



## Análise de Dados Maregráficos na Baía de Paranaguá, PR

### *Analysis of Tide Gauge Data at Baía de Paranaguá, PR*

Raimundo Sales de Melo Neto <sup>1</sup>, Cláudia Pereira Krueger <sup>2</sup> e Regiane Dalazoana <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. [demeloneto@gmail.com](mailto:demeloneto@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3649-4337>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. [ckrueger@ufpr.br](mailto:ckrueger@ufpr.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4839-1317>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. [regiane@ufpr.br](mailto:regiane@ufpr.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0679>

Recebido: 12.2025 | Aceito: 01.2026

**Resumo:** Este estudo analisa dados maregráficos da Baía de Paranaguá, PR, visando compreender os padrões de maré por meio de séries temporais. A análise incluiu o desenvolvimento e aplicação de processos para remoção de dados espúrios. Esses processos foram capazes de reduzir a variância das constituintes resolvidas pela análise harmônica em 9,86%, permitindo a identificação de número significativamente maior de constituintes em diversas séries. A análise harmônica foi realizada pelos programas AstGeoTop e PACMARÉ. Observou-se um comportamento predominantemente semidiurno nas estações maregráficas localizadas na parte média e interior da baía, e padrão semidiurno com desigualdades nas estações próximas à desembocadura. Utilizando o índice *Reduction in Variance* (RV), pode-se concluir que a maré reconstituída pela análise harmônica explicou, em média, 82% da variação da maré nos períodos analisados, ou seja, uma influência de maré meteorológica de, aproximadamente, 18% na área de estudo. A utilização do filtro passa-baixa de Thompson possibilitou delinear a predominância da maré ao longo do ano a partir dos resíduos, com marés positivas no primeiro semestre e negativas no segundo. Embora as séries temporais não apresentem duração suficiente para análises de longo prazo, este estudo reforça a importância da manutenção de registros maregráficos para subsidiar estudos nas zonas costeiras. Adicionalmente, a ausência de dados meteorológicos complementares limitou a capacidade de análise integrada das forçantes atmosféricas e sua influência sobre o nível do mar na região.

**Palavras-chave:** Análise Harmônica. Controle de Qualidade. Referencial Vertical. Séries Temporais.

**Abstract:** This study analyzes tide gauge data from Paranaguá Bay, Paraná, Brazil, aiming to characterize tidal patterns using time series analysis. The methodology included the development and application of procedures to remove spurious data. These procedures reduced the variance of the harmonic constituents by 9.86%, allowing a significant increase in the number of resolved constituents in multiple series. Harmonic analysis was carried out using the AstGeoTop and PACMARÉ software packages. Predominantly semidiurnal behavior was observed at the middle and inner bay tidal stations, while a semidiurnal with inequalities pattern prevailed near the bay entrance. Using Reduction in Variance (RV) index, harmonic reconstruction explained on average 82% of sea level variability, indicating an approximate meteorological influence of approximately 18% in the study area. The application of Thompson's low-pass filter allowed identification of the seasonal predominance of tidal residuals, with positive sea levels anomalies in the first half and negative in the second. Although the available time series are not long enough to support long-term assessments, this study highlights the importance of maintaining continuous tide gauge records to support research in coastal zones. Additionally, the lack of complementary meteorological data limited a more integrated analysis of atmospheric forcing and its influence on sea level in the region.

**Keywords:** Harmonic Analysis. Quality Control. Vertical datum. Time Series.

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa zona costeira que abrange condições oceanográficas e climáticas diferenciadas, assim como distintos tipos de costas, ecossistemas, atividades econômicas e culturais, formando sistemas costeiros com elevada biodiversidade (Moura Neto & Azevedo, 2022). Esse espaço marítimo integra a chamada Amazônia Azul, expressão que designa a área oceânica sob jurisdição brasileira, incluindo águas jurisdicionais e o leito e subsolo marinhos, reconhecida como estratégica para o desenvolvimento nacional, a proteção ambiental, a pesquisa científica e a soberania do país (Marinha do Brasil, 2025b). À luz desse contexto, a zona costeira constitui o alicerce da economia azul, que articula atividades portuárias, cadeias logísticas e rotas marítimas fundamentais para a inserção do Brasil no comércio internacional (Andrade et al., 2024). A Baía de Paranaguá exemplifica esse contexto. O porto local se destaca como importante *hub* logístico e registrou sucessivos recordes de carga em 2025 (Governo do Estado do Paraná, 2025a; Governo do Estado do Paraná, 2025b). Essa relevância reforça a necessidade de compreender a influência da maré meteorológica, uma vez que a variabilidade associada pode comprometer manobras de embarcações e a segurança das instalações portuárias. Estudos internacionais demonstram que inundações de maré alta tendem, com a elevação do nível relativo do mar, a se tornar mais frequentes e a demandar obras de grande porte para mitigar seus efeitos na infraestrutura costeira (Sweet et al., 2018). Assim, negligenciar a contribuição meteorológica na variabilidade do nível do mar representa assumir riscos econômicos, sociais e ambientais.

No âmbito da engenharia costeira e portuária, o entendimento das oscilações sazonais da maré e das variações residuais do nível do mar subsidia o planejamento de operações de dragagem e de atracação, contribuindo para a redução de custos e para o aumento da segurança operacional. Em Paranaguá, por exemplo, o aumento de 30 centímetros no calado resultou em acréscimo de cerca de 2 mil toneladas na capacidade de carregamento de navios de graneis sólidos (Governo do Estado do Paraná, 2025c). Do ponto de vista da gestão de riscos costeiros, a caracterização de padrões sazonais e de eventos extremos associados à maré meteorológica contribui para o desenvolvimento de sistemas de alerta, como o adotado no litoral de São Paulo (Secretaria do Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, 2024). Em perspectiva de longo prazo, a manutenção de séries de dados maregráficos contínuas permite identificar tendências de elevação do nível do mar local e sua associação com o aumento da frequência de inundações costeiras, oferecendo subsídios diretos ao planejamento de adaptação costeira e portuária (Sweet et al., 2018).

Esse cenário intensifica a necessidade de produtos cartográficos em múltiplas escalas, fundamentais para a gestão de riscos ambientais, o apoio à segurança da navegação e projetos de engenharia costeira. Nesse contexto, os levantamentos altimétricos e hidrográficos fornecem a base necessária para a definição de referenciais verticais consistentes.

A definição precisa dos níveis de referência vertical é essencial para a cartografia náutica e terrestre. No contexto hidrográfico, as profundidades representadas nas cartas náuticas devem estar vinculadas ao regime das marés, tornando a análise de séries temporais de dados maregráficos determinante na definição das superfícies de referência vertical. Por outro lado, os sistemas altimétricos com base física se referenciam a uma superfície equipotencial do campo da gravidade da Terra, como o geoide.

A discrepância entre o Nível Médio do Mar (NMM) e o geoide tornou-se evidente a partir da década de 1980, com os avanços da altimetria por satélite (ALTSAT), sendo essa diferença denominada Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) (Silva & Freitas, 2019). Embora tenha revolucionado os estudos geodésicos e oceanográficos, a ALTSAT apresenta limitações significativas em áreas costeiras devido à rugosidade da superfície do mar e à interferência do relevo terrestre no sinal de retorno (Dalazoana, 2006).

Nesse contexto, marégrafos desempenham papel fundamental ao fornecer dados para o monitoramento da maré. Equipamentos modernos operam com altas taxas de aquisição, permitindo medições contínuas e em tempo real, ampliando suas aplicações para avaliação de eventos extremos, previsão de ressacas e segurança da navegação. Registros antigos feitos em papel foram substituídos por medições digitais ajustáveis a intervalos de um segundo ou menores.

No entanto, os marégrafos estão sujeitos a diversas fontes de erros, comprometendo a homogeneidade e a confiabilidade dos dados. Hague et al. (2022) identifica fatores como: mudanças de local,

alterações de *datum* vertical, modificações no processamento dos dados, substituições de equipamentos e períodos sem dados devido a falhas operacionais ou de transmissão. Para assegurar a consistência e a confiabilidade dos registros, é fundamental identificar e corrigir essas anomalias, além de fornecer indicadores claros da qualidade dos dados aos usuários.

