



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

JOÃO PEDRO MACEDO SANTOS VALENTE

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM
ÁREAS PORTUÁRIAS ESTUARINAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
(PA)**

BELÉM - PARÁ

2026

JOÃO PEDRO MACEDO SANTOS VALENTE

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM
ÁREAS PORTUÁRIAS ESTUARINAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
(PA)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Recursos Hídricos.

Área de concentração: em Recursos Hídricos,

Linha de pesquisa em: Hidrogeologia Recursos Hídricos

Orientador: Dr. Bruno Santana Carneiro

Coorientadora: Prof. Denise Suellen Amorim de Sousa Santos

BELÉM - PARÁ

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de
Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V154a Valente, João Pedro Macedo Santos.
Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais em áreas
portuárias estuarinas da região metropolitana de Belém - Pa / João Pedro
Macedo Santos Valente. — 2026.
106 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Bruno Santana Carneiro

Coorientação: Prof^ª. Dra. Denise Suellen Amorim de Sousa Santos

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Belém,
2026.

1. Qualidade da água. 2. Sazonalidade. 3. Portos estuarinos. 4.
Amazônia. 5. Gestão de recursos hídricos. I. Título.

CDD 551.48098115

JOÃO PEDRO MACEDO SANTOS VALENTE

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM
ÁREAS PORTUÁRIAS ESTUARINAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
- PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Recursos Hídricos.

Área de concentração: em Recursos Hídricos,
Linha de pesquisa em: Hidrogeologia Recursos Hídricos

Data da apresentação: 6 de fevereiro de 2026.

Conceito: aprovado

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO SANTANA CARNEIRO**
Data: 26/02/2026 10:57:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Bruno Santana Carneiro - Orientador
Doutor em Saúde Coletiva
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **DENISE SUELLEN AMORIM DE SOUSA SANTOS**
Data: 03/03/2026 21:31:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Denise Suellen Amorim de Sousa Santos - Coorientadora
Doutora em Virologia
Instituto Evandro Chagas

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO JORGE AMORIM DE DEUS**
Data: 04/03/2026 14:47:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ricardo Jorge Amorim de Deus - Membro Interno
Doutor em Química
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **KELSON DO CARMO FREITAS FAIAL**
Data: 04/03/2026 15:17:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Kelson do Carmo Freitas Faial - Membro Externo
Doutor em Química
Instituto Evandro Chagas

Documento assinado digitalmente
 **ADAELSON CAMPELO MEDEIROS**
Data: 04/03/2026 15:38:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Adaelson Campelo Medeiros - Membro Externo
Doutor em Saúde Coletiva
Instituto Evandro Chagas

À maior guerreira de todas as guerreiras,
minha eterna e amada avó. Minha maior
inspiração.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, às minhas tias Maria Lúcia e Maria Cristina, e à minha prima Carla Luciana, por jamais me negarem o essencial ao longo da minha caminhada. Por me sustentarem quando o cansaço falava mais alto, por não permitirem que eu desistisse e por me ensinarem a seguir adiante com força, fé e esperança. Além delas, agradeço, com amor profundo, à minha avó — meu grande e eterno amor — que também garantiu o essencial em cada passo do meu percurso e, com gestos simples e palavras silenciosas, me ensinou valores que me trouxeram até aqui. Sua presença vive em mim.

Ao meu saudoso orientador, Dr. Bruno Santana Carneiro, minha eterna gratidão por confiar em mim e por me conceder a oportunidade de crescer no mundo da pesquisa e da vida profissional. À minha honrada coorientadora, Denise Amorim, que foi minha grande mentora no universo da microbiologia ambiental, moldando meu aprendizado, minhas práticas laboratoriais e minha formação profissional com paciência, rigor e generosidade. Junto a eles se somam pessoas que se tornaram minha família no Instituto Evandro Chagas: Socorro Pimentel, Luiza Gomes, Thalita, Rayssa Oliveira, Elivan Vale, Sandrya Neves, Idebê Cruz, Vanda, Elinaldo Lima e Amilton Gomes — laços construídos no cotidiano, no apoio mútuo e na partilha dos desafios.

À minha segunda família, que sempre me sustentou emocionalmente e nunca deixou faltar o cuidado: minha tia Eliane e minhas irmãs da vida Ingrid Sadala, Ana Paula e Ana Clara.

Às minhas amigas de infância, Alexandra Rayssa e Laura, que acompanharam cada fase do meu crescimento; às minhas grandes amigas da graduação, Jessyka Ellen, Debora Rie e Isabelle Lopes, que dividiram sonhos, medos e conquistas.

Aos amigos do meu atual trabalho, que tornam os dias mais leves e os caminhos mais possíveis: Rafaella Braga, Karicia Muniz, Lívia Ferreira, Rafael Estumano, Brenda Cirilo, Karoline Barros e Ivani Pamplona, além da minha coordenadora Maryelle Ferreira, pelo apoio e confiança.

Aos meus amigos do mestrado, que me fortaleceram nas disciplinas e, sobretudo, iluminaram o caminho até a conclusão desta dissertação, em especial Livaldo e Carliene.

Por fim — e acima de tudo — ao meu maior amor: Deus! Gratidão por nunca me soltar pela mão, por me guiar mesmo quando eu não compreendia o caminho e por fazer de mim o menino dos Seus olhos. Foi sempre Ele, conduzindo meus passos e me levando aos lugares onde eu precisava estar.

RESUMO

Esta dissertação investigou a variação sazonal da qualidade das águas superficiais em zonas portuárias estuarinas da Região Metropolitana de Belém (PA), com ênfase nos terminais da Companhia Docas do Pará (CDP) em Belém, Miramar, Outeiro e Vila do Conde (Barcarena). O estudo, realizado entre outubro de 2021 e julho de 2023, analisou parâmetros físico-químicos (pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade, sólidos totais dissolvidos e suspensos, salinidade, sulfato) e microbiológicos (coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli*), considerando a influência das estações chuvosa e menos chuvosa, além do ciclo de marés. Os resultados demonstraram um quadro de degradação ambiental contínuo e severo, caracterizado pela recorrente não conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. Observaram-se valores de oxigênio dissolvido frequentemente abaixo de 5 mg L⁻¹, pH predominantemente ácido (médias entre 5,67 e 6,73), aumento significativo de turbidez e sólidos suspensos durante o período chuvoso (até 62,28 NTU no Porto de Belém) e elevação acentuada de condutividade elétrica (média de 502,14 µS cm⁻¹) e salinidade (máximo de 1,75) no período seco, indicativo de intrusão salina nos terminais mais próximos à foz. A contaminação microbiológica por esgotos domésticos foi o aspecto mais crítico, com médias de coliformes termotolerantes atingindo até 39.466 NMP/100 mL no Terminal de Miramar, superando em quase 40 vezes o limite legal de 1.000 NMP/100 mL. A aplicação do teste estatístico de *Tukey* revelou que o ciclo de maré (enchente e vazante) não exerceu influência significativa sobre os parâmetros avaliados, sugerindo uma carga poluidora tão constante e elevada que a dinâmica hidrológica natural não promove diluição eficaz. Conclui-se que as águas superficiais das áreas portuárias estudadas apresentam qualidade comprometida por pressões antrópicas crônicas, com a capacidade de autodepuração do sistema estuarino ultrapassada. Os resultados reforçam a urgência de investimentos em saneamento básico, da adoção de práticas portuárias mais sustentáveis e do fortalecimento de programas de monitoramento ambiental contínuo e integrado, visando à proteção dos ecossistemas aquáticos e da saúde pública na Amazônia Oriental.

