu os problemas de densificação dos dados bem como a correção de muitos feriados e revisaram-se manualmente trechos críticos. Removeram-se retornos espúrios e obteve-se uma nuvem de pontos mais homogênea, preparada para a geração de superfícies com incerteza controlada.

Figura 15 : Aplicação do filtro com Threeshold 1.8

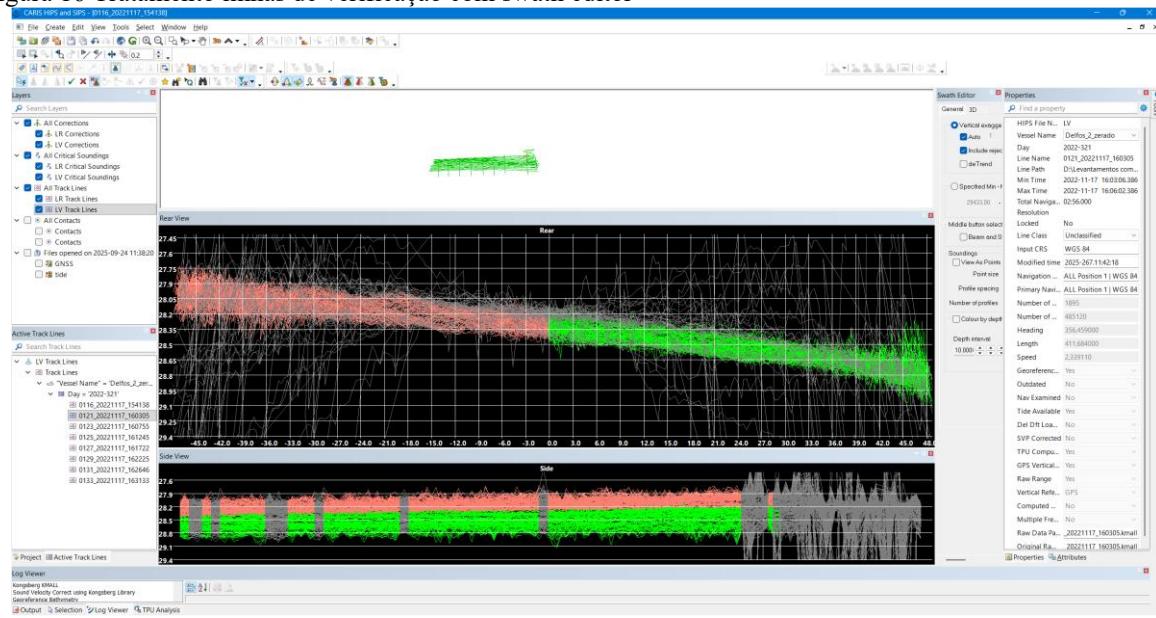


Fonte: autor

4.5.2 TRATAMENTO LINHA DAS LINHAS DE VERIFICAÇÃO

Utilizou-se o SWATH Editor como mostra Figura 16 para revisar as linhas de verificação e remover spikes isolados ou pontos fora do padrão que permaneciam após a limpeza inicial. A correção foi feita de forma direta, observando os perfis e excluindo os pontos incoerentes, até obter uma faixa de dados contínua e estável para o controle de qualidade.

Figura 16 Tratamento linhas de verificação com swath editor



Fonte: autor

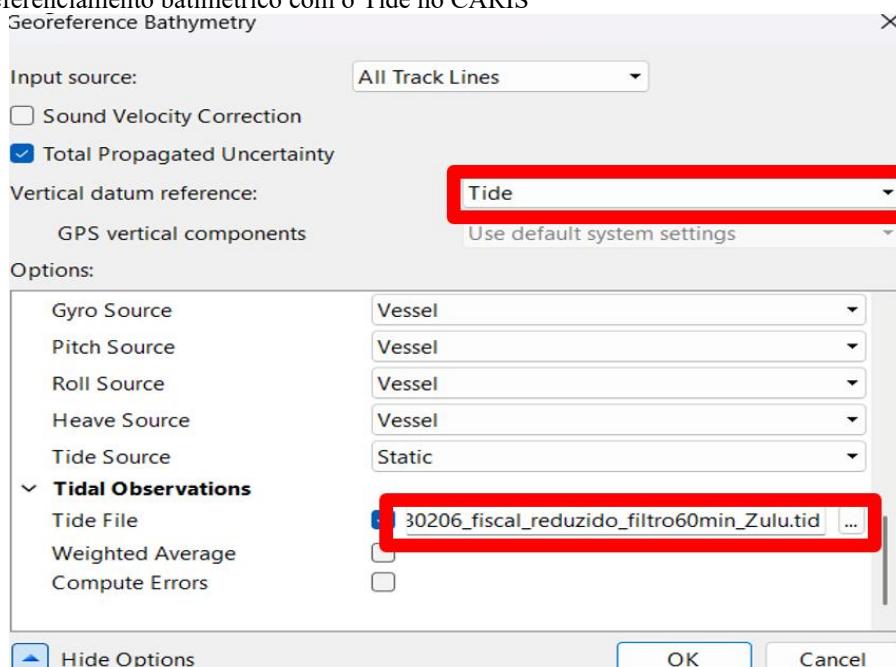
Posteriormente, foram criadas duas superfícies por maré convencional e por maré gnss.

4.5.3 GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES

4.5.3.1 GEORREFERENCIAMENTO PAR MARÉ CONVENCIONAL

Durante georreferenciamento foi aplicado o arquivo TID (figura 17) com redução por maré convencional, vinculando-os na aba *Georeference Bathymetry* do CARIS e, em seguida, reprocessando os pings.