Diante dessas questões, este artigo analisa os dados maregráficos da Baía de Paranaguá, PR, com ênfase no controle de qualidade e em métodos de processamento, como análise harmônica, filtros passa-baixa e técnicas estatísticas. Avalia-se a eficácia desses procedimentos na minimização de inconsistências e na melhoria da precisão das referências verticais associadas às séries temporais, fornecendo subsídios técnicos para aplicações em segurança da navegação, engenharia costeira e estudos geodésicos.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de Estudo

A Baía de Paranaguá está situada no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), um dos mais importantes sistemas estuarinos da costa sul do Brasil. Localizado na porção centro-norte do litoral paranaense, o CEP caracteriza-se por uma complexa rede de canais e baías interligadas. Esse estuário é formado por dois ramos principais: um com orientação leste-oeste e cerca de 50 km de extensão, que abrange as baías de Paranaguá e Antonina, onde se encontra o Porto de Paranaguá, um dos mais movimentados do Brasil; e outro, no sentido norte-sul, que compreende a Baía das Laranjeiras, o subestuário de Guaraqueçaba e o Canal Interno de Acesso à Baía dos Pinheiros (Marone et al., 2007). A hidrodinâmica regional é fortemente influenciada pelo regime de marés, sendo essencial a utilização de séries maregráficas confiáveis para compreender os fenômenos oceânicos que afetam as superfícies de referência vertical.

### 2.2 Dados Maregráficos

Foram analisadas 38 séries temporais de seis estações maregráficas (EM) localizadas nas baías de Paranaguá e Antonina, obtidas por sensores do tipo boia e contrapeso, pressão e radar, com taxas de aquisição entre cinco minutos e uma hora. Os dados foram obtidos por meio do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), serviço prestado pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). As EM utilizadas estão listadas na Tabela 1, sendo identificadas por trigrama apresentado entre parênteses após o nome de cada estação.

Tabela 1 – Estações maregráficas analisadas e características gerais das séries temporais.

Nome da estação	Quantidade de séries	Tipo do sensor	Período das observações	Duração em dias
Antonina (ATN)	2	Boia e Contrapeso	1995 - 1997	413
Ilha das Cobras (COB)	3	Boia e Contrapeso, RADAR	1975 - 2018	152
Cais Oeste (CSW)	15	Boia e Contrapeso, Pressão	1992 - 2019	3259
Galheta (GLH)	12	Boia e Contrapeso, Pressão	1975 - 2019	2268
Ponta do Felix (FLX)	5	Boia e Contrapeso	2000 - 2002	629
Cais Leste (CAL)	1	RADAR	2016	109

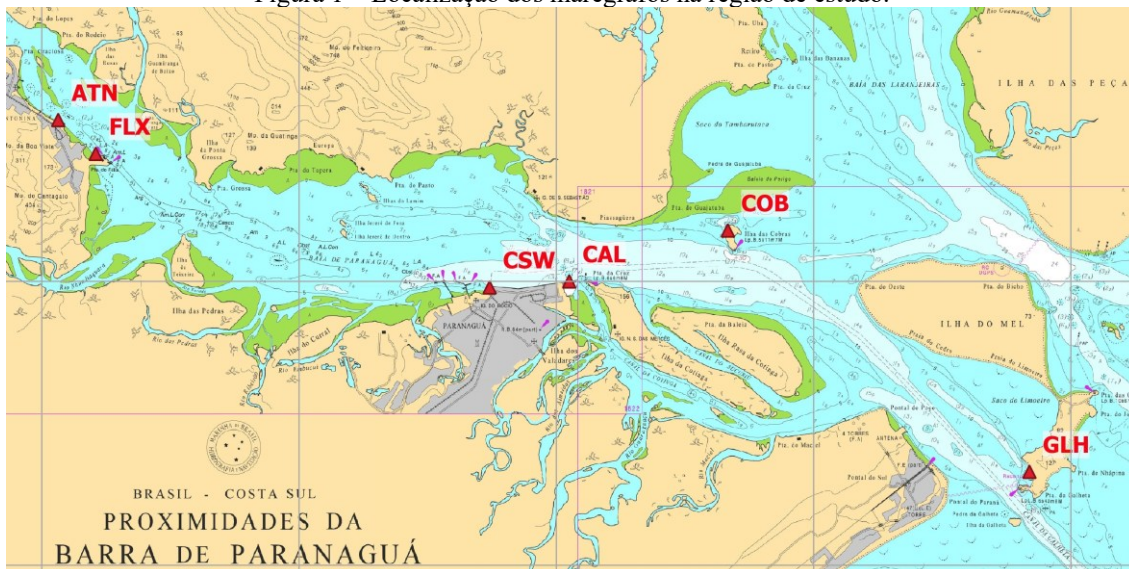
Elaboração: Os Autores (2025).

O BNDO também disponibiliza as Fichas de Descrição de Estações Maregráficas (F-41), documento no qual o CHM registra as informações necessárias para, se necessário, reconstituir determinada EM, em apoio a Levantamentos Hidrográficos (LH). Nela, pode-se encontrar: a localização da EM e de todas as referências de nível (RN) utilizadas na instalação; o período de observação utilizado para o cálculo do nível médio local e do nível de redução (NR); as cotas entre as RN e a régua utilizada no período da observação; o comprimento da régua para o período de observação; entre outras informações julgadas pertinentes (Marinha do Brasil, 2023). O NR é a referência vertical para as profundidades representadas nas cartas náuticas produzidas pelo CHM e é equivalente à baixa-mar média de sizígia.

A Figura 1 ilustra o posicionamento dos marégrafos na área de estudo sobre um trecho da carta

náutica 1820 obtida em Marinha do Brasil (2025a).

Figura 1 – Localização dos marégrafos na região de estudo.



Fonte: Adaptado de Marinha do Brasil (2025a).

Além dos dados referentes à baía de Paranaguá, foram incluídos neste estudo os níveis médios diários da EM de Cananeia (SP), obtidos no banco de dados do Centro de Estudos do Nível do Mar da Universidade do Havai (*University of Hawaii Sea Level Center – UHSLC*) (Caldwell et al., 2015). A EM de Cananeia está localizada a aproximadamente 80 km da Baía de Paranaguá e dispõe de registros contínuos desde 1954 e contribuiu para a análise regional. Embora não tenha sido aplicada análise cruzada dos dados (*buddy checking*), esse procedimento é reconhecido como ferramenta importante no processamento de dados maregráficos para a identificação de inconsistências, derivas e alterações de *datum*. A Tabela 2 apresenta os principais metadados de um subconjunto representativo dessas séries, codificadas pelo respectivo trigrama da EM acrescido de uma letra, facilitando a distinção entre séries distintas de mesma estação.

Tabela 2 – Metadados das séries temporais mais representativas utilizadas no estudo.

Nome da estação	Código da série	Tipo do sensor	Taxa de aquisição	Período de observações	Duração em dias
Antonina	ATN_B	Boia e Contrapeso	uma hora	01/01/1997 - 31/12/1997	365
Ilha das Cobras	COB_B	Boia e Contrapeso	uma hora	04/05/1995 - 21/06/1995	49
	COB_C	RADAR	cinco minutos	31/05/2018 - 09/08/2018	71
Cais Oeste	CSW_B	Boia e Contrapeso	uma hora	02/01/1994 - 31/10/1994	303
	CSW_F	Boia e Contrapeso	uma hora	01/01/1997 - 31/12/1999	1095
	CSW_I	Boia e Contrapeso	uma hora	01/07/2001 - 27/10/2001	119
	CSW_J	Boia e Contrapeso	uma hora	29/10/2001 - 30/11/2002	398
	CSW_K	Boia e Contrapeso	uma hora	01/01/2003 - 31/12/2003	365
	CSW_L	Boia e Contrapeso	uma hora	02/01/2004 - 12/02/2004	42
	CSW_M	Boia e Contrapeso	uma hora	27/02/2004 - 31/12/2004	309
	CSW_N	Pressão	cinco minutos	21/09/2018 - 14/03/2019	175
	CSW_O	Pressão	dez minutos	24/08/2018 - 19/11/2018	88
Galheta	GLH_B	Boia e Contrapeso	uma hora	26/04/1995 - 26/11/1995	215
	GLH_D	Boia e Contrapeso	uma hora	05/01/1996 - 18/01/1996	14
	GLH_E	Boia e Contrapeso	uma hora	01/05/1996 - 31/05/1996	31
	GLH_G	Boia e Contrapeso	uma hora	01/01/1997 - 31/12/1997	365
	GLH_J	Boia e Contrapeso	uma hora	09/05/2001 - 28/02/2005	1392
	GLH_K	Pressão	cinco minutos	28/10/2018 - 29/11/2018	33
	GLH_L	Pressão	dez minutos	03/04/2019 - 20/05/2019	48
Ponta do Felix	FLX_D	Boia e Contrapeso	uma hora	01/03/2001 - 03/05/2001	64
	FLX_E	Boia e Contrapeso	uma hora	02/06/2001 - 21/06/2002	385
Cais Leste	CAL_0	RADAR	cinco minutos	04/02/2016 - 22/05/2016	109

Elaboração: Os Autores (2025).