Palavras-chave: qualidade da água; sazonalidade; portos estuarinos; gestão de recursos hídricos; Amazônia.

ABSTRACT

This dissertation investigated the seasonal variation in surface water quality in estuarine port areas of the Metropolitan Region of Belém (PA), focusing on the terminals operated by the Companhia Docas do Pará (CDP) in Belém, Miramar, Outeiro, and Vila do Conde (Barcarena). The study, conducted between October 2021 and July 2023, analyzed physicochemical (pH, dissolved oxygen, turbidity, conductivity, total dissolved and suspended solids, salinity, sulfate) and microbiological parameters (total coliforms, thermotolerant coliforms, and *Escherichia coli*), considering the influence of the rainy and less rainy seasons, as well as the tidal cycle. The results revealed a continuous and severe state of environmental degradation, characterized by recurrent non-compliance with the standards established by CONAMA Resolution No. 357/2005 for Class 2 freshwaters. Dissolved oxygen levels were frequently below 5 mg L⁻¹, pH was predominantly acidic (averages between 5.67 and 6.73), turbidity and suspended solids increased significantly during the rainy season (up to 62.28 NTU at the Port of Belém), and a sharp rise in electrical conductivity (average of 502.14 μS cm⁻¹) and salinity (maximum of 1.75) was observed during the dry season, indicating saline intrusion in terminals closer to the estuary mouth. Microbiological contamination from domestic sewage was the most critical aspect, with thermotolerant coliform averages reaching up to 39,466 MPN/100 mL at the Miramar Terminal, exceeding the legal limit of 1,000 MPN/100 mL by nearly 40 times. The application of the Tukey statistical test showed that the tidal cycle (flood and ebb) did not exert a significant influence on the evaluated parameters, suggesting a pollutant load so constant and high that natural hydrological dynamics do not promote effective dilution. It is concluded that the surface waters in the studied port areas exhibit compromised quality due to chronic anthropogenic pressures, with the self-purification capacity of the estuarine system exceeded. The results underscore the urgency of investments in basic sanitation, the adoption of more sustainable port practices, and the strengthening of continuous and integrated environmental monitoring programs, aiming to protect aquatic ecosystems and public health in Eastern Amazonia.

Keywords: water quality; seasonality; estuarine ports; water resources management; Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	33
Figura 2 - Área do porto de Belém.....	33
Figura 3 - Terminal Portuário de Miramar.....	34
Figura 4 - Terminal Portuário de Outeiro.....	34
Figura 5 - Terminal Portuário de Vila do Conde.....	35
Figura 6 - Mapa hidrográfico da área de estudo.....	36
Figura 7 - mapa geológico da área de estudo.....	37
Figura 8 - mapa geomorfológico da área de estudo.....	38
Figura 9 - Mapa de vegetação da área de estudo.....	39
Figura 10 - Pontos de amostragem no município de Belém.....	42
Figura 11: localização dos pontos de amostragem no município de Barcarena.....	43
Figura 12 - Gráficos de Boxplot de valores máximos, médios e mínimos.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos pontos de amostragem.....	41
Tabela 2- descrição dos pontos de amostragem no município de Barcarena.....	43
Tabela 3 - período de menos chuvas e mais chuvas.....	45
Tabela 4 - Valores recomendáveis e máximos, de parâmetros Físico-Químicos, permitidos pela resolução CONAMA nº 357/2005.....	51
Tabela 6 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de mais chuvas nas áreas de estudos.....	56
Tabela 7 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de mais chuvas no Porto de Vila do Conde.....	58
Tabela 8 -Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de menos chuvas nas áreas de estudos.....	59
Tabela 9 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de menos chuvas no Porto de Vila do Conde.....	62
Tabela 10 - indicativo da não diferenciação da qualidade da água em função de diferentes regimes de maré.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APHA – American Public Health Association

AWWA – American Water Works Association

CDP – Companhia Docas do Pará

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

E. coli – Escherichia coli

IEC – Instituto Evandro Chagas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MÁX - Máxima

MÉD - Média

MIN - Mínima

NMP – Número Mais Provável

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial Hidrogeniônico

RMB – Região Metropolitana de Belém

SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade

STS – Sólidos Totais Suspensos

TDS – Sólidos Totais Dissolvidos

UFPA – Universidade Federal do Pará

WEF – Water Environment Federation

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

°C – Graus Celsius

$\mu S\ cm^{-1}$ – *Microsiemens* por centímetro

mg/L – Miligramas por litro

NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez

PSU – Unidade Prática de Salinidade

N-NO₂⁻ – Nitrito

N-NO₃⁻ – Nitrato

N-NH₃ – Nitrogênio Amoniacal

SO₄²⁻ – Sulfato

PO₄³⁻ – Fosfato

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Geral	17
2.2 Específicos	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Sazonalidade	18
3.2 Estuários	20
3.3 Legislações Sobre a Água Superficial	21
3.4 Parâmetros da Qualidade da Água	23
3.4.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	23
3.4.2 Turbidez	24
3.4.3 Oxigênio dissolvido	24
3.4.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	25
3.4.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	25
3.4.6 Nitrogênio	25
3.4.7 Fósforo	26
3.4.8 Temperatura	26
3.4.9 Sólidos	27
3.4.10 Salinidade	27
3.4.11 Coliformes termotolerantes e E.Coli	28
3.5 Monitoramento da Qualidade da Água	29
3.6 Poluição dos Recursos Hídricos	29
3.7 Municípios da Área de Estudo	31
3.7.1 Município de Belém	31
3.7.2 Município de Barcarena	32
4 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	33
4.1 Área de Realização do Estudo	33

4.2 Hidrografia.....	35
4.3 Geologia.....	36
4.4 Geomorfologia.....	37
4.5 Tipo de Vegetação.....	38
4.6 Aspectos Climáticos e de Sazonalidade.....	39
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
5.1 Aquisição dos dados.....	40
5.2 Determinação do Período Sazonal.....	44
5.3 Equipamentos Utilizados.....	46
5.4 Amostragem.....	46
5.4.1 Parâmetros Físico-Químicos.....	46
5.4.2 Parâmetros Microbiológicos.....	46
5.5 Parâmetros Analisados e Métodos Laboratoriais.....	47
5.5.1 Parâmetros Físico-Químicos.....	47
5.5.2 Parâmetros Microbiológicos.....	48
5.6 Estatística Descritiva.....	49
5.7 Teste de Tukey.....	49
5.8 Normas e Padrões a Serem Atendidos.....	50
6 RESULTADOS.....	52
6.1 Estatísticas Descritivas.....	52
6.2 Teste de Tukey.....	64
6.2 Qualidade da Água.....	66
7 DISCUSSÃO.....	68
7.1 Avaliação da Qualidade da Água.....	68
7.2 Avaliação da Sazonalidade.....	73
8 CONCLUSÃO.....	85
REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Belém (RMB), situada no nordeste do Estado do Pará, constitui um complexo urbano-estuarino de extrema importância para a Amazônia Oriental. Caracterizada por uma intrincada rede de corpos hídricos, incluindo a Baía do Guajará, o Rio Guamá e o Estuário do Rio Pará, a região abriga ecossistemas de grande relevância ecológica e socioeconômica (Souza *et al.*, 2020). Estes ambientes estuarinos funcionam como berçários para diversas espécies da fauna aquática, suportam atividades de pesca artesanal e industrial, e desempenham um papel fundamental no transporte hidroviário e na dinâmica cultural das populações ribeirinhas (Vasconcelos *et al.*, 2021). No entanto, a acelerada urbanização e o intenso desenvolvimento de atividades industriais e portuárias nas últimas décadas vêm impondo pressões antrópicas crescentes sobre estes ecossistemas, potencialmente comprometendo sua qualidade ambiental e a sustentabilidade de seus usos múltiplos (Marques *et al.*, 2020).