Figura 17 Georreferenciamento batimétrico com o Tide no CARIS
Georeference Bathymetry



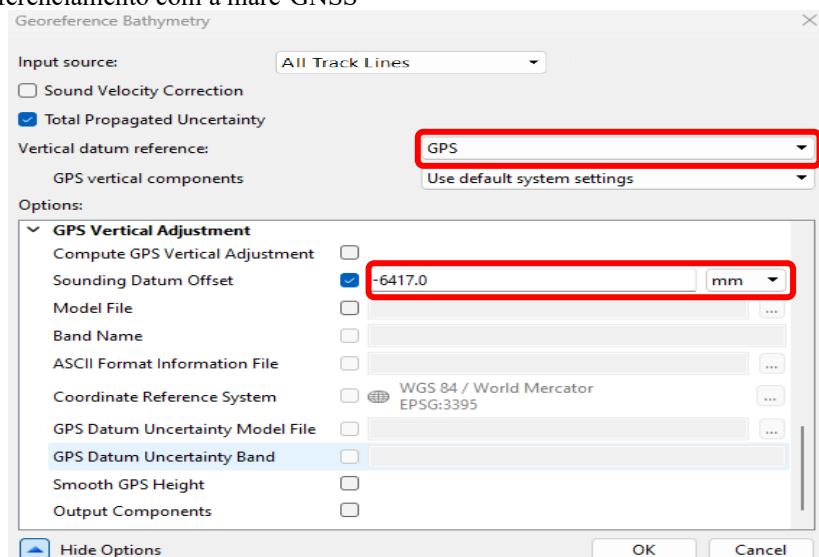
Fonte: autor

4.5.3.2 GEORREFERENCIAMENTO POR MARÉ-GPS

Para o georreferenciamento por maré GNSS, como as posições estão no elipsóide WGS-84, foi utilizado o SEP (separação entre o NR e o elipsóide) como referência vertical. No CARIS, isso foi aplicado na aba *Georeference Bathymetry* (figura 18), carregando a maré GNSS (ou um deslocamento vertical equivalente) a partir do SEP inicial. Adotou-se apenas essa referência vertical nas linhas e, em seguida, os pings foram reprocessados.

O SEP (β) foi ajustado diretamente no CARIS por meio de um ciclo iterativo: modificar o SEP, reprocessar a superfície por maré GNSS, gerar a superfície de diferenças GNSS–marégrafo e executar Compute Statistics. O objetivo do ajuste foi reduzir a média das diferenças para próximo de zero, o SEP ajustado no CARIS foi adotado como valor final de -6417mm, assegurando consistência entre as reduções por maré GNSS e por marégrafo.

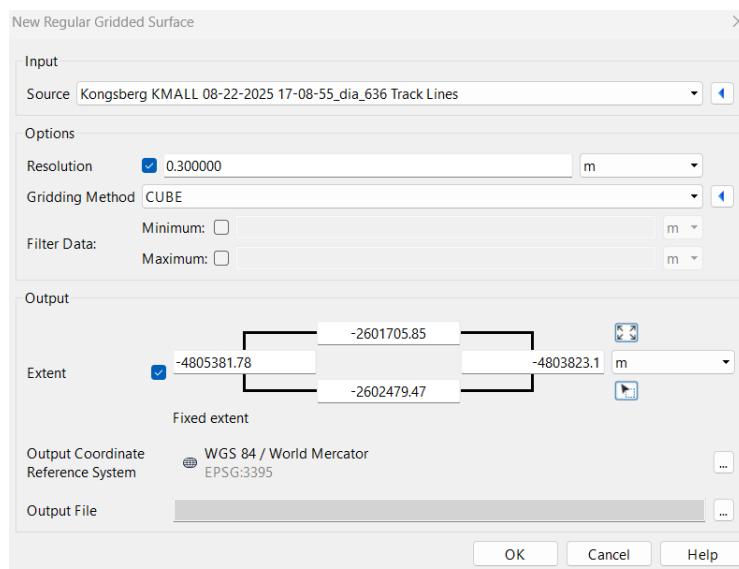
Figura 18 Georreferenciamento com a maré-GNSS



Fonte: autor

Aplicar a maré convencional (.TID) no *Georeference Bathymetry* alinha verticalmente todos os *pings* ao mesmo *datum*, e o reprocessamento recalcula profundidades e flags de qualidade já com essa correção. Em seguida, no *Surface/GRID*, o CUBE estima para cada célula de 0,30 m a profundidade mais provável e sua incerteza a partir de múltiplos *pings*. Manter as linhas regulares separadas das de verificação preserva um conjunto independente para validar o grid e identificar possíveis vieses.