## 2.3 Programas de computador

O processamento das séries temporais envolveu execução de rotinas de controle de qualidade, análise harmônica, cálculo de nível médio, aplicação de filtros e visualização gráfica, demandando ferramentas capazes de lidar com séries longas e oferecer flexibilidade nas etapas de análise e pós-processamento.

Para a análise harmônica foram utilizados os *softwares* PACMARÉ e AstGeoTop, selecionados por sua robustez e aceitação na comunidade científica. O PACMARÉ realiza análises no domínio da frequência e é utilizado pelo CHM na previsão de marés e no cálculo do nível médio diário (Franco, 2009). Neste estudo, utilizou-se o módulo ANALEXEC, por meio da ferramenta ANHAMA, com seleção das constituintes baseada em critérios estatísticos de significância. As constituintes são rejeitadas com base em um nível de significância de 95%, conforme exposto por Franco (2009).

Para o processamento dos dados maregráficos no AstGeoTop, foi empregado o módulo "Análise de Maré" (Garnés, 2021), que utiliza métodos de análise no domínio do tempo e complementou o controle de qualidade em relação ao PACMARÉ, uma vez que é eficaz na análise de séries com lacunas nos dados.

As rotinas de controle de qualidade, reamostragem, filtragem e edição foram implementadas em Python, com uso de bibliotecas como NumPy (Harris et al., 2020), Matplotlib (Hunter, 2007) e SciPy (Virtanen et al., 2020). A linguagem R (R Core Team, 2022) foi empregada em análises estatísticas complementares e planilhas eletrônicas e sistemas de informação geográfica (SIG) foram utilizados para visualização e organização dos dados. O uso combinado dessas ferramentas proporcionou flexibilidade na manipulação das séries e rigor no controle de qualidade ao longo de toda a análise.

## 2.4 Controle de Qualidade

O controle de qualidade é etapa crítica no tratamento de dados maregráficos, pois erros originados de fontes instrumentais, humanas ou ambientais podem introduzir distorções significativas nas séries temporais e comprometer diretamente a análise harmônica. Dessa forma, a aplicação sistemática de técnicas de controle de qualidade visa assegurar a integridade, continuidade e representatividade dos dados.

Os procedimentos adotados neste artigo tiveram como objetivos: verificar possíveis alterações no referencial vertical da EM por meio da análise das F-41; identificar e remover dados espúrios; avaliar a qualidade das séries; e prepará-las para o processamento subsequente.

Para identificação e remoção de dados espúrios, foram aplicados testes e algoritmos recomendados no modo L2 descrito na publicação *Quality control of in situ sea level observations: A review and progress towards automated quality control (Vol. 1) (Intergovernmental Oceanographic Commission, 2020)*, publicação que compila padrões e boas práticas em controle de qualidade de dados maregráficos. O modo L2 foi adotado por se tratar de séries de longa duração voltadas à geração de produtos derivados como resíduos, níveis médios, extremos e constantes harmônicas, o que está alinhado com os objetivos deste artigo.

A *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2020) coordena iniciativas globais de observação do nível do mar, como o programa *Global Sea Level Observing System* (GLOSS), voltado à implantação de redes maregráficas de alta qualidade para pesquisas climáticas, oceanográficas e costeiras, promovendo abordagem padronizada para o controle de qualidade de dados maregráficos.

Os procedimentos foram automatizados por meio de *scripts* em Python organizados em duas fases. Na primeira, atua-se diretamente sobre a série original, identificando e removendo dados espúrios. Em seguida, realiza-se a análise harmônica da série filtrada e gera-se uma série reconstituída (maré astronômica) que, subtraída da série original, resulta na série de resíduos. A série de resíduos torna-se, então, objeto da segunda fase na qual erros grosseiros se tornam mais evidentes. A detecção de *outliers* nessa série permite refinamento adicional do controle de qualidade.

Na primeira fase, as etapas envolvidas foram:

- a) verificação da integridade dos registros de data e hora: o algoritmo percorre a série verificando lacunas que, quando identificadas, são preenchidas com valores do tipo NaN (*Not a Number*), preservando a estrutura temporal da série para processamento subsequente;
- b) aproximação da série de dados maregráficos por polinômios quadráticos seccionalmente

contínuos (*spline* de grau dois) com 16 nós: foi empregada a técnica de *Least Squares Univariate Spline* (LSQUnivariateSpline), implementada por meio da biblioteca SciPy na linguagem Python (Virtanen et al., 2020). Esse método ajusta *spline* quadrática aos dados válidos minimizando a soma dos quadrados dos resíduos entre os valores observados e a curva ajustada. Os nós da *spline* foram definidos a cada 16 observações. A *spline* resultante,  $S(t)$ , representa a tendência suavizada da série e os resíduos  $R(t)$  foram calculados como  $R(t)=X(t)-S(t)$ , onde  $X(t)$  é a série maregráfica. Observações cujos resíduos absolutos excederam três vezes o desvio padrão da série de resíduos foram consideradas espúrias e substituídas por valores nulos (NaN);

c) análise da taxa de variação do nível d'água, com limite de 1 m/h: o algoritmo calcula a diferença absoluta entre observações consecutivas. Sempre que a diferença exceder o valor máximo estabelecido conforme a taxa de aquisição, a observação é classificada como espúria, desde que a observação anterior não tenha sido previamente classificada. Os valores classificados são substituídos por NaN. Foram adotados os seguintes limiares: 100 cm para séries com intervalos de uma hora, 35 cm para dez minutos e 30 cm para cinco minutos. O valor de referência foi definido com base na relação entre vazão e variação do nível proposta por Marone et al. (2007) e em vazão máxima estimada de 20.000 m<sup>3</sup>/s para o Canal da Galheta (Amb Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda, 2005), o que resulta em taxa de 0,49 m/h; para garantir margem de segurança, esse valor foi ampliado em 100%;

d) teste de estabilidade, com substituição por NaN em sequências prolongadas de valores constantes: o algoritmo identifica trechos estacionários possivelmente associados a falhas instrumentais. Sempre que o número de repetições ultrapassa limiares definidos conforme a taxa de aquisição da série, todos os valores do trecho são considerados espúrios e substituídos por NaN. Os limiares adotados foram: seis observações para séries horárias, dezoito para séries de 10 minutos e trinta e seis para séries de 5 minutos. Os limiares foram escolhidos a fim de evitar a exclusão de platôs da maré (estofo de maré);

e) verificação de amplitudes anômalas: o algoritmo identifica como espúrias as observações cuja diferença absoluta em relação ao nível médio da série ultrapasse 2,74 metros, substituindo esses valores por NaN. O limiar adotado corresponde à amplitude total da maré registrada por Camargo e Harari (2003), com margem de segurança de 100%, para reduzir o risco de exclusão indevida de variações legítimas do nível d'água.

Na segunda fase, a série filtrada da primeira etapa é submetida à análise harmônica com o *software* AstGeoTop adequado a séries com valores NaN. A série reconstituída (maré astronômica), subtraída da série original, gera a série de resíduos, que é novamente analisada por *spline* quadrática para refinar a detecção de *outliers*. As observações cujos resíduos ultrapassavam os limites ( $>3\sigma$ ) foram substituídos por NaN. O tratamento dos valores NaN variou conforme o caso: valores isolados foram preenchidos pela média dos vizinhos; lacunas extensas seguiram o procedimento sugerido pela *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2020), qual seja, a interpolação linear dos resíduos e adição da maré prevista por análise harmônica. Adiante, apresenta-se quadro síntese com os principais testes e critérios utilizados no controle de qualidade:

Quadro 1 – Síntese dos testes e critérios aplicados no controle de qualidade.

Procedimento	Descrição
Verificação de data e hora	Identificação de lacunas na sequência temporal da série; registros ausentes são substituídos por NaN para preservar a integridade cronológica dos dados.
Análise da série de dados maregráficos por <i>spline</i>	Aplicação da técnica <i>LSQUnivariateSpline</i> (grau 2, 16 nós); observações com resíduos superiores a $3\sigma$ foram classificadas como espúrias e substituídas por NaN.
Análise da taxa de variação do nível d'água	Observações com variação superior a 100 cm/h (1 h), 35 cm (10 min) ou 30 cm (5 min), em relação à anterior, foram consideradas espúrias e substituídas por NaN.
Teste de estabilidade	Detecção de sequências de valores constantes com 6 (horária), 18 (10 min) ou 36 (5 min) observações consecutivas; tais trechos foram considerados espúrios e substituídos por NaN.
Verificação de amplitude	Observações cuja diferença em relação ao nível médio superou 2,74 m foram removidas.