Em relação ao estuário do Rio Pará, a sua descarga líquida é considerada menor se comparado com o Rio Amazonas, com uma estimativa de $10^4 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$, medindo uma extensão longitudinal em torno de 300 km e aproximadamente de 50 a 40 km entre as suas margens na região de desembocadura (Prestes, 2016; Ribeiro e Valadão, 2021). O presente estuário não possui uma nascente única, tendo sua formação a partir da Baía das Bocas, situado na parte sudoeste da Ilha do Marajó, região essa que recebe aporte fluvial por parte do Rio Amazonas a partir de pequenos canais identificados como “Estreitos de Breves”, somando à toda descarga oriunda do Rio Tocantins e outros afluentes (Luz, 2025). O estuário da Baía do Guajará, é definido por constantes chuvas e por apresentar períodos sazonais, sendo no período de menos chuvas apresenta um pequeno índice pluviométrico e com uma elevada taxa de evaporação. O estuário da Baía do Guajará é caracterizado por constantes chuvas e períodos sazonais. No período menos chuvoso são observados baixo índice pluviométrico e elevada taxa de evaporação. Este ambiente, se encontra em uma área de drenagem de águas continentais com a influência de descarga em ambiente marinho (Alencar *et al.*, 2019).

A avaliação da qualidade da água em ambientes estuarinos é intrinsecamente complexa, devido à influência de fatores naturais como as marés, a sazonalidade climática – que na Amazônia se divide entre um período chuvoso e outro menos chuvoso – e o gradiente de salinidade (Moraes *et al.*, 2014). Esta variação natural pode mascarar ou exacerbar os efeitos da poluição antrópica, fazendo com que estudos nesta área considerem a dimensão temporal em suas análises. Apesar desta necessidade, verifica-se uma lacuna significativa de pesquisas que investiguem de forma abrangente a qualidade das águas superficiais nas áreas

portuárias da RMB, considerando simultaneamente uma gama ampla de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e sua variação sazonal.

Por conta de fatores naturais e antrópicos, a variação da qualidade da água pode ser ocasionada tanto por questões naturais em menores escalas, como por resultado da pressão antrópica sobre os ambientes aquáticos em maiores escalas, tal como ocorre na zona portuária de Belém (Alves *et al.*, 2012). Nos ecossistemas aquáticos, a heterogeneidade da qualidade da água pode ser influenciada principalmente pela contribuição natural da bacia hidrográfica (conhecidas como *background*, concentrações naturais afetadas pelas características geológicas e pedológicas do local) e pela magnitude dos impactos antrópicos como o consumo de água, lançamento de efluentes domésticos e industriais, escoamento superficial de áreas urbanas e rurais. Do ponto de vista temporal, as oscilações de qualidade da água podem refletir as formas de uso e ocupação do solo (Kalscheur *et al.*, 2012; Cunha *et al.*, 2013).

Diante do contexto do monitoramento, nacionalmente, o principal instrumento legal para a gestão da qualidade das águas superficiais é a Resolução CONAMA nº 357, de 2005. Esta resolução estabelece os critérios para a classificação dos corpos hídricos e define os padrões de qualidade para cada classe, baseado nos usos preponderantes da água (Brasil, 2005). Para ambientes salobros, como os estuários da RMB, a legislação define limites para parâmetros como oxigênio dissolvido, material em suspensão, coliformes termotolerantes e concentrações de nutrientes, entre outros. Comparar os dados monitorados com estes padrões legais é etapa fundamental para diagnosticar o estado de conservação do corpo hídrico e subsidiar seu enquadramento.

A área de estudo do presente trabalho possui uma zona de extrema importância para a economia da região, por meio do escoamento da produção do Estado e armazenamento de produtos de diversas tipologias (Gregório, 2009; Oliveira *et al.*, 2015). As áreas em questão, apresentam grandes atividades potencialmente poluidoras que podem afetar diretamente a qualidade das águas superficiais. A região também possui potencial turístico, conforme apresentado por Nóbrega (2010) sendo muito utilizada para fins de balneabilidade tanto pelos moradores locais quanto por visitantes de outras regiões, principalmente nos períodos de férias e feriados. Além disso, é uma área que possui moradores ribeirinhos que utilizam a água para o abastecimento.

Diante deste contexto, este estudo se justifica pela urgente necessidade de gerar informações científicas robustas e atualizadas sobre a qualidade das águas em áreas estuarinas sob influência portuária na RMB. A pesquisa busca preencher uma lacuna de conhecimento

ao integrar a análise sazonal com a avaliação de múltiplos indicadores de qualidade, confrontando-os com a legislação ambiental vigente. Os resultados obtidos possuem relevância tanto acadêmica e profissional, ao avançar na compreensão da dinâmica de poluentes nestes ambientes complexos, quanto social e aplicada, podendo instrumentalizar órgãos ambientais na fiscalização, fornecer subsídios para a gestão portuária sustentável e contribuir para a proteção da saúde pública e dos ecossistemas aquáticos desta importante região amazônica.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a qualidade das águas superficiais em áreas portuárias da Região Metropolitana de Belém (PA), considerando a influência da sazonalidade e das atividades antrópicas, com base nos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

2.2 Específicos

- Caracterizar, por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, a qualidade das águas superficiais em pontos estratégicos situados nas áreas portuárias de Belém e Barcarena;
- Avaliar a variação espacial e temporal (períodos chuvoso e menos chuvoso) dos parâmetros de qualidade da água, identificando tendências associadas à sazonalidade e potenciais fontes de contaminação;
- Analisar correlações entre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, mediante o emprego de técnicas estatísticas, visando identificar potenciais indicadores-chave para o monitoramento da qualidade da água em ambientes portuários.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sazonalidade

A sazonalidade é um fator natural determinante nos ecossistemas amazônicos, impondo limitações e definindo o modo de vida das populações, especialmente as comunidades ribeirinhas, que vivem de acordo com a variação das precipitações e o ciclo das marés (Harris, 2019). Este fenômeno, intrinsecamente ligado à variabilidade pluviométrica, representa uma das variáveis mais importantes para a caracterização do clima em regiões tropicais (Souza *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2015). A compreensão de como o regime de chuvas influencia as condições físicas, químicas e biológicas das águas é, portanto, fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão da qualidade dos recursos hídricos (Vieira, 2008). A discussão em torno da variabilidade temporal (sazonal) e espacial é crucial para entender os fatores que degradam a qualidade da água superficial (Costa *et al.*, 2021), sendo que a sazonalidade frequentemente demonstra ter um impacto estatisticamente mais significativo do que as variações espaciais em uma mesma localidade (Guedes *et al.*, 2024). Dessa forma, estudos que buscam analisar a qualidade da água em ecossistemas complexos como a Amazônia necessita, indispensavelmente, considerar a influência sazonal para uma análise robusta e contextualizada (Moura, 2014).