Figura 19 Geração de superfície com a ferramenta *Gridded Surface*



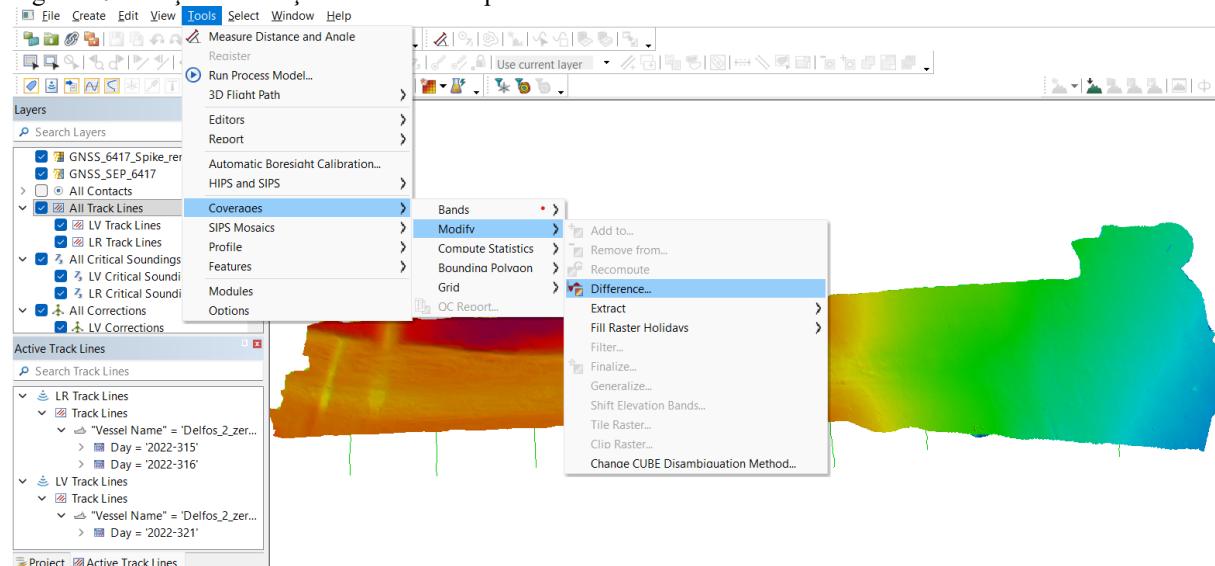
Fonte: autor

O mesmo procedimento foi realizado com a maré GNSS.

4.5.4 SUPERFÍCIE DE DIFERENÇA ENTRE SUPERFÍCIES REDUZIDAS POR MARÉ GNSS E MARÉ CONVENCIONAL

Foi gerada uma superfície de diferença, que evidencia a discrepância entre as profundidades reduzidas por maré GNSS e por maré convencional como mostrado na figura 20.

Figura 20 Geração diferença entre as dois superfícies



Fonte: autor

4.6 ANALISE DE DADOS

4.6.1 CONTROLE DE QUALIDADE

Para avaliar a acurácia batimétrica, executam-se linhas de verificação que cruzam

ortogonalmente as linhas regulares, gerando um segundo conjunto de observações na mesma plataforma, em tempos distintos. Em cada cruzamento, aplica-se um raio de busca de 2 m (IHO S-44, Ordem Especial) e comparam-se as profundidades reduzidas das duas passagens. Calculam-se a diferença máxima, o viés (média das diferenças, σ_{BIAS}) e o desvio-padrão das diferenças (σ_{ERRO}). A incerteza vertical a 95% (TVU) resulta da combinação de viés e dispersão (estimativa):

$$TVU_{95} = 1,96\sqrt{\sigma_{BIAS}^2 + \sigma_{ERRO}^2} \quad \text{Equação 4.4}$$

, e deve ser menor ou igual ao limite IHO S-44 da classe do levantamento para validar as reduções por maré GNSS.

Em conformidade com a Especificação S-44 da OHI, adotou-se, neste trabalho, a estimativa de incerteza no nível de confiança de 95%, contemplando a contribuição conjunta dos erros aleatórios e residuais após a correção dos erros sistemáticos (OHI, 2020). O cálculo da TVU foi realizado segundo os “ordens” definidos no arquivo Template do projeto, que referencia as especificações de cada classe da S-44, garantindo a verificação de conformidade por categoria de qualidade (OHI, 2020).

Reconhecendo que existem fontes de erro independentes e dependentes da profundidade que afetam as medições, empregou-se a expressão da S-44 para a incerteza vertical máxima admissível na profundidade d:

$$TVU_{max(d)} = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad \text{Equação 4.5}$$

Onde: a representa a parcela da incerteza que não varia com a profundidade; b é o coeficiente associado à parcela que varia com a profundidade; d é a profundidade (OHI S-44, 2020). A figura 21 mostra os valores de a e b para cada ordem.

Para cada ponto de cruzamento, calcula-se o ETP95 e compara-se ao $TVU_{max}(d)$ estabelecido pela OHI S-44 para a ordem correspondente à profundidade d. O critério de conformidade é:

$$ETP95 \leq TVUmax(d).$$

Equação 4.6

Ao final, contabilizam-se as taxas de aprovação por ordem (Ordem Especial, 1a, 1b, 2), isto é, a porcentagem de cruzamentos que atendem a $ETP95 \leq TVUmax(d)$ em cada classe, fornecendo uma avaliação objetiva do desempenho do método de redução por maré GNSS. A figura 21 presente coeficientes a e b da TVU para cada ordem.