Procedimento	Descrição
Análise da série de resíduos por <i>spline</i>	Aplicação da técnica LSQUnivariateSpline sobre a série de resíduos; observações cujos resíduos afastaram-se mais de $3\sigma$ da <i>spline</i> foram substituídos por NaN.

Elaboração: Os Autores (2025).

Ao final, as séries resultantes foram reamostradas para intervalos horários, utilizando filtros descritos em Pugh (1987), com o objetivo de padronizar os dados para as etapas subsequentes. Em seguida, as séries foram formatadas conforme o modelo de entrada exigido pelo sistema PACMARÉ. Esse procedimento buscou maximizar a confiabilidade das séries e aumentar a precisão das constituintes obtidas pela análise harmônica. A metodologia adotada reforça a relevância dos resultados obtidos e pode indicar base para futuras aplicações em séries temporais maregráficas.

## 2.5 Processamento

O processamento dos dados maregráficos seguiu procedimento estruturado para a extração das informações relevantes: análise harmônica; reconstituição da série com as constituintes obtidas; cálculo dos resíduos; aplicação de filtros para a remoção dos sinais de maré; construção de histogramas e análises espectrais para identificar oscilações não explicadas pelos constituintes mareais; análise estatística dos resíduos submareais; e cálculo do nível médio mensal.

A extração das frequências submareais, associadas a oscilações de longo período ligadas a forçantes meteorológicas de grande escala (Melo Filho, 2017), foi realizada por meio da aplicação de filtro passa-baixa. Entre os filtros clássicos em oceanografia (Kalil, 1999), adotou-se o filtro de Thompson, que apresenta melhor resposta de atenuação para frequências próximas à faixa de corte. Os 120 pesos utilizados neste estudo foram calculados por Oliveira (2004) especificamente para a baía de Paranaguá, considerando as principais componentes astronômicas locais bem como a componente inercial ou de Coriolis ( $f = 2 \Omega \sin \varphi$ , em que  $\Omega$  é a velocidade angular de rotação da Terra e  $\varphi$  é a latitude local). As frequências de corte foram:  $\Omega_1 = 6,4 \text{ }^\circ\text{.h}^{-1}$ ; e  $\Omega_2 = 11,2 \text{ }^\circ\text{.h}^{-1}$  e o número de pesos  $N = 120$ .

A distinção entre essas faixas de frequência mareais e submareais foi fundamental para discriminar entre componentes da maré e meteorológica. A análise das componentes submareais permitiu identificar o impacto de fenômenos meteorológicos na oscilação do nível do mar na Baía de Paranaguá e forneceu subsídios para futuras pesquisas voltadas à previsão de eventos extremos e à calibração de modelos hidrodinâmicos costeiros.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Controle de Qualidade

A análise das F-41 revelou inconsistências relevantes nas informações das estações selecionadas. Para a estação “Ilha das Cobras”, fichas de anos diferentes apresentaram inconsistência entre as RN-1 e RN-2, indicando provável erro de registro. Já na estação “Antonina”, foram identificadas variações inesperadas nos desníveis entre o NM e a RN-4, mesmo após a mudança declarada na posição da régua. Além disso, observou-se a ausência de fichas antigas para as estações Cais Oeste e Galheta, impossibilitando a integração temporal completa das séries.

Após a análise documental, foram aplicados os processos descritos no item 2.4 para detecção e correção de dados espúrios. Entre as 37 séries analisadas, verificou-se que, para 25 séries (67,6%), a remoção de registros inconsistentes não ultrapassou 0,5% do total, indicando boa qualidade geral. Em oito séries (21,6%), a taxa de remoção variou entre 0,5% e 1%, e apenas quatro séries (10,8%) apresentaram remoção superior a 1%. O valor máximo ocorreu na série FLX\_D, na qual 2,02% dos registros foram substituídos, percentual ainda considerado baixo para a preservação da integridade das séries. Adiante, a Tabela 3 apresenta valores da variância das constituintes e a quantidade de constituintes determinadas pelo PACMARÉ para algumas séries, antes e após a aplicação do filtro.

No conjunto total de séries, observou-se redução média de 9,86% na variância das constituintes,

indicando eficiência do filtro na remoção de ruídos. Quando analisadas por frequência, as reduções observadas foram de 10,38% para constituintes de um ciclo por dia, 9,39% para dois ciclos por dia, 8,86% para três ciclos por dia e 10,81% para constituintes de quatro ciclos por dia.

Entre os resultados mais expressivos, destaca-se a série CSW\_M, com 309 dias de duração, na qual as reduções atingiram 71% para constituintes de um ciclo por dia e 57% para constituintes de dois ciclos por dia. Na série GLH\_B, com 215 dias de duração, observaram-se reduções de 72% e 32%, respectivamente.

Em 12 séries, a redução na variância foi acompanhada de aumento no número de constituintes resolvidas, indicando maior capacidade resolutive e melhor identificação das componentes da maré.

Tabela 3 – Variância das Espécies e Número de Constituintes Determinadas por Série Filtrada e Original.

Séries	Variância das Espécies de 1 ciclo por dia		Variância das Espécies de 2 ciclos por dia		Quantidade de Constituintes Determinadas	
	Original	Filtrada	Original	Filtrada	Original	Filtrada
COB_B	24,15	9,16	30,72	17,49	18	27
CSW_I	10,82	6,60	6,98	4,15	35	42
CSW_J	2,88	2,35	15,91	9,26	80	87
CSW_K	3,32	2,58	8,39	5,57	82	85
CSW_L	4,13	3,16	19,44	18,72	18	18
CSW_M	28,86	8,25	58,95	25,44	32	67
GLH_B	12,72	3,52	49,46	33,41	27	43
GLH_D	45,01	37,22	45,01	37,22	17	17
GLH_E	2,00	1,46	1,96	1,69	24	25
GLH_G	2,14	1,79	2,96	2,53	75	78

Elaboração: Os Autores (2025).

A análise das F-41, aliada à aplicação do filtro desenvolvido, resultou em controle rigoroso da qualidade, permitindo a remoção seletiva de inconsistências sem comprometer a representatividade das séries. Os resultados demonstram que o procedimento adotado aumentou a robustez dos dados e aprimorou a identificação das constituintes harmônicas, assegurando confiabilidade às etapas posteriores.

## 3.2 Processamento

### 3.2.1 ANÁLISE HARMÔNICA

A Tabela 4 apresenta o resultado da análise harmônica para as séries filtradas de maior duração de cada EM: Antonina, Cais Oeste e Galheta. Para cada série são exibidas, com fins representativos, as dez constituintes de maior amplitude com seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) das amplitudes e das fases. Os atrasos de fase estão referenciados ao meridiano de Greenwich.

Os dados da Tabela 4 indicam que as constituintes M3 e M4 apresentam amplitudes superiores às dos constituintes diurnos, evidenciando sua influência sobre a maré em Paranaguá, em consonância com estudos anteriores (Oliveira, 2004; Franz et al., 2016).

A partir dessas constituintes foi possível determinar o tipo de maré segundo o critério de Courtier (1938) expresso na Eq. (1):

$$C = \frac{H(O1) + H(K1)}{H(M2) + H(S2)} \quad (1)$$

onde,  $O1$ ,  $K1$ ,  $M2$  e  $S2$  são as constituintes principais diurnas e semidiurnas e  $H(i)$  representa a amplitude da  $i$ -ésima constituinte. De acordo com a referência, se  $0 < C < 0,25$ , então a maré é classificada como semidiurna, se  $0,25 < C < 1,5$ , é semidiurna com desigualdade diurna, se  $1,5 < C < 3,0$  é mista e se  $C > 3,0$  a maré é classificada como diurna.