A definição do período sazonal da Amazônia, de acordo com Santos *et al.* (2021), indica que a maior parte da precipitação anual na região ocorre entre as estações de verão e outono austral, tipicamente de dezembro a maio. Outras fontes corroboram essa definição, caracterizando a estação chuvosa pelos trimestres de verão (dezembro a fevereiro - DJF) e outono (março a maio - MAM) (Souza *et al.*, 2015). A dinâmica atmosférica que governa este período é a atuação de sistemas de grande escala como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), mais proeminente no verão, e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atinge sua posição mais ao sul durante o outono, tornando-se o principal sistema indutor de chuvas (Silva, 2010). Em contraste, a estação seca ou menos chuvosa compreende os trimestres de inverno (junho a agosto - JJA) e primavera (setembro a novembro - SON) (Souza *et al.*, 2015). É importante notar que podem existir variações locais dentro do vasto bioma amazônico; por exemplo, estudos em uma parte da região amazônica definem o período chuvoso de dezembro a julho e o menos chuvoso de agosto a novembro (Damasceno *et al.*, 2015), enquanto na região de Humaitá (AM), a estação chuvosa ocorre de novembro a abril (Gomes, 2023).

Durante o período chuvoso, o aumento da precipitação e da vazão dos rios exerce uma influência complexa sobre a qualidade da água (Tundisi, 2008). Por um lado, o maior volume

hídrico promove um efeito de diluição, que pode melhorar a qualidade da água ao diminuir a concentração de poluentes (Leite, 2020). Um estudo na orla de Macapá, por exemplo, classificou a qualidade da água como "ótima" no período chuvoso, em contraste com "boa" no período menos chuvoso, atribuindo a melhora à diluição dos contaminantes (Damasceno *et al.*, 2015). Por outro lado, a estação chuvosa intensifica o escoamento superficial e o arraste de material do solo e sedimentos para o leito dos rios (Guedes *et al.*, 2024). Esse processo resulta no aumento de parâmetros como Sólidos Totais (ST), turbidez e cor (Costa *et al.*, 2021; Alencar *et al.*, 2019). Além disso, a água da chuva, naturalmente mais ácida, juntamente com a lixiviação de solos amazônicos, pode levar a uma redução do pH dos corpos d'água, tornando-os mais ácidos (Costa *et al.*, 2021; Damasceno *et al.*, 2015). O fósforo também pode ter suas concentrações elevadas no período chuvoso devido a processos naturais, como a lixiviação do solo e a dissociação de sedimentos em suspensão (Damasceno *et al.*, 2015).

No período seco ou menos chuvoso, a dinâmica da qualidade da água se inverte. A redução da precipitação e, conseqüentemente, da vazão dos rios diminui a capacidade de diluição dos corpos hídricos, tornando-os mais vulneráveis ao lançamento de efluentes domésticos e industriais (Marinho, 2020). Nesse cenário, há uma tendência de aumento na concentração de poluentes, refletida em parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT) e coliformes termotolerantes (Damasceno *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2021). A menor diluição também favorece o processo de eutrofização em alguns sistemas, onde a maior concentração de nutrientes como o fósforo, associada a uma maior incidência luminosa, estimula o crescimento de algas, elevando os níveis de clorofila-a (Costa *et al.*, 2021). Outro fenômeno característico do período de estiagem em áreas estuarinas, como a foz do Rio Amazonas, é a intrusão salina, onde a menor descarga de água doce permite o avanço da água do mar, resultando em um aumento significativo da salinidade, condutividade elétrica e cloretos, podendo alterar a classificação da água de doce para salobra (Guedes *et al.*, 2024; Valentim, 2017).

A sazonalidade também afeta de maneira particular outros parâmetros físico-químicos importantes. O Oxigênio Dissolvido (OD), por exemplo, apresenta um comportamento variável. Alguns estudos registram maiores valores de OD no período chuvoso, possivelmente devido ao aumento da aeração causada pelo turbilhonamento das águas (Soares, 2021). Entretanto, outras pesquisas observaram a diminuição dos valores de OD durante a estação chuvosa, o que pode ser explicado pelo aumento do consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica carregada para o rio pelas águas pluviais (Pereira, 2012). Já

no período seco, as temperaturas mais elevadas podem diminuir a solubilidade do oxigênio na água, e a maior concentração de poluentes pode aumentar seu consumo, levando a baixos níveis de OD (Ojeda, 2023). O fósforo total (PT) e o nitrato também apresentam variações sazonais significativas, com concentrações que podem aumentar tanto no período seco, devido ao lançamento de esgoto e menor diluição, quanto no período chuvoso, pelo arraste de nutrientes do solo (Vasco, 2011).

Por tanto, o regime hidrológico anual é reconhecido como o principal fator responsável pelas mudanças físicas e químicas em corpos d'água amazônicos, como rios e lagos de várzea (Gomes, 2023). A influência da precipitação é tão marcante que diversos estudos apontam para diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros de qualidade da água entre os períodos chuvoso e seco (Guedes *et al.*, 2024; Costa *et al.*, 2021; Damasceno *et al.*, 2015). Essas alterações sazonais afetam diretamente desde as características intrínsecas dos rios, como pH e turbidez, até processos ecológicos complexos, como o estado trófico e a capacidade de autodepuração dos ecossistemas aquáticos (Costa *et al.*, 2021; Guedes *et al.*, 2024). Portanto, a análise da sazonalidade é indispensável para o monitoramento ambiental, a gestão de recursos hídricos e a compreensão dos impactos naturais e antrópicos sobre os ecossistemas aquáticos da Amazônia (Alencar *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2021).

3.2 Estuários

A questão das regiões estuarinas está relacionada com fatores como físicos, químicos, biológicos, geomorfológicos e até mesmo a questão do manejo ambiental. O ambiente estuarino tem como principalmente variáveis ambientais como salinidade, turbidez e variáveis biológicas apresentam variação espacial e temporal contínua (Elliot *et al.*, 2002).

As regiões estuarinas das águas superficiais da Amazônia representam ecossistemas únicos e altamente produtivos, caracterizados pela interação entre águas doces e salinas. Esses ambientes desempenham um papel vital na sustentação da biodiversidade regional e na provisão de recursos naturais essenciais para as comunidades locais (Araujo *et al.*, 2018). No contexto da Região Metropolitana de Belém (RMB), essas áreas estuarinas são de grande importância socioeconômica, ambiental e cultural, enfrentando desafios decorrentes da urbanização acelerada e das atividades portuárias (Silva, 2006).

A expansão urbana e industrial na RMB tem exercido pressões significativas sobre as regiões estuarinas, resultando em impactos ambientais adversos, como a poluição da água, a perda de habitats naturais e a erosão costeira (Bastos *et al.*, 2019). Além disso, o aumento da atividade portuária na região tem gerado preocupações quanto aos efeitos da dragagem de

canais de navegação e à movimentação de cargas sobre a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas estuarinos (Furtado *et al.*, 2017).