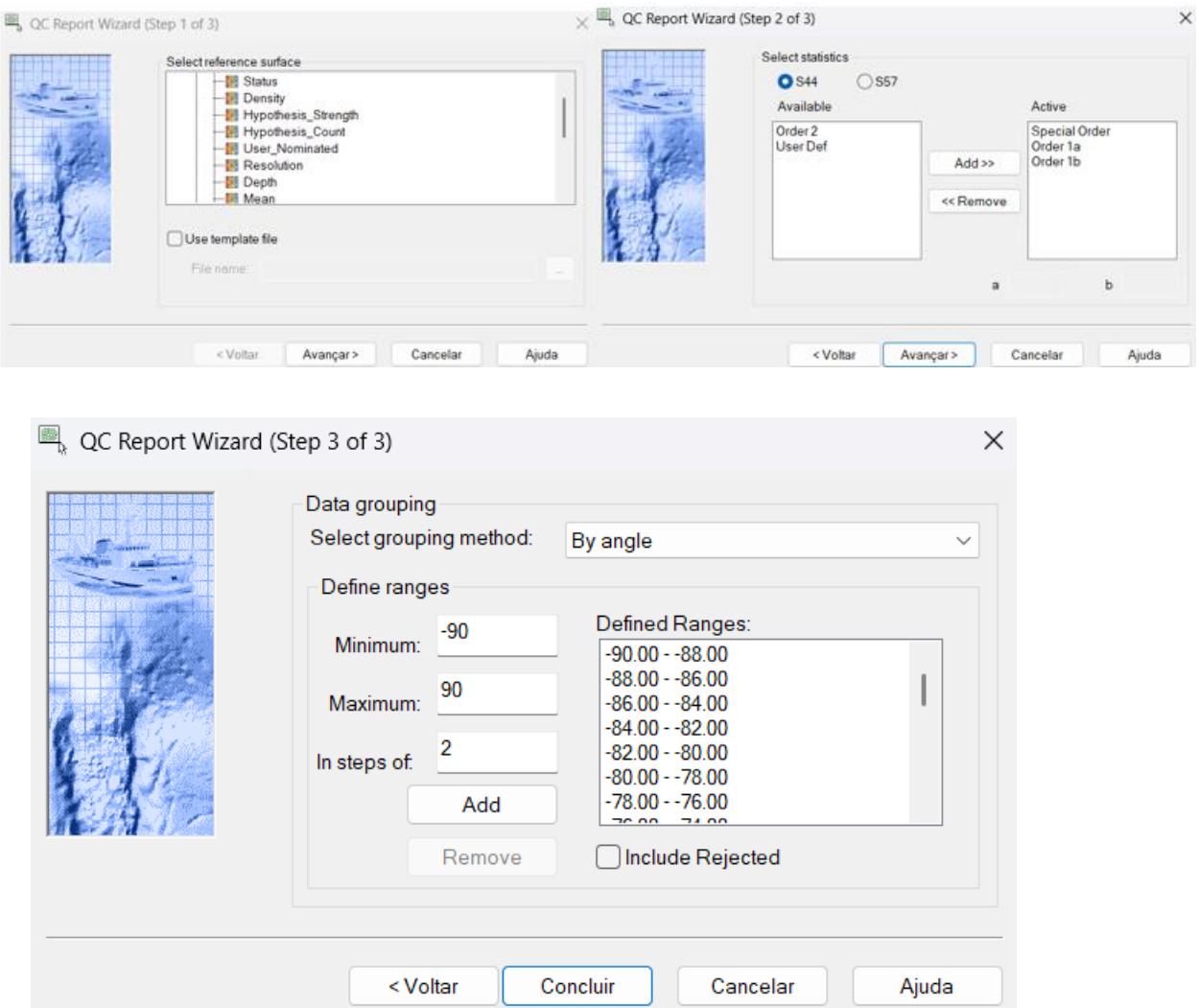
Figura 21 Coeficientes a e b da TVU

Referência	Critérios	Ordem 2	Ordem 1b	Ordem 1a	Ordem Especial	Ordem Exclusiva
Capítulo 1	Descrição da Área (De forma genérica)	Áreas onde a descrição geral do fundo é considerada adequada.	Áreas onde a folga abaixo da quilha não é considerada um problema para o tipo de navios à superfície esperado na área.	Áreas onde, embora a folga abaixo da quilha não seja um problema, espera-se que possam existir estruturas/feições que podem colocar em risco a navegação.	Áreas onde a folga abaixo da quilha é crítica.	Áreas onde a folga abaixo da quilha e a manobrabilidade são estritamente mínimas.
Seção 2.6	THU da Profundidade [m] + [% da Profundidade]	20 m + 10% da profundidade *Ba5, Bb2	5 m + 5% da profundidade *Ba8, Bb3	5 m + 5% da profundidade *Ba8, Bb3	2 m *Ba9	1 m *Ba10
Seção 2.6 Seção 3.2 Seção 3.2.3	TVU da Profundidade (a) [m] e (b)	a = 1.0 m b = 0.023 *Bc7, Bd4	a = 0.5 m b = 0.013 *Bc8, Bd6	a = 0.5 m b = 0.013 *Bc8, Bd6	a = 0.25 m b = 0.0075 *Bc10, Bd8	a = 0.15 m b = 0.0075 *Bc12, Bd8
Seção 3.3	Detecção de Estruturas/feições [m] ou [% da Profundidade]	Não especificado	Não especificado	Estrutura cúbica > 2 m, em áreas com profundidades até 40 m; 10% da profundidade em áreas mais profundas do que 40 metros *Be5, Bf3 além dos 40m	Estruturas cúbicas > 1 m *Be6	Estruturas cúbicas > 0.5 m *Be9
Seção 3.4	Busca por Estruturas/feições [%]	Embora seja recomendado, não é exigido	Embora seja recomendado, não é exigido	100% *Bg9	100% *Bg9	200% *Bg12
Seção 3.5	Cobertura Batimétrica [%]	5% *Bh3	5% *Bh3	≤ 100% *≤ Bh9	100% *Bh9	200% *Bh12

Fonte: S44/OHI,2024

A ferramenta *Line QC Report* na figura 22, foi empregado para comparar a camada “*Depth*” da superfície gerada com as linhas regulares contra a batimetria das linhas de verificação, utilizando o critério “*by angle*” recomendado pelo CHM (varredura de -90° a $+90^\circ$, passo de 2 graus).

Figura 22 : Configuração do Line QC Report no Caris.