A Figura 2 apresenta os valores de  $C$  para as séries analisadas, dispostos no gráfico da esquerda para a direita, desde Antonina até a Galheta. A distribuição desses valores indica predominância de maré semidiurna ao longo do estuário, com desigualdades mais evidentes na região da Galheta, o que está de

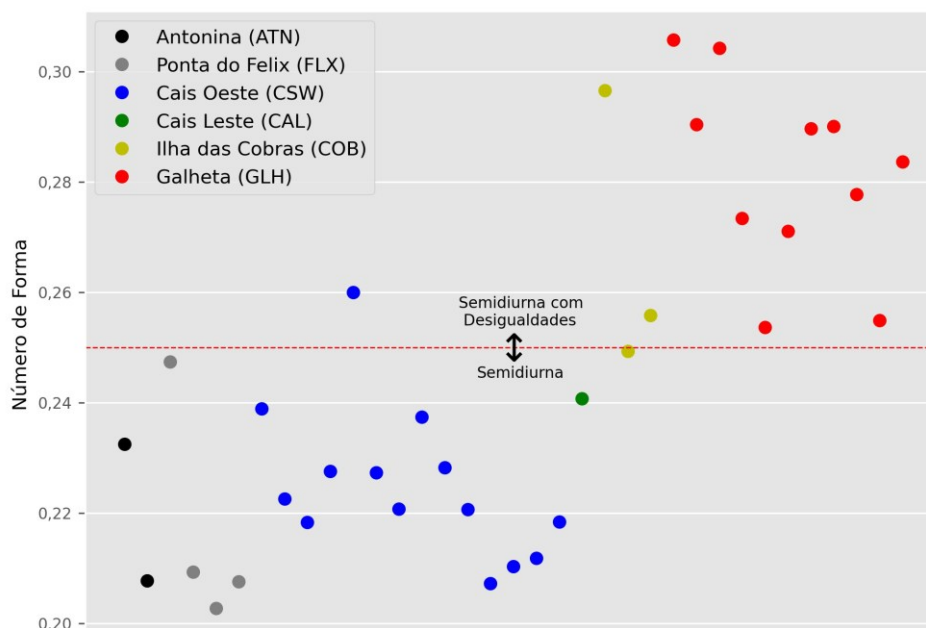
acordo com as observações de Marone et al. (2013). À medida que se avança em direção à cabeceira do estuário, as características tornam-se progressivamente mais semidiurnas, refletindo a modificação do regime de maré ao longo do gradiente estuarino.

Tabela 4 – Amplitudes e Fases das Constituintes das Séries Filtradas.

Nome da Série	Constituinte	Amplitude (cm)	Desvio padrão da Amplitude ( $\sigma_A$ (cm))	Fase (°)	Desvio padrão da Fase $\sigma_F$ (°)	
ATN_B	M2	53,48	0,53	196,69	0,55	
	S2	35,2	0,53	205,89	0,87	
	M4	25,43	0,78	122,54	1,64	
	M3	20,31	1,03	48,22	2,75	
	MS4	11,82	0,78	224,3	3,66	
	K2	11,09	0,53	197	3,68	
	O1	10,78	0,53	126,66	3,49	
	MN4	10,08	0,79	63,02	4,19	
	MO3	9,15	1,03	179,8	7,76	
	N2	8,74	0,54	263,83	3,41	
CSW_F	M2	48,3	0,26	186,98	0,30	
	S2	32,21	0,26	193,41	0,47	
	M4	16,06	0,31	89,22	1,05	
	M3	14,92	0,51	26,08	1,88	
	O1	11,19	0,24	124,56	1,51	
	K2	10,38	0,26	184,15	1,88	
	N2	7,8	0,26	124,56	1,51	
	K1	7,11	0,24	189,29	2,19	
	MO3	5,11	0,51	151,25	6,76	
	MS4	6,9	0,31	249,07	1,87	
	GLH_J	M2	36,88	0,23	71,19	0,36
		S2	24,41	0,23	177,89	0,54
O1		10,78	0,18	120,98	0,86	
K2		7,67	0,23	166,88	1,49	
M3		7,63	0,3	6,56	2,29	
M4		7,23	0,14	353,39	1,14	
K1		6,24	0,18	184,83	1,55	
N2		5,99	0,23	241,38	2,24	
MO3		4,12	0,3	183,49	3,83	
MK3		3,45	0,3	254,24	4,72	

Elaboração: Os Autores (2025).

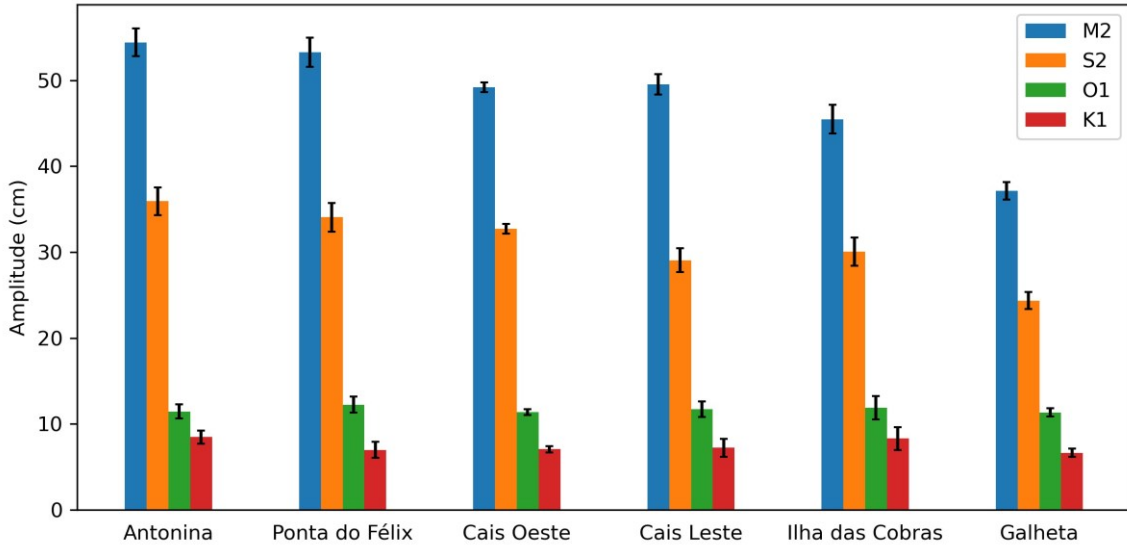
Figura 2 – Critério de Courtier (C) a partir das séries individuais.



Elaboração: Os Autores (2025).

A Figura 3 apresenta a média das amplitudes das constituintes utilizadas na Eq. (1) para cada EM. Percebe-se que, no sentido Antonina à Galheta, M2 e S2 diminuem em maior proporção do que as constituintes principais diurnas (O1 e K1), justificando a alteração no tipo de maré.

Figura 3 – Amplitude das Constituintes Principais Diurnas e Semidiurnas.



Elaboração: Os Autores (2025).

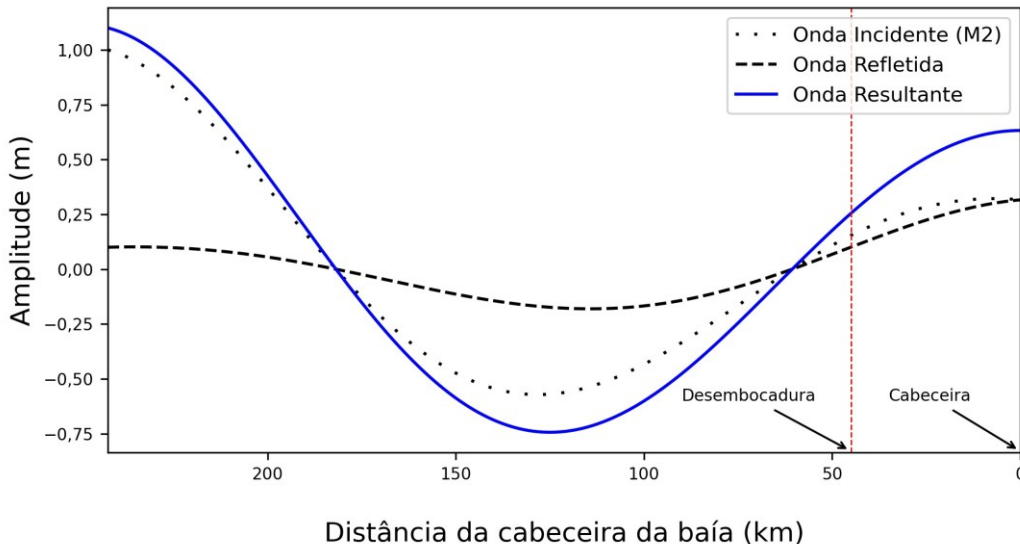
Para avaliar a capacidade das constantes harmônicas em reconstituir o sinal de maré, utilizou-se o índice RV (*Reduction in Variance*) (Boon, 2007). Esse índice corresponde à razão entre a variância da maré reconstituída e a variância da maré observada, conforme a Eq. (2):

$$RV = \frac{\sum [h(t) - h_0]^2}{\sum [h_t - h_0]^2} \tag{2}$$

onde,  $h(t)$  é a altura da maré reconstituída no instante  $t$ ;  $h_t$  é a altura da maré observada no instante  $t$ ; e  $h_0$  é a média aritmética das alturas  $h_t$ . Com os dados RV de todas as séries, obteve-se o valor médio de  $RV = 0,82$ , indicando que aproximadamente 18% da variabilidade do nível do mar é atribuída à maré meteorológica.