A gestão integrada das regiões estuarinas na Amazônia, especialmente na RMB, requer uma abordagem holística que leve em consideração os múltiplos aspectos sociais, econômicos e ambientais envolvidos (Barbosa *et al.*, 2021). Isso inclui o estabelecimento de políticas públicas eficazes, o monitoramento contínuo da qualidade ambiental e a promoção da participação ativa das comunidades locais no processo decisório (Prata, 2020). Além disso, estratégias de conservação e recuperação dos ecossistemas estuarinos devem ser implementadas, visando mitigar os impactos negativos das atividades humanas (Carneiro *et al.*, 2018).

A relação entre áreas portuárias e regiões estuarinas é complexa e multifacetada, envolvendo aspectos econômicos, ambientais e sociais. Por um lado, os portos desempenham um papel crucial na dinamização da economia regional, facilitando o transporte de mercadorias e contribuindo para o desenvolvimento industrial e comercial (Souza *et al.*, 2020). No entanto, as atividades portuárias também podem representar uma ameaça aos ecossistemas estuarinos, especialmente quando não são adequadamente planejadas e gerenciadas (Silva *et al.*, 2019).

3.3 Legislações Sobre a Água Superficial

A legislação brasileira de recursos hídricos é fundamentada na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e na Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação e o enquadramento dos corpos de água (Brasil, 1997; 2005). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece critérios para as águas doces, salobras e salinas, definindo classes de qualidade de acordo aos usos preponderantes, como abastecimento humano, proteção da vida aquática, recreação e irrigação.

A resolução classifica as águas doces em cinco classes (especial, 1, 2, 3 e 4), enquanto as águas salobras e salinas são divididas em três classes cada. Para cada classe, são estabelecidos valores máximos permitidos para parâmetros como oxigênio dissolvido (OD), pH, turbidez, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), metais pesados e nutrientes (Tagliari, 2021).

Além disso, a resolução prevê a obrigatoriedade de monitoramento sistemático e a adoção de medidas de controle e mitigação da poluição hídrica. O enquadramento dos corpos de água em classes específicas deve considerar seus usos atuais e futuros, visando à garantia dos usos múltiplos e à manutenção da qualidade ambiental (Souza, 2007).

A legislação brasileira sobre recursos hídricos é ampla e abrange diversos instrumentos legais que visam garantir a proteção, o uso sustentável e a gestão dos corpos d'água. Entre as principais legislações, destaca-se a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece os critérios para classificação, enquadramento e padrões de qualidade das águas doces, salobras e salinas em todo o território nacional. Essa resolução é um marco na gestão ambiental das águas superficiais, pois define parâmetros rigorosos para a manutenção dos usos múltiplos dos recursos hídricos e serve como base para o monitoramento e controle da poluição hídrica (Silva, 2013).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica as águas superficiais em treze classes distintas, considerando as características físico-químicas e microbiológicas necessárias para atender aos diferentes usos previstos. As águas doces são divididas em cinco classes (1, 2, 3, 4 e especial), enquanto as águas salobras e salinas são classificadas em quatro classes cada uma. Cada classe possui limites específicos para parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nutrientes e metais pesados, entre outros. Esses limites são fundamentais para garantir a proteção dos ecossistemas aquáticos e a saúde pública (Bringel; Silva; Miranda, 2024).

Além disso, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece diretrizes claras para o enquadramento dos corpos d'água, que consiste no processo de atribuir uma classe específica a um corpo hídrico com base em seus usos pretendidos. Esse enquadramento é essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois orienta as ações de recuperação e conservação dos corpos d'água. A resolução também define condições e padrões para o lançamento de efluentes, exigindo tratamentos adequados para que os despejos não comprometam a qualidade das águas receptoras (Pizzella *et al.*, 2007).

Outro aspecto relevante da Resolução CONAMA nº 357/2005 é a inclusão de princípios modernos de gestão ambiental, como a prevenção, a precaução e a função socioambiental da propriedade. Esses princípios refletem a preocupação com a sustentabilidade e o equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos, além de reconhecer a importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento social e econômico (Barbosa *et al.*, 2021). A resolução também enfatiza a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade das águas, com vistas a identificar alterações e implementar medidas corretivas quando necessário (Albornoz, 2015).

Vale destacar que a Resolução CONAMA nº 357/2005 foi posteriormente atualizada pela Resolução CONAMA nº 410/2009 e pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que introduziram ajustes nos padrões de qualidade e nas condições de lançamento de efluentes.

Essas atualizações reforçam a importância de adaptar a legislação às novas demandas ambientais e tecnológicas, garantindo maior eficácia na proteção dos recursos hídricos (Brasil, 2005; Brasil, 2011).

Em síntese, a legislação vigente sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil, representada principalmente pela Resolução CONAMA nº 357/2005, desempenha um papel crucial na gestão dos recursos hídricos. Ela não apenas define critérios técnicos para a classificação e enquadramento dos corpos d'água, mas também estabelece princípios e diretrizes que orientam ações de planejamento, monitoramento e controle. Essa legislação é fundamental para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e a segurança hídrica, especialmente em regiões estratégicas como a Região Metropolitana de Belém, que enfrenta desafios significativos relacionados à pressão antrópica e às mudanças climáticas (Barbosa *et al.*, 2021).

3.4 Parâmetros da Qualidade da Água

A água, em relação com suas propriedades de solvente e à sua habilidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, que definirão sua qualidade. A sua qualidade é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade de uma água é função das condições naturais e da interferência dos seres humanos. A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que representam as suas principais características físicas, químicas e biológicas (Ferreira, 2007).

3.4.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A concentração de íons H^+ que estabelece uma qualidade de acidez, neutralidade ou alcalinidade na água é representada pelo pH. A quantificação deste parâmetro pode variar de 0 a 14. Os constituintes responsáveis pelo pH são estabelecidos na forma de sólidos e gases dissolvidos em uma amostra (Andrade, 2018).

A dissolução de rochas, a absorção de gases atmosféricos, a oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese são os processos que colaboram para sua origem natural. Sua origem antrópica pode ser atribuída a resíduos domésticos (degradação de materiais orgânicos) ou industriais (lançamento de esgoto industrial sem tratamento, lavagem ácida de tanques etc.). A menos que seu valor seja muito baixo ou muito alto, este parâmetro pode causar danos à pele e aos olhos das pessoas, mas não representa um risco para a saúde pública de forma indireta. Em relação à vida aquática, a mesma pode ser impactada se o corpo hídrico se encontrar com valores abaixo da neutralidade. Em relação a altos valores, podem estar relacionados a propagação de algas. A neutralidade ocorre quando o pH é 7,0. Os valores

abaixo disso resultam em condições ácidas, enquanto os valores acima resultam em condições básicas. (Sperling, 2005).

3.4.2 Turbidez

A turbidez demonstra o grau de interferência com a passagem de luz através da água, atribuindo uma aparência turva à mesma. Seus constituintes responsáveis são os sólidos em suspensão (Falcade *et al.*, 2017). Segundo Lopes (2008) a turbidez pode ser compreendida como um fenômeno resultante tanto de processos naturais quanto de ações humanas. No contexto natural, está associada à presença de partículas minerais, como fragmentos de rochas, silte e argila, além de organismos biológicos, incluindo algas e outros microrganismos em suspensão. Em contrapartida, a influência antrópica manifesta-se principalmente por meio do lançamento de efluentes domésticos e industriais, bem como pela intensificação de processos erosivos, que contribuem de forma significativa para o aumento da carga de material particulado nos corpos d'água. A sua origem natural é se apresenta de uma forma menos significativa quando relacionada com a quantidade e também ao aspecto, sendo quase imperceptível a olho nu. Em relação a sua origem antrópica, pode estar relacionada à presença de elementos químicos patogênicos e organismos causadores de doenças. Este parâmetro se encontrado em altas quantidades, pode diminuir a penetração de luz e assim prejudicando o processo de fotossíntese em corpos d'água (Leira, 2017).