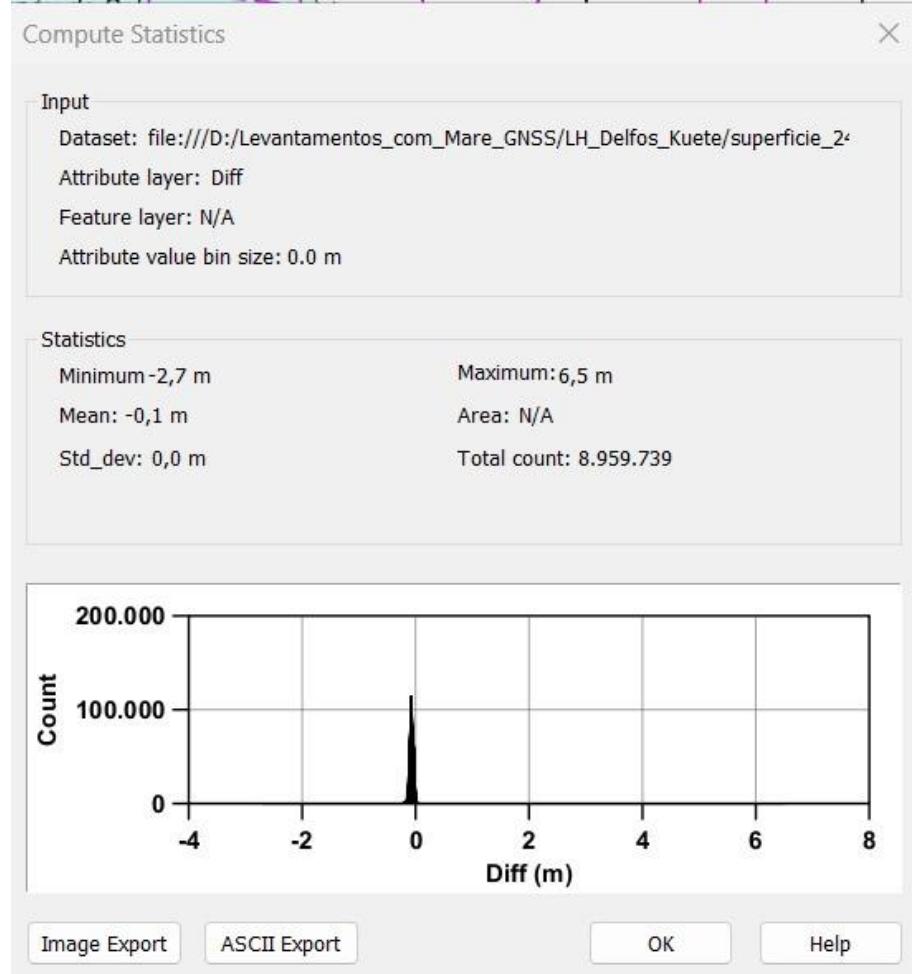
Fonte: Autor

4.6.2 COMPUTE STATISTICS

O módulo *Compute Statistics*, disponível no software CARIS HIPS/SIPS, é uma ferramenta destinada à análise estatística de superfícies ou diferenças entre superfícies batimétricas. Ele calcula automaticamente como mostrado na Figura 23 indicadores como a média, o desvio-padrão, os valores mínimos e máximos, além de apresentar histogramas de distribuição dos resíduos. A média pode ser interpretada como tendência ou deslocamento sistemático entre duas superfícies, enquanto o desvio-padrão caracteriza a dispersão dos dados em torno dessa tendência. Já os valores extremos e o histograma permitem identificar assimetrias, presença de caudas longas ou possíveis outliers. Dessa forma, o *Compute statistics* constitui um recurso essencial para a avaliação da qualidade de levantamentos hidrográficos e

da consistência entre diferentes métodos de redução de sondagem, como a maré convencional e a maré-GNSS. O *compute statistics* foi aplicado sobre a superfície diferença das duas superfícies reduzidas por maré GNSS e maré convencional.

Figura 23 : Resultados do Compute Statistics



Fonte: Autor

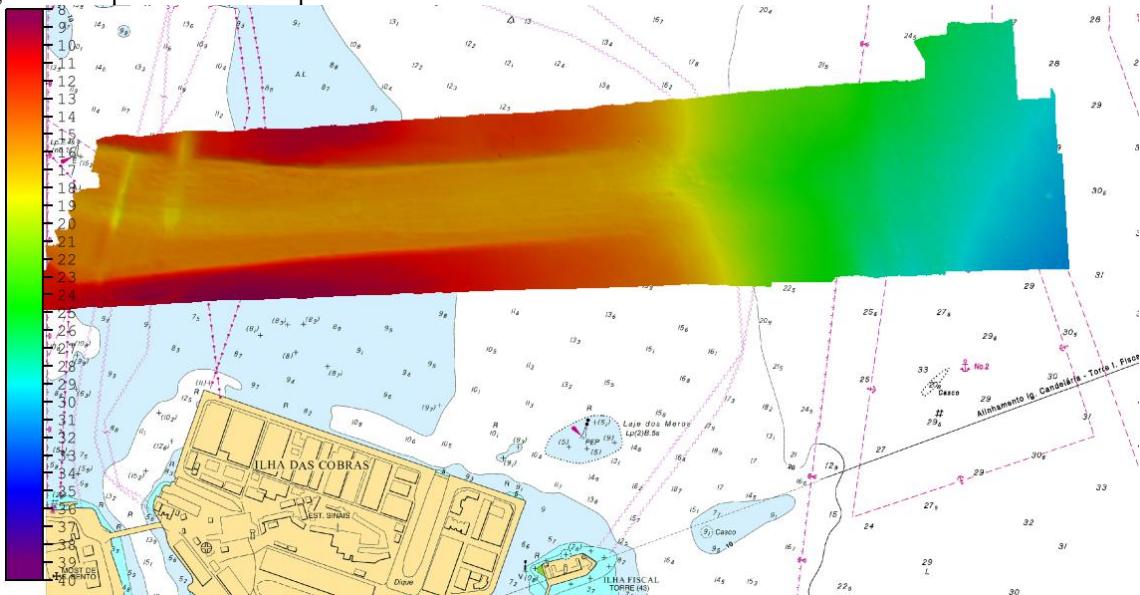
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SUPERFÍCIES GERADAS

5.1.1 SUPERFÍCIE REDUZIDA PARA MARÉ GNSS

A superfície reduzida para maré GNSS é apresentado na figura 24.