Com o propósito de se ter entendimento básico do efeito da reflexão da constituinte M2 ao longo da baía de Paranaguá, foi construído gráfico (Figura 4) para a propagação da onda utilizando valores aproximados da área de estudo. Este gráfico se baseou no exemplo apresentado por Boon (2007, p.77).

Figura 4 – Amplitude de M2 na baía de Paranaguá.



Elaboração: Os Autores (2025).

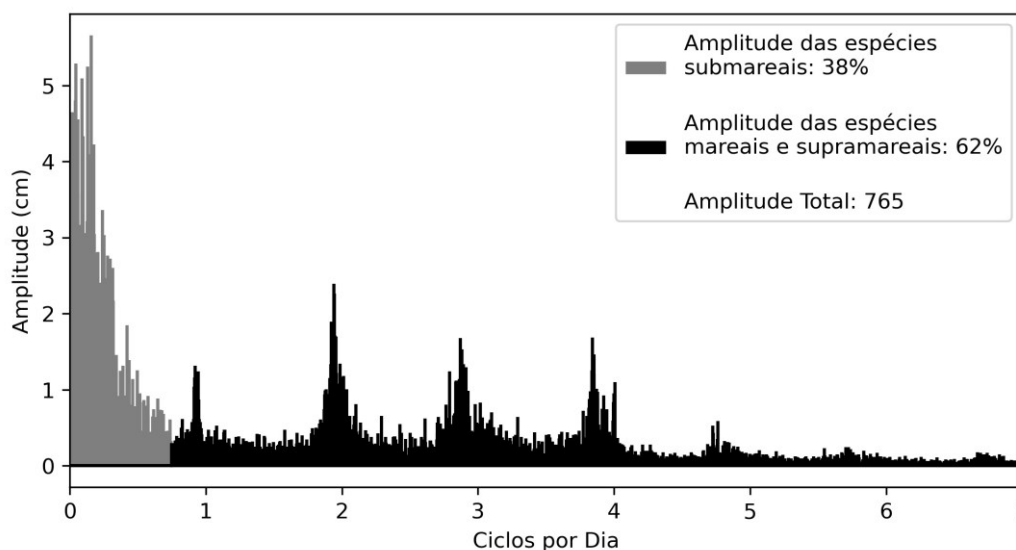
O gráfico da Figura 4 mostra aumento da amplitude da onda M2 da desembocadura à cabeceira, sugerindo que a reflexão contribua significativamente para a ampliação das constituintes semidiurnas principais na baía de Paranaguá.

### 3.2.2 RESÍDUOS

Os resíduos são definidos como a diferença entre as observações do marégrafo e o modelo de maré gerado pelas constituintes obtidas na análise harmônica. Sua magnitude reflete influências meteorológicas acrescidas de componente aleatório. A aplicação do modelo nem sempre incorpora todas as frequências devido a limitações do método de análise, do comprimento da série, entre outros fatores. A Figura 5 apresenta o espectro de frequências dos resíduos da série CSW\_M. Observam-se picos de amplitude em frequências mareais e supramareais sobre fundo de ruído que decai com o aumento da frequência, o que era esperado uma vez que o sistema do marégrafo atenua as frequências mais elevadas. Nota-se, entretanto, aumento expressivo nas frequências submareais.

Análises equivalentes foram realizadas para as séries de maior duração de cada estação maregráfica (ATN\_B, CAL\_0, COB\_C, CSW\_B, CSW\_F, CSW\_J, CSW\_K, FLX\_E, GLH\_B, GLH\_G e GLH\_J). Em todos os casos, observou-se contribuição expressiva das componentes submareais que representaram entre 25% e 52% da amplitude total do espectro. Esse comportamento foi verificado tanto em séries curtas quanto em séries de maior duração, indicando que o reforço das componentes submareais constitui uma característica recorrente do conjunto analisado. Adicionalmente, observou-se um padrão espacial na contribuição das componentes submareais. As menores proporções ocorreram nas estações mais internas da baía, Antonina (série ATN\_B com 35%) e Ponta do Félix (série FLX\_E, com 25%), enquanto a maior participação submareal foi registrada em Galheta (série GLH\_J, com 52%), situada na desembocadura do sistema estuarino.

Figura 5 – Espectro de frequências dos resíduos da Série CSW\_M.



Elaboração: Os Autores (2025).

Para investigar o comportamento dessas faixas de frequência, os dados foram organizados por mês civil, independentemente do ano de aquisição, sendo considerados apenas meses com número mínimo de 27 observações válidas, de modo a garantir representatividade estatística, totalizando 202 grupos. Em seguida, aplicou-se o filtro passa-baixa de Thompson obtendo-se, para cada segmento mensal, duas séries: uma de resíduos submareais e outra dos resíduos mareais e supramareais. Então, para cada mês foram construídos dois histogramas, um para cada série. Foi observado de forma consistente que os histogramas dos resíduos submareais apresentaram assimetria e deslocamento da média, enquanto os histogramas dos resíduos mareais e supramareais exibiram distribuição aproximadamente simétrica e centrada em zero.

Para quantificar essas observações, aplicaram-se dois testes estatísticos: um teste de média ( $H_0$ : média = 0) e um teste de normalidade ( $H_0$ : distribuição normal). A hipótese de média igual a zero foi rejeitada em 78% dos casos para os resíduos submareais, contra 0% para os mareais e supramareais. No teste de normalidade, as hipóteses nulas foram rejeitadas em 100% para os resíduos submareais e em 56% para os resíduos mareais e supramareais. Esses resultados indicam que os resíduos submareais refletem predominantemente variações de longo período associadas a processos meteorológicos atuantes na região. Assim, as séries mensais dos resíduos submareais foram utilizadas para investigar a maré meteorológica.

Para isso, as séries de um mesmo mês (por exemplo, todos os valores de janeiro, de diferentes anos) foram agrupadas em um único conjunto mensal. Foram então aplicados dois métodos sobre cada série com a finalidade de avaliar a predominância das marés em positivas ou negativas e para a identificação de eventos extremos.

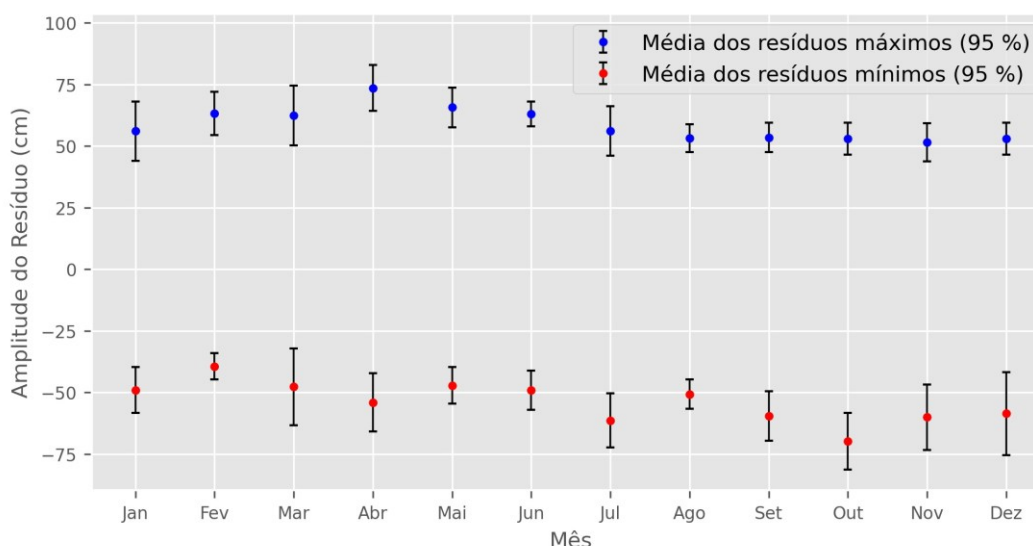
Para caracterizar a predominância da maré, adotou-se teste estatístico em que a hipótese nula considera a média igual a zero. Quando rejeitada, conclui-se pela existência de predominância, sendo positiva se a média for maior que zero e negativa quando menor.

Para a identificação de eventos extremos, avaliou-se a normalidade da distribuição dos resíduos. Quando rejeitada, os resíduos foram ordenados e analisados por percentis, considerando extremos negativos quando  $|P_5| > |P_{95}|$  e extremos positivos no caso contrário. Caso a hipótese de normalidade fosse aceita, considerava-se ausência de predominância de extremos.