3.4.3 Oxigênio dissolvido

Em águas não impactadas por descargas orgânicas ou industriais, os níveis de oxigênio dissolvido tendem a se aproximar dos valores de saturação, que variam conforme a temperatura e a altitude. Segundo Mays (2011), a presença de vegetação ribeirinha e a ausência de atividades antrópicas intensas favorecem a manutenção de concentrações elevadas de OD, garantindo condições ideais para a sobrevivência de organismos aquáticos. Em contrapartida, ambientes poluídos apresentam uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada, resultando na redução drástica dos níveis de OD e comprometendo a qualidade da água.

A diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido (OD) é o principal impacto ambiental da poluição orgânica em um curso d'água. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅, 20°C) indica a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica carbonácea durante processos bioquímicos. Como resultado, é uma indicação indireta do carbono orgânico biodegradável. Em relação a análise deste parâmetro, a principal utilidade do teste DBO₅, 20°C é que ele permite determinar aproximadamente a fração biodegradável

do resíduo e a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente em uma amostra (Von Sperling, 2017 *apud* Mendes, 2021).

3.4.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A quantidade de oxigênio necessária para que um agente químico realize o processo de oxidação da matéria orgânica em um corpo hídrico é chamada de Demanda Química de Oxigênio (DQO). Fatores antrópicos como os desperdícios domésticos e industriais geralmente aumentam a concentração de DQO de um corpo d'água ou em um corpo receptor (Cetesb, 2008).

A qualidade de qualidade representada pela DQO é um fator crucial nos estudos de descrição de efluentes e esgotos. A utilização dos dois parâmetros, DQO e DBO, é importante para observar a porcentagem biodegradável dos despejos (Almeida *et al.*, 2025).

3.4.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A quantidade de oxigênio necessária para estabilizar ou oxidar uma matéria orgânica durante processos bioquímicos de suspensão é chamada de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Os processos são realizados por um grupo de bactérias aeróbias, que transformam a matéria orgânica em uma substância inorgânica resistente. Este é um cálculo indireto da demanda de matéria orgânica (carbono orgânico biodegradável) (Felix, 2025).

A quantidade de oxigênio consumida em uma temperatura de incubação específica é chamada de DBO. Em relação a (DBO_{5,20}), a mesma é determinada quando o período de incubação é de 5 dias e a temperatura de incubação é de 20 °C. Quando os despejos de origem predominantemente orgânicos ocorrem, o DBO aumenta em um corpo d'água. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode levar ao esgotamento total do oxigênio na água, podendo diminuir ou até mesmo causar a eliminação de peixes e outras espécies da vida aquática presentes no corpo hídrico (Cetesb, 2008).

3.4.6 Nitrogênio

Na biosfera, o nitrogênio se transforma em várias formas e estados de oxidação ao longo do ciclo do nitrogênio. O nitrogênio molecular (N₂) pode ser encontrado em meio aquático como amônia (NH₃ livre) e ionizado (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻). Os sólidos em suspensão e os sólidos dissolvidos são os componentes responsáveis pela presença de nitrogênio na água (Braga, 2006).

A formação natural desses componentes, pode-se destacar as proteínas e vários outros materiais biológicos, bem como da composição celular de microrganismos. Dejetos domésticos, despejos industriais, uso de fertilizantes e excrementos de animais estão entre as fontes antrópicas (Bezerra, 2009).

Em algumas situações, pode ocorrer eutrofização do corpo hídrico, que é causado pelo crescimento da quantidade de nitrogênio em um corpo d'água. A oxidação no meio é consumida durante os processos bioquímicos que convertem a amônia em nitrito e, posteriormente, em nitrato, o que pode causar danos à biota local (Marinha do Brasil, 2021).

A forma do nitrogênio no corpo d'água pode revelar o estágio da poluição causada pelo despejo doméstico. A maior parte do nitrogênio encontrado na contaminação recente é nitrogênio orgânico ou amônia, enquanto o nitrato é a principal forma de nitrogênio na molécula antiga. As formas orgânicas e amônia são as mais comuns nos esgotos domésticos não tratados (Toledo *et al.*, 2018).

3.4.7 Fósforo

Em relação ao fósforo, ortofosfato, o polifosfato e o fosfato orgânico são os principais tipos de fósforos encontrados na água. Os ortofosfatos são diretamente acessíveis ao metabolismo biológico sem precisar ser convertidos em formas mais simples. O PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- e H_3PO_4 são os ortofosfatos mais comuns encontrados na água. Sua presença na água é causada pela presença de sólidos em suspensão e sólidos distribuídos. Sua origem natural é a desintegração da matéria orgânica e a dissolução dos compostos do solo. Rejeitos domésticos, despejos industriais, lançamento de grande quantidade de detergentes, excrementos de animais e uso de fertilizantes estão dentre as fontes antrópicas mais comuns para o surgimento deste elemento (Sperling, 2005). O fósforo, assim como o nitrogênio, é necessário para o crescimento das algas e, em alguns casos, pode causar a eutrofização dos corpos d'água. Além disso, é essencial para o crescimento de microrganismos que realizam o processo de estabilização da matéria orgânica (Cadoná, 2018).

3.4.8 Temperatura

A intensidade de calor, que vem de fontes naturais como radiação, condução e convecção, é uma medida da temperatura. A origem antrópica é atribuída principalmente aos despejos industriais. Altas temperaturas são capazes de acelerar as reações físicas, químicas e biológicas e promovem a solubilidade dos gases (Silva *et al.*, 2017).

Temperaturas que estão fora de seus limites de tolerância térmica prejudicam os organismos aquáticos, afetando seu crescimento, reprodução e seu desenvolvimento. A temperatura de todos os corpos d'água varia ao longo do dia e das estações do ano. No entanto, as altas temperaturas podem afetar significativamente os corpos d'água ao despejar efluentes de forma irregular (Brasil. ANA, 2013).

3.4.9 Sólidos

A qualidade da água é um aspecto crucial para a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e para a saúde humana. Dentre os diversos parâmetros utilizados para avaliar essa qualidade, os sólidos totais e os sólidos dissolvidos desempenham papéis fundamentais (Apha/Awwa/WEF, 2017).

Os sólidos totais representam todas as partículas suspensas na água, incluindo materiais orgânicos e inorgânicos. Essas partículas podem ser originadas de fontes naturais, como a erosão do solo, ou de fontes antropogênicas, como o escoamento urbano e industrial. Já os sólidos dissolvidos são compostos por minerais e substâncias orgânicas que estão molecularmente dispersas na água (Boyd e Tucker, 2012).

A relação entre esses dois parâmetros é importante para compreender a composição físico-química da água. Em águas superficiais, a quantidade de sólidos dissolvidos pode variar em função de fatores climáticos sazonais, como as marés. Durante a maré cheia, a diluição dos sólidos dissolvidos é maior devido à entrada de água do mar, enquanto na maré vazante, a concentração desses sólidos tende a aumentar devido à menor vazão e à maior concentração de solutos (Chapman, 1996).