Figura 24 Superfície reduzida para maré-GNSS

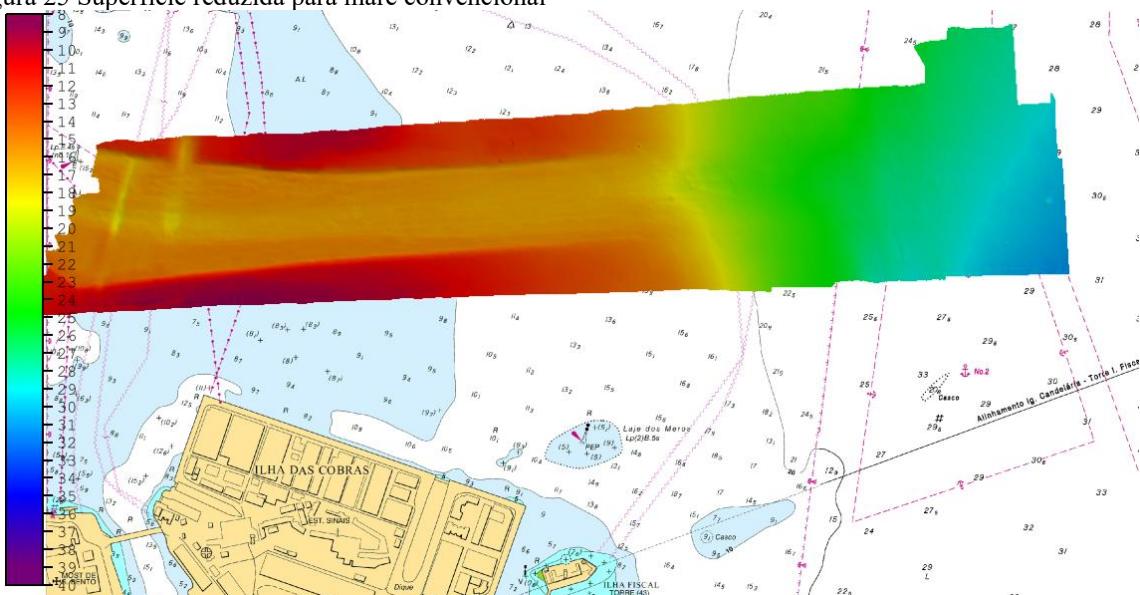


Fonte: Autor

5.1.2 SUPERFÍCIE REDUZIDA PARA MARÉ CONVENCIONAL

A superfície reduzida para maré GNSS é apresentado na figura 25.

Figura 25 Superfície reduzida para maré convencional



Fonte: Autor

5.1.3 SUPERFÍCIE DIFERENÇA ENTRE AS DUAS SUPERFÍCIES

A superfície diferença entre as duas superfícies reduzidas para maré GNSS e para maré convencional é apresentado na figura 26.

Figura 26 Superfície diferença entre os dois superfícies



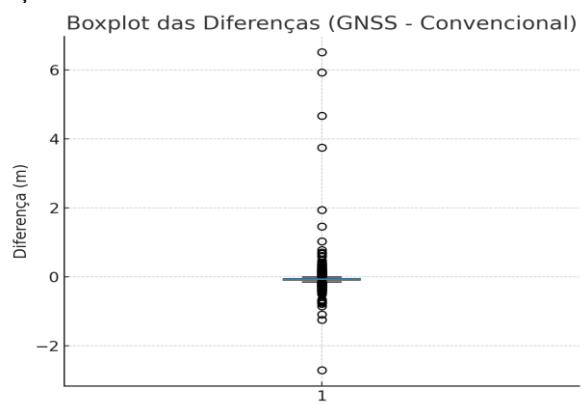
Fonte :Autor

5.1.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DIFERENÇAS ENTRE MARÉ GNSS E MARÉ CONVENCIONAL

Foi realizada uma análise estatística das diferenças entre profundidades reduzidas por maré GNSS e por maré convencional. Os resultados foram representados em três diagramas principais: *Boxplot*, histograma e curva de distribuição cumulativa (CDF), complementados por indicadores estatísticos de tendência central, dispersão e proporções dentro de limites de tolerância.

O *Boxplot* mostrado na figura 27 permite visualizar a concentração dos dados em torno da média e a presença de valores extremos. 95 porcentos dos dados estão distribuídos próxima de zero, confirmando consistência entre os métodos, mas com ocorrência de outliers.

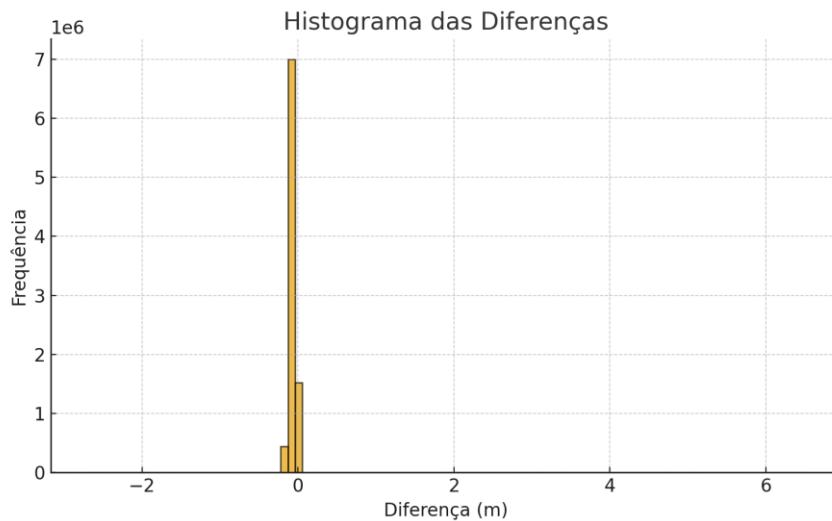
Figura 27 Boxplot das diferenças



Fonte: Autor

O histograma e estatísticas na tabela 5 evidencia que a distribuição das diferenças é centrada em torno de $-0,07$ m, com desvio-padrão de aproximadamente $0,035$ m. O intervalo interquartil (IQR) é de apenas $0,04$ m, indicando baixa dispersão. Apesar disso, há caudas longas, com valores mínimos de $-2,71$ m e máximos de $+6,51$ m, caracterizando outliers possivelmente ligados a falhas de GNSS ou interpolação.