Como resultado, observou-se predominância de marés positivas no conjunto dos meses de fevereiro a junho e de marés negativas nos meses de julho a novembro. Eventos extremos positivos predominam nos meses de dezembro a julho, com maior frequência em abril, maio e junho, enquanto eventos extremos negativos predominam nos meses de agosto a novembro.

A partir dos resíduos em ambas as faixas de frequência (submareal, mareal e supramareal), calcularam-se as médias mensais dos valores máximos e mínimos com intervalo de confiança de 95%. A Figura 6 mostra que os maiores resíduos positivos ocorrem no primeiro semestre, atingindo máximo em abril, enquanto as marés mais baixas predominam no segundo semestre, com eventos extremos concentrados em outubro. A análise dos resíduos submareais evidenciou a presença de padrões sazonais associados à atuação de forçantes meteorológicas na região.

Figura 6 – Médias mensais dos resíduos (máximos e mínimos) com intervalo de confiança de 95%, obtidas a partir do conjunto de séries analisadas.



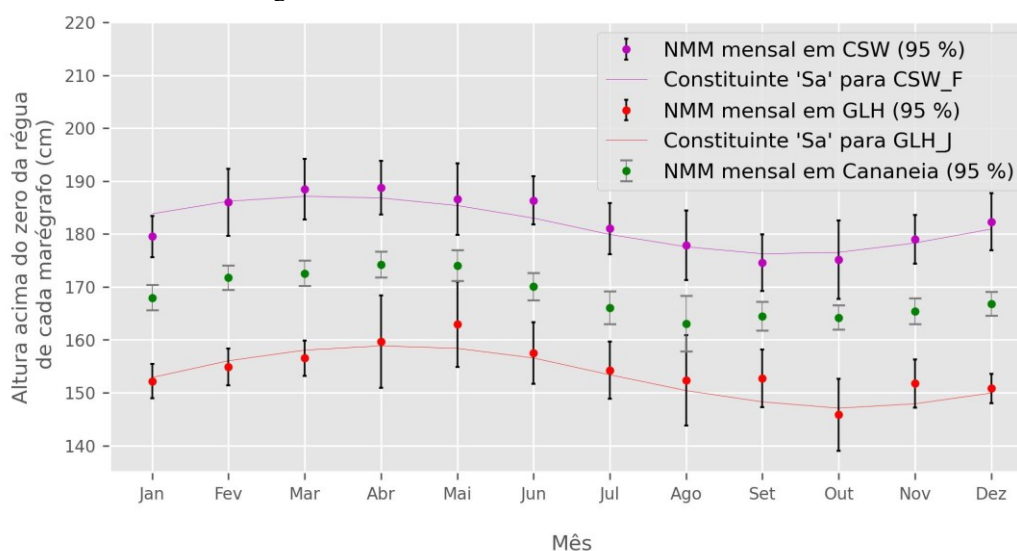
Elaboração: Os Autores (2025).

A partir dos níveis médios diários, foram calculados os níveis médios mensais e, a partir deles, estimou-se o nível médio mensal ao longo do ano, procedimento realizado apenas nas EM Cais Oeste e Galheta em função do comprimento das séries disponíveis. Para melhor visualização, os dados foram representados na Figura 7, incluindo os níveis médios mensais de Cais Oeste (CSW) e Galheta (GLH), a

constituente Sa para ambas as estações e o nível do mar mensal de Cananeia, SP. As barras de erro na figura representam o intervalo de confiança de 95% da média mensal do Nível Médio do Mar, calculado a partir da variabilidade interanual das médias mensais. Para as séries GLH e CSW, com menor número de observações por mês, foi utilizada a distribuição t de Student; para a série de Cananeia, que apresenta maior número de registros, empregou-se a aproximação normal (1,96), considerada adequada para amostras extensas. A constituinte Sa corresponde ao termo anual da variação do nível do mar associado, principalmente, às oscilações sazonais de temperatura e pressão atmosférica e à variação da radiação solar ao longo do ano, permitindo identificar tendências sazonais no comportamento da maré, auxiliando na interpretação das oscilações de longo período.

A análise do gráfico da Figura 7 evidencia forte correlação entre a variabilidade do NMM ao longo do ano e a constituinte Sa, reforçando o comportamento sazonal das oscilações do nível do mar na região. Essa relação é confirmada quantitativamente pelos coeficientes de correlação entre o NMM mensal e a componente Sa, que atingem 0,92 para a estação Cais Oeste e 0,88 para a estação Galheta. Observa-se ainda que a estação maregráfica de Cananeia, localizada a aproximadamente 80 km de Paranaguá, apresenta padrão de variação semelhante, com altas correlações mensais em relação às estações de Galheta ( $r = 0,90$ ) e Cais Oeste ( $r = 0,95$ ), o que sugere a influência regional dessas oscilações de longo período.

Figura 7 – Nível Médio Mensal Para CSW e GLH.



Elaboração: Os Autores (2025).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma análise detalhada dos dados maregráficos da Baía de Paranaguá, PR, com o objetivo de compreender os padrões da maré na região. Para isso, foram utilizadas séries obtidas pelo BNDO e dados da EM de Cananeia, SP, disponibilizados pelo UHSLC.

A metodologia empregada incluiu controle de qualidade seguindo diretrizes da *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2020), com remoção de valores espúrios. Como principal resultado, verificou-se redução média de 9,86% na variância das constituintes harmônicas calculadas pelo PACMARÉ, com reduções mais expressivas em séries entre 200 e 400 dias, destacando-se CSW\_M (62,49% em 309 dias) e GLH\_B (53,94% em 215 dias). Em 12 séries, essa redução foi acompanhada por aumento no número de constituintes identificadas. As reduções variaram conforme o número de ciclos por dia, sendo de 10,38%, 9,39%, 8,86% e 10,81% para um, dois, três e quatro ciclos por dia, respectivamente. Quanto à remoção de valores espúrios, 25 das 37 séries tiveram remoção inferior a 0,5%, oito séries entre 0,5% e 1%, e apenas quatro séries apresentaram remoção superior a 1%, com máximo de 2,02% na série FLX\_D.

Na análise harmônica, foram utilizados dois programas: AstGeoTop e PACMARÉ cujos resultados mostraram consistência quanto às amplitudes, reforçando a confiabilidade dos métodos. O PACMARÉ identificou maior número de constituintes, com maior resolução de constituintes de águas rasas. O

AstGeoTop, ao operar no domínio do tempo, não exige séries contínuas, sendo útil para lidar com lacunas. Observou-se comportamento semidiurno nas estações Antonina, Ponta do Félix e Cais Oeste, e semidiurno com desigualdades nas estações Ilha das Cobras e Galheta.

A análise espectral dos resíduos permitiu discriminar componentes mareais, submareal e supramareal, distinguindo entre componentes aleatórios e meteorológicos. A análise dos resíduos submareais revelou padrões sazonais, com predominância de marés positivas entre fevereiro e junho e negativas entre julho e novembro. As estimativas do nível médio mensal para Cais Oeste e Galheta apresentaram forte correlação com a constituinte Sa, com coeficientes de correlação de 0,92 e 0,88, respectivamente. Os dados de Cananea exibiram comportamento semelhante em relação a essas séries.

Apesar das contribuições, algumas limitações devem ser reconhecidas. A principal refere-se ao comprimento das séries, suficiente para aplicações operacionais, mas insuficientes para avaliações de longo prazo do NMM. Outra limitação foi a ausência de dados meteorológicos complementares, fundamentais para identificar as forçantes atmosféricas associadas às variações residuais, como demonstrado em estudos na Baía de Guanabara (Tecchio et al., 2025). Em Paranaguá, essa ausência restringe a interpretação à perspectiva exclusivamente maregráfica e limita a compreensão de processos submareais de origem meteorológica. Essa lacuna aponta a oportunidade para pesquisas interdisciplinares.

Este estudo demonstrou a relevância da análise harmônica e espectral para compreender as variações residuais do nível do mar na Baía de Paranaguá. Os métodos aplicados propiciaram filtragem eficiente, caracterização consistente dos resíduos e identificação de padrões sazonais, fornecendo subsídios técnicos para engenharia costeira, oceanografia e climatologia.

### Contribuição dos autores

O autor R.S.M.N. realizou a conceptualização, redação da minuta inicial, revisões e edições. As autoras C.P.K. e R.D. supervisionaram e realizaram as revisões iniciais.

### Conflitos de interesse

Os autores declaram que não há conflito de interesse.