Além disso, as atividades antrópicas exercem uma influência significativa nos níveis de sólidos totais e dissolvidos em corpos d'água. O desmatamento, a agricultura intensiva e o despejo de resíduos industriais e domésticos podem aumentar a carga de sólidos totais devido à erosão do solo e à contaminação por produtos químicos. Da mesma forma, o uso de fertilizantes e pesticidas na agricultura pode contribuir para o aumento dos sólidos dissolvidos na água, afetando negativamente a sua qualidade (Mays, 2011).

3.4.10 Salinidade

A salinidade é a medida da quantidade de sais distribuídos em uma unidade de massa de água, de forma simplificada. Em relação a sua forma de mensuração atual, essa medida é apresentada em Practical Salinity Scale - PSU, onde relaciona a salinidade com a questão da condutividade. No que tange os sais dissolvidos em um corpo hídrico ou amostra, a mesma acaba afetando as propriedades físicas das moléculas da água, interferindo no arranjo geral das moléculas. A exemplo disso, a água com salinidade de valor 35, o ponto de congelamento é de 3,98 °C e a temperatura de densidade máxima é de -3,52 °C (Bianchi, 2007). Por conseguinte, a salinidade interfere na densidade da água, pois essa propriedade aumenta com o aumento da concentração de sais. Como resultado dessa relação, a salinidade tem um impacto na estratificação dos corpos de água costeiros, bem como na mobilidade de íons em vários gradientes (Valentim, 2017).

3.4.11 Coliformes termotolerantes e E.Coli

As bactérias do grupo coliformes são comumente encontradas no ambiente, especialmente em ambientes aquáticos como rios, lagos e demais corpos d'água. Este grupo inclui diversas espécies de bactérias Gram-negativas, que podem ser indicativas de contaminação fecal e, portanto, são utilizadas como indicadores de qualidade da água e de possíveis riscos à saúde humana (Apha/Awwa/WEF, 2017).

Como é inviável a análise de todos os agentes patogênicos na água, as bactérias do grupo coliformes são utilizadas como indicadores microbiológicos de qualidade.

São bactérias Gram-negativas, fermentadoras de lactose e não produzem esporos. Dentro do grupo coliforme estão os coliformes termotolerantes, do qual a *E. coli* faz parte e é a única exclusiva do trato intestinal de animais de sangue quente, o que torna sua presença uma indicação mais precisa de contaminação fecal recente. Uma vez que outras espécies de coliformes termotolerantes como *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella* também podem ser encontradas naturalmente no ambiente. Essas bactérias têm a capacidade de fermentar lactose a 44,5 $\pm$ 0,5°C, o que as diferencia dos demais coliformes. A presença desses indicadores em concentrações acima do permitido pela legislação indicam risco de contaminação por outros agentes patogênicos (Santos *et al.*, 2021).

A *Escherichia coli* é uma bactéria comensal do trato gastrointestinal de mamíferos, incluindo seres humanos. Sua presença em águas superficiais indica a contaminação por fezes de animais de sangue quente, podendo ser um indicador de risco para a saúde pública. Algumas cepas de *E. coli* são patogênicas e podem causar doenças gastrointestinais graves em humanos, como diarreia, cólicas abdominais e até mesmo infecções mais graves, como a síndrome hemolítica e urêmica (SHU) (Besser *et al.*, 2018).

As atividades humanas desempenham um papel significativo no surgimento e na disseminação de microrganismos, em ambientes aquáticos. O lançamento inadequado de esgotos domésticos e industriais, o manejo inadequado de resíduos animais, a agricultura intensiva e o desmatamento são algumas das atividades que contribuem para a contaminação microbiológica das águas superficiais (Terra *et al.*, 2008).

Além disso, a urbanização descontrolada e a falta de saneamento básico adequado ampliam os riscos de contaminação, pois aumentam a carga de poluentes orgânicos e inorgânicos nos corpos d'água. Essa contaminação pode afetar diretamente a saúde humana, por meio do consumo de água contaminada ou de alimentos irrigados com água contaminada, além de comprometer os ecossistemas aquáticos e a biodiversidade (Sonthiphand *et al.*, 2019).

Os coliformes, em especial os termotolerantes e a *E. coli*, são indicadores importantes da qualidade microbiológica das águas superficiais, refletindo a contaminação por esgotos e resíduos fecais. O controle e a prevenção da contaminação por esses microrganismos requerem medidas integradas de saneamento ambiental, gestão de resíduos e boas práticas agrícolas, visando garantir a segurança da água para consumo humano e a preservação dos ecossistemas aquáticos (Andrade e Barros, 2019).

3.5 Monitoramento da Qualidade da Água

Fenômenos naturais e ações humanas afetam a qualidade da água. De forma geral, pode-se dizer que a qualidade de um recurso hídrico específico depende das condições naturais, bem como a maneira que ocorre o processo do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (Freitas e Freitas, 2005). Em tal situação, o monitoramento da qualidade da água é essencial para acompanhar a evolução e a forma como ocorre o uso dos corpos hídricos, investigando os seus efeitos nas características qualitativas da água e quantitativas e fornecendo meios para o controle desse recurso (Guedes *et al.*, 2012; Souza, 2015 *apud* Drose, 2020).

Para isso, um programa de monitoramento ambiental normalmente inclui coletas frequentes nos mesmos pontos de amostragem e análises em laboratório de uma grande quantidade de diversos parâmetros da qualidade da água; isso resulta em uma matriz de grandes dimensões e interpretação complicada (Simeonov *et al.*, 2013). Devido à complexidade das relações entre esses parâmetros, muitas vezes apenas uma pequena quantidade dessas variáveis fornece informações mais pertinentes, enquanto a maioria contribui de forma menos significativa para a interpretação dos resultados em termos qualitativos, dependendo da situação a ser analisada (Liao *et al.*, 2008 *apud* Drose, 2020).

Para avaliar a qualidade da água, é importante usar parâmetros limnológicos como temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e turbidez. Isso discrimina em que condições a qualidade dos rios se encontra e como isso pode interferir na população que beneficia do recurso. A qualidade ambiental dos recursos hídricos pode ser afetada por atividades humanas e fatores naturais, especialmente em locais onde os impactos antrópicos são prevalentes (Silva *et al.*, 2008). Portanto, o teste de potabilidade e balneabilidade por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos é fundamental para compreender como os recursos hídricos são afetados pelo meio antrópico (Arcos, 2021).

3.6 Poluição dos Recursos Hídricos

O saneamento precário e o tratamento de esgotos urbanos, que são despejados sem tratamento nos rios das grandes cidades brasileiras, continuam sendo uma fonte pertinente de

contaminação dos corpos hídricos. A disponibilidade e a qualidade da água são significativamente impactadas por essas mudanças físicas, químicas e biológicas que ocorrem em ambientes aquáticos. Dentre esses impactos, se tem a agravante redução das comunidades aquáticas que habitam uma região, comunidades essas necessárias para garantir o desenvolvimento do ambiente aquático e também insumo de sobrevivência para a comunidade que necessita do corpo hídrico em questão (Leoneti; Prado; Oliveira., 2011), (Tundisi, 2003), (Piedade *et al.*, 2014).