Figura 28 Histograma das diferenças



Fonte: Autor

Tabela 5 : Estatísticas superfície diferença das dois superfícies

Medida Estatística	Valor
Média	$-0,07$ m
Mediana	$-0,07$ m
Desvio-padrão	$0,035$ m
Q1 (25%)	$-0,09$ m
Q3 (75%)	$-0,05$ m
IQR (intervalo interquartil)	$0,04$ m
Mínimo	$-2,71$ m
Máximo	$+6,51$ m
MAE	$0,028$ m
RMSE	$0,041$ m

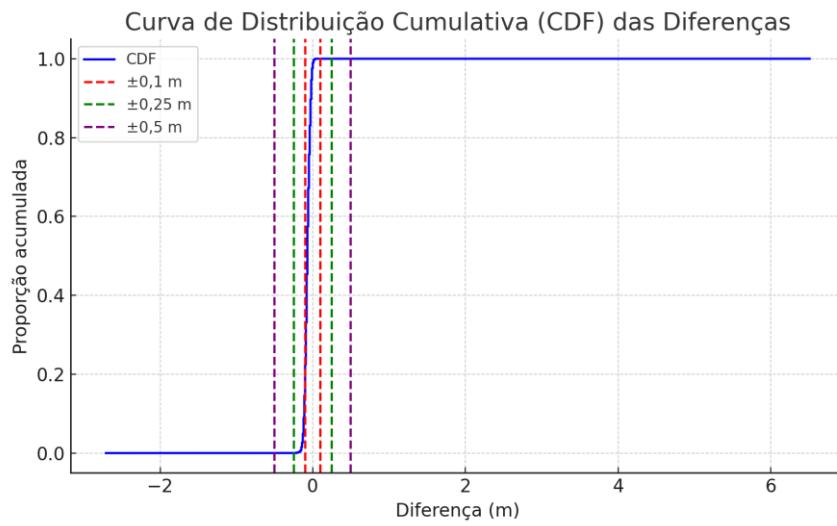
Fonte: autor

A curva de distribuição cumulativa mostra a proporção acumulada de pontos dentro de diferentes limites de erro. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- $\pm 0,10$ m: 85,4% dos pontos estão dentro desse intervalo.
- $\pm 0,25$ m: 99,99% dos pontos estão dentro desse intervalo.
- $\pm 0,50$ m: praticamente 100% dos pontos estão dentro desse intervalo.

Esses valores demonstram que a maior parte das diferenças está bem concentrada em $\pm 0,10$ m.

Figura 29 Curva de distribuição cumulativa das diferenças



Fonte: autor

O MAE (0,028 m) na tabela 5 mostra que, em termos absolutos, as diferenças são pequenas, enquanto o RMSE (0,041 m) revela a influência de outliers, possivelmente associados à perda de fixação RTK ou a efeitos de multipercussão. Os outliers identificados indicam a necessidade de filtros adicionais ou de segmentação espacial, mas não comprometem a robustez do método GNSS para redução de sondagem.

5.2 RESULTADO DO LINE QC REPORT

Os resultados de Line QC report são apresentados na figura 30 abaixo.

Figura 30 Line QC report das reduções das maré GPS e maré Conventional

Metodo	Beam Angl	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Special Or	Order 1a (%)	Order 1b (%)
Tide	-180	2.903.546	1,488	-2,229	0,001	0,057	99,819	99,992	99,992
GPS	-180	2.903.546	1,537	-2,249	0,017	0,064	99,770	99,990	99,990

Fonte: autor

5.2.1 RESULTADOS

Como presentados no resultado do *Line QC Report* na figura 30, Ambos os métodos trabalharam com exatamente o mesmo conjunto de aproximadamente 2,9 milhões de sondagens, o que garante comparabilidade direta dos resultados. Em relação aos erros extremos, observou-se no método Tide uma variação entre +1,488 m e -2,229 m, enquanto no método GPS os valores foram de +1,537 m e -2,249 m, evidenciando que os *outliers* apresentam magnitudes muito próximas. O erro médio para o Tide mostrou-se praticamente nulo (+0,001 m), enquanto para o GPS verificou-se um pequeno viés positivo (+0,017 m), indicando leve tendência de superestimação da profundidade reduzida pelo método GNSS, mas ainda dentro da ordem de centímetro. Quanto à dispersão, o desvio-padrão foi de 0,057 m para o Tide e 0,064 m para o GPS, mostrando uma ligeira vantagem do método convencional, mas com diferença inferior a 1 cm, sem impacto operacional significativo. No que se refere à conformidade com

os padrões internacionais da OHI S-44, ambos os métodos atenderam amplamente às exigências, com 99,819% (Tide) e 99,770% (GPS) dos pontos classificados como ordem especial e valores próximos a 99,99% tanto para Ordem 1a quanto para Ordem 1b.

5.2.2 INTERPRETAÇÃO

A análise do Line QC Report demonstra que a redução por maré GNSS, realizada via RTK/NTRIP, é estatisticamente equivalente ao método tradicional baseado em marégrafo. As pequenas diferenças de erro médio e dispersão confirmam que o GNSS pode introduzir um viés mínimo positivo, mas sem relevância prática. Ambos os métodos exibem desempenho compatível com os mais altos padrões da IHO S-44, assegurando confiabilidade dos levantamentos hidrográficos. Assim, enquanto o método Tide mantém ligeira vantagem em estabilidade, o método GPS mostra-se plenamente adequado, oferecendo a vantagem adicional de independência em relação a estações maregráficas costeiras e maior flexibilidade operacional, o que reforça sua aplicabilidade em levantamentos modernos.