### Referências

- Amb Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda. (2005). Diagnóstico Ambiental [Relatório técnico em PDF]. In: *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do Terminal Portuário localizado no município de Pontal do Paraná, PR* (Cap. 5, pp. 5-1 – 5-215), Universidade Federal do Paraná, Docs UFPR. [https://docs.ufpr.br/~edugeo/Estudos\\_Ambientais\\_Litoral/2005\\_EIA\\_RIMA\\_PortoPontal/EIA/Cap%C3%ADtulo%205/Cap%C3%ADtulo%205.1%20diagn%C3%B3stico%20ambiental%20meio%20fisico.pdf](https://docs.ufpr.br/~edugeo/Estudos_Ambientais_Litoral/2005_EIA_RIMA_PortoPontal/EIA/Cap%C3%ADtulo%205/Cap%C3%ADtulo%205.1%20diagn%C3%B3stico%20ambiental%20meio%20fisico.pdf)
- Andrade, I. O., Carvalho, A. B.; Silva, S. T. & Mont'Alverne, T. C. F. (2024) *Economia azul e crescimento econômico: o mar brasileiro em perspectiva*. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. <https://doi.org/10.38116/td3027-port>.
- Boon, J. D. (2007). *Secrets of the Tide*. Woodhead Publishing.
- Caldwell, P. C., Merrifield, M. A. & Thompson, P. R. (2015). *Sea level measured by tide gauges from global oceans as part of the Joint Archive for Sea Level (JASL)*. <https://doi.org/10.7289/v5v40s7w>.
- Camargo, R. & Harari, J. (2003). Modeling the Paranagua Estuarine Complex, Brazil: tidal circulation and cotidal charts. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51, p. 23-31.
- Courtier, A. (1938). Classification of tides in four types. *Conférences sur les Marées*. Service Hydrographique de la Marine Française. <https://journals.lib.unb.ca>.
- Dalazoana, R. (2006). *Estudos dirigidos à análise temporal do Datum Vertical Brasileiro*. [Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná]. Acervo Digital da UFPR. <https://acervodigital.ufpr.br>.

- Franco, A. dos S. (2009). *Marés, Fundamentos, Análise e Previsão*. 2a ed. Diretoria de Hidrografia e Navegação.
- Franz, G. A. S., Marone, E., Noernberg, M. A., Zaleski, S., & Lautert, L. F. (2016). From regional to local scale modelling on the south-eastern Brazilian shelf: Case study of Paranaguá estuarine system. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(3), 277–294. <https://www.scielo.br/j/bjoce/a/NHCJ8s9nyYZ9JDFNd6yStmK/?format=pdf>.
- Garnés, S. J. A. (2021). *AstGeoTop Módulo Análise de Maré* [Software, versão 2016]. Universidade Federal de Pernambuco.
- Governo do Estado do Paraná. (2025a). Portos do Paraná bate recorde de movimentação em um único mês: 7,3 milhões de toneladas. <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Portos-do-Parana-bate-recorde-de-movimentacao-em-um-unico-mes-73-milhoes-de-toneladas>.
- Governo do Estado do Paraná. (2025b). Portos do Paraná bate recorde de movimentação de cargas no primeiro semestre de 2025. <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Portos-do-Parana-bate-recorde-de-movimentacao-de-cargas-no-1o-semester-de-2025>.
- Governo do Estado do Paraná. (2025c). Com menos restrições de manobras, Porto de Paranaguá ampliará produtividade. <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Com-menos-restricoes-de-manobras-Porto-de-Paranagua-ampliará-produtividade>.
- Hague, B. S., Jones, D. A., Trewin, B., Jakob, D., Murphy, B. F., Martin, D. J. & Braganza, K. (2022). Anchors: a multi-decadal tide gauge dataset to monitor australian relative sea level changes. *Geoscience Data Journal*, v. 9, p. 256-272. <https://doi.org/10.1002/gdj3.136>.
- Harris, C. R., Millman, K. J., Van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., Fernández del Río, J., Wiebe, M., Peterson, P., & Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>.
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. (2020). *Quality control of in situ sea level observations: a review and progress towards automated quality control. (Vol 1)*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373566>.
- Kalil, A. F. D. (1999). *Contribuições ao estudo do nível médio do mar no Estado do Rio de Janeiro* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Repositório de dissertações da Engenharia Oceânica da UFRJ. [https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufjr-peno\\_upl//THESIS/10002586/1999\\_mestrado\\_afonse\\_kalil\\_20220125105357605.pdf](https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufjr-peno_upl//THESIS/10002586/1999_mestrado_afonse_kalil_20220125105357605.pdf).
- Marinha do Brasil (2023). *NORMAM-501/DHN*. Diretoria de Hidrografia e Navegação. <https://www.marinha.mil.br/dhn/normas-legislacoes>.
- Marinha do Brasil (2025a). *Carta náutica nº 1820 – Proximidades da Barra de Paranaguá*. Centro de Hidrografia da Marinha. [https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster?field\\_numero\\_raster\\_value=1820&title=](https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster?field_numero_raster_value=1820&title=).
- Marinha do Brasil (2025b). *Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC)* Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM). <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/leplac>.
- Marone, E., Noernberg, M. A., Lautert, L. F., Santos, I., Fill, H. D., Buba, H., & Marena, A. (2007). *Medições de correntes e curva vazão-maré na Baía de Paranaguá, PR*. Boletim Paranaense de Geociências, 60. Biblioteca Digital de Periódicos da Universidade Federal do Paraná <https://doi.org/10.5380/geo.v60i0.9598>.
- Marone, E., Raicich, F., & Mosetti, R. (2013). Harmonic tidal analysis methods on time and frequency domains: similarities and differences for the Gulf of Trieste, Italy, and Paranaguá Bay, Brazil. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 54(2), 183–204.

[https://bgo.ogs.it/sites/default/files/pdf/bgta0068\\_MARONE.pdf](https://bgo.ogs.it/sites/default/files/pdf/bgta0068_MARONE.pdf).

Melo Filho, E. (2017). *Maré meteorológica na costa brasileira* [Tese de Professor Titular]. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande. [https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/conteudo\\_digital/000008808.pdf](https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/conteudo_digital/000008808.pdf).

Moura Neto, J. S., & Azevedo, M. A. L. (2022). *O Brasil e o mar no século XXI: Subsídios para o aproveitamento sustentável do mar brasileiro* (3a ed.). Quiteriense Serviços Gráficos e Editoriais.

Oliveira, M. M. F. de. (2004). *Redes neurais artificiais na previsão da maré meteorológica em Paranaguá – PR* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Portal de Dados Abertos da CAPES. [https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS\\_66119b586ff4d1b3805869454359b0d7](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_66119b586ff4d1b3805869454359b0d7)

Pugh, D. T. (1987). *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. John Wiley & Sons. <https://eprints.soton.ac.uk/19157/1/sea-level.pdf>.

R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 4.2.0)* [Computer software]. <https://search.gesis.org/publication/zis-RCoreTeam.2022R>.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (2024). *Sistema inédito antecipa risco de ressacas e desastres naturais na costa paulista*. Governo do Estado São Paulo. <https://semil.sp.gov.br/2024/09/sistema-inedito-antecipa-em-ate-4-dias-risco-de-ressacas-e-desastres-naturais-na-costa-paulista/>.

Silva, L. M. da, & Freitas, S. R. C. de (2019). Análise da evolução temporal do datum vertical brasileiro de Imbituba. *Revista Cartográfica*, 98, 33–57. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2663-39812019000100033](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2663-39812019000100033).

Sweet, W. V., Dusek, G. P., Obeysekera, J. T. B., & Marra, J. J. (2018). *Patterns and projections of high tide flooding along the U.S. coastline using a common impact threshold* [NOAA Technical Report NOS CO-OPS 086]. Center for Operational Oceanographic Products and Services, National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://doi.org/10.7289/V5/TR-NOS-COOPS-086>.

Tecchio, R., Souza, D. C. de, Silva, M. B. L. da, Costa, M. C. de O., Camargo, R., & Harari, J. (2025). Mean sea level, tidal components and surges in Guanabara Bay (Rio de Janeiro) from 1990 to 2021. *International Journal of Climatology*, 44 (13), 4629-4648. <https://doi.org/10.1002/joc.8600>.

Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., Walt, S. J. van der, Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E. Kern, R., Larson, E., ... & Vanderplas, J. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17, 261–272. <https://www.nature.com/articles/s41592-019-0686-2>.

## Biografia do autor principal



Raimundo Sales de Melo Neto nasceu no Rio de Janeiro, Brasil. É Engenheiro Cartógrafo, formado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 2007. Possui experiência em topografia e cartografia aplicadas ao projeto e à execução de empreendimentos de engenharia civil. Atualmente, serve na Marinha do Brasil, no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), contribuindo para a produção de cartas náuticas.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.