Em comparação ao melhor caso reportado por Ramos & Krueger (2009), RTK Trimble 7400 (médias entre $-0,01$ e $+0,03$ m, $\sigma \approx 0,25$ m e ETP95 $\approx 0,25\text{--}0,26$ m), nossos resultados apresentam vieses médios equivalentes (Tide $+0,001$ m; GNSS $+0,017$ m), porém dispersão cerca de $4\times$ menor ($\sigma \approx 0,06$ m), refletindo-se em ETP95 também inferior ($\approx 0,11\text{--}0,13$ m). Essa diferença é compatível com uma cadeia GNSS mais moderna e estável, calibração do β /SEP, além de controle de qualidade e condições operacionais possivelmente mais favoráveis.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação da técnica de redução de sondagens por maré GNSS, com ênfase no RTK via NTRIP, na Baía de Guanabara, comparando-a ao método convencional baseado em estações maregráficas. Confirmou-se a viabilidade técnica do método GNSS e evidenciaram-se potencialidades e limitações frente ao modelo tradicional consolidado pela DHN e normatizado pela IHO S-44.

Nos testes realizados sobre o mesmo conjunto de sondagens, obtiveram-se médias de viés próximas de zero, com Tide igual a +0,001 m e GNSS igual a +0,017 m, e dispersões de σ_{Tide} igual a 0,057 m e σ_{GNSS} igual a 0,064 m. A incerteza combinada a 95% foi de aproximadamente 0,112 m para Tide e 0,130 m para GNSS, assegurando conformidade com a IHO S-44 nas profundidades de 7 a 31 m. Em comparação ao melhor caso reportado por Ramos e Krueger, o RTK Trimble 7400, que apresentou médias entre -0,01 m e +0,03 m, desvio padrão próximo de 0,25 m e ETP95 entre 0,25 m e 0,26 m, nossos resultados exibem vieses equivalentes e dispersão cerca de quatro vezes menor, o que se reflete em ETP95 também inferior na faixa de 0,11 m a 0,13 m. Esse desempenho decorre, em grande parte, do ajuste iterativo do SEP no CARIS, que consistiu em modificar o SEP, reprocessar a superfície por maré GNSS, gerar a superfície de diferenças entre GNSS e marégrafo e aplicar *Compute Statistics* com o objetivo de reduzir a média das diferenças para próximo de zero, aliado a uma cadeia GNSS atualizada e a um controle de qualidade consistente, incluindo Line QC, mascaramento de zonas de alta variabilidade e condicionamento de superfícies.

Conclui-se que a maré GNSS com RTK via NTRIP é uma alternativa viável e precisa à metodologia convencional, sobretudo em levantamentos de alta demanda operacional. O método não substitui a maré convencional em todos os contextos, porém moderniza e alinha a prática nacional aos referenciais internacionais, fornecendo resultados muito próximos ao método tradicional com vantagens operacionais claras.

Como perspectivas, recomenda-se expandir a aplicação em outras regiões costeiras brasileiras, manter a calibração de modelos locais de separação entre o elipsoide e o nível de redução e empregar posicionamento pós processado como PPK e PPP com efemérides finais para ganhos adicionais de robustez e acurácia. Dessa forma, a maré GNSS tende a consolidar-se como ferramenta complementar e, em muitos cenários, substitutiva, reforçando a segurança, a eficiência e a confiabilidade dos levantamentos hidrográficos nacionais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHM/DHN. Estação Maregráfica Ilha Fiscal – F-41. Documento técnico. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2021.
- CLARKE, P.; KING, M.; PENNA, N.; THOMAS, I. Ocean tide loading corrections for GPS: a comparative study. *Journal of Geodesy*, v. 79, p. 20–29, 2005.
- COURTIER, A. Marées. Paris: Service Hydrographique de la Marine, 1938. 234 p.
- DEFANT, A. Physical Oceanography. Vol. II. Oxford: Pergamon Press, 1961.
- DHN. Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos – NORMAM-25. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2015.
- DHN. Tábuas de Marés para o ano de 2021. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2021. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/>>. Acesso em: 01 out. 2025.
- DOODSON, A. T. The harmonic development of the tide-generating potential. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, v. 100, p. 305–329, 1921.
- FOREMAN, M. G. G. Manual of tidal heights analysis and prediction. Ottawa: Pacific Marine Science Report, Institute of Ocean Sciences, 2009.
- GOMES, Abílio Soares. *Ondas Marinhas*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, Departamento de Biologia Marinha, 2003. 18 f. (Apostila/Notas de aula)
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Vienna: Springer, 2008.
- IHO. Standards for Hydrographic Surveys – S-44. 5. ed. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2005.
- MARQUES, Italo Alves. *Avaliação das reduções batimétricas em levantamentos hidrográficos*. 2021. Projeto de Graduação (Engenharia Cartográfica) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, 2021.
- MILLS, J.; DODD, A. Ellipsoidally referenced surveying for hydrography. *International Hydrographic Review*, Monaco, v. 12, n. 2, p. 5–18, 2014.
- MÔNICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.
- MENICUCA FILHO, Paulo. Estrodos de ferro e rodagem. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1952. 32 f. Notas de aula.
- PUGH, D. Tides, surges and mean sea-level. Chichester: Wiley, 1987.
- PUGH, D.; WOODWORTH, P. Sea-level science: understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

- RAMOS, A. M.; KRUEGER, C. P. Aplicação de GPS para correções de maré em levantamentos hidrográficos. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 61, p. 57–68, 2009.
- SILVA, G. N. Zoneamento de maré. Relatório técnico. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2020.
- SILVA, R. A. Marés. 2015. 111 f. Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais – Diretoria de Hidrografia e Navegação, Niterói, 2015.
- TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. Springer handbook of global navigation satellite systems. Cham: Springer, 2017.
- WONG, P.; MARTIN, T.; MERRIFIELD, M. Ellipsoidal heights and chart datum separation. *Journal of Geodesy*, v. 74, n. 4, p. 249–256, 20