As águas superficiais, vitais para a sustentação da vida e ecossistemas aquáticos, estão enfrentando crescente pressão devido à poluição antropogênica e às atividades portuárias. Este texto aborda os efeitos desses dois fenômenos, destacando sua influência na qualidade das águas e nos ecossistemas aquáticos (Smanioto, 2024)

A contaminação antrópica, resultante principalmente do lançamento de efluentes industriais, agrícolas e urbanos, é uma das principais causas de degradação das águas superficiais (Smith *et al.*, 2020). Esses efluentes contêm uma variedade de substâncias tóxicas, incluindo metais pesados, produtos químicos orgânicos e nutrientes em excesso, como nitrogênio e fósforo, que podem causar eutrofização e desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos (Zhang *et al.*, 2018). A presença dessas substâncias pode levar à diminuição da biodiversidade, mortandade de peixes e comprometimento da saúde humana quando as águas contaminadas são utilizadas para consumo ou recreação (Stuart *et al.*, 2019).

Além da contaminação antrópica, as atividades portuárias representam uma fonte significativa de impacto nas águas superficiais. Os portos são centros de atividades comerciais e industriais intensas, envolvendo o transporte de cargas, operações de navios e manipulação de mercadorias. Essas atividades frequentemente resultam em vazamentos de óleo e produtos químicos, descarga de águas de lastro contaminadas e deposição de resíduos sólidos no ambiente aquático (Yang *et al.*, 2021). Como resultado, os ecossistemas costeiros próximos aos portos são frequentemente afetados por poluição química e física, comprometendo a saúde dos organismos aquáticos e a qualidade geral da água (Li *et al.*, 2022).

Para mitigar esses impactos, são necessárias medidas eficazes de gestão ambiental e regulamentações rigorosas. Isso inclui o tratamento adequado de efluentes industriais e domésticos antes do descarte, o desenvolvimento de tecnologias de controle de poluição nos portos e a implementação de estratégias de conservação e recuperação dos ecossistemas aquáticos afetados (Wu *et al.*, 2020). Além disso, a conscientização pública sobre a importância da preservação dos recursos hídricos e a adoção de práticas sustentáveis são fundamentais para enfrentar esse desafio global.

Em suma, a poluição das águas superficiais, impulsionada pela contaminação antrópica e atividades portuárias, representa uma séria ameaça à saúde dos ecossistemas aquáticos e à segurança hídrica. A adoção de abordagens integradas e colaborativas é essencial para garantir a proteção e a sustentabilidade desses recursos vitais para a vida no planeta.

3.7 Municípios da Área de Estudo

3.7.1 Município de Belém

Belém é um município por muitos corpos d'água, muitos de seus seguimentos hídricos, chamados de igarapés, foram destruídos e restaurados como resultado da construção urbana. Eles perderam sua função social anterior, que incluía lazer, uso de recursos naturais para subsistência e tráfego. Belém fica em uma península, com o rio Guamá ao sul. Ananindeua fica a leste, o Furo do Maguari fica ao norte e a Baía do Guajará fica ao oeste. Situado na margem direita da baía de Guajará, entre 1°20' de latitude sul e 48°30' de longitude oeste de Greenwich, seu relevo é considerado baixo a levemente ondulado, com terrenos secos e alagados, onde vivem diversas espécies de flora e fauna (Silva, 2012).

A cidade de Belém (PA) começou com a ocupação da foz do rio Pará e a construção do Forte do Presépio e da primeira capela em 1616 por Francisco Caldeira Castelo Branco e seus seguidores. O objetivo era estabelecer uma base estratégica que facilitasse a expansão do império ibérico pelas Américas. A principal causa dessa ocupação foi a política econômica mercantilista que Portugal e Espanha adotaram desde o século XV. O forte foi desenvolvido nas margens do rio Guamá e da Baía de Guajará. Construída a partir de uma praça de armas, a cidade tinha como objetivo manter o território sob controle. Os edifícios da administração imperial e da igreja eram parte disso. A fortificação serviu de centro e primeiro bairro da cidade, que agora é a Cidade Velha. Com o tempo, Belém se transformou em uma cidade portuária depois que a população se expandiu para o interior. Foi uma área comercial que servia como uma porta para a região amazônica e uma ligação entre Portugal e o Estado do Grão-Pará (Iphan, 2024).

A história de Belém, em seus acontecimentos socioeconômicos, territoriais e seus aspectos culturais estão ligadas à sua localização na Amazônia. É importante usar esses elementos como base para discutir os processos e mudanças que ocorrem na Região Metropolitana de Belém. A natureza foi um importante aspecto na colonização da Amazônia. Os grandes rios desempenharam um papel importante no planejamento logístico, no transporte de pessoas e de mercadorias. Devido ao grande afastamento entre os rios e a área florestal, uma região historicamente foi considerada complexa de se desenvolver (Corrêa,

1987 *apud* Cardoso; Costa; Reis, 2013 p. 60). Embora o processo de desenvolvimento do município, em sua maior parte, tenha sido de forma desordenada, isso não significa que essa situação possa ter uma controversa.

3.7.2 Município de Barcarena

O município de Barcarena fica localizado na Microrregião Metropolitana de Belém, situado nas coordenadas geográficas 01°11'30" e 1°42'00" de latitude sul e 48°26'15" e 48°50'10" de longitude oeste de Greenwich e possui os limites territoriais ao norte e leste com a baía do Marajó, ao sul com os municípios de Abaetetuba, Moju e Acará, a oeste com a baía do Guajará (Belém Plano Diretor, 2008).

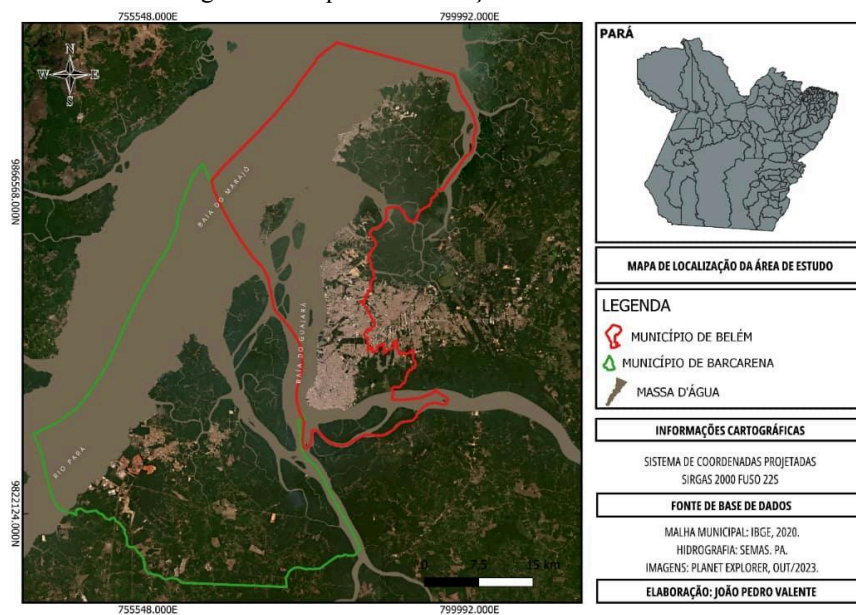
O Polo Industrial do município de Barcarena, no Pará, é muito importante para a economia do município. Ele é seguido pelos negócios de agricultura, pecuária, extrativismo e turismo nas praias do município. O desenvolvimento da atividade agropecuária depende das propriedades e qualidades do solo e da água, ou clima. Portanto, o nível de rendimento das culturas em uma área está relacionado às características genéticas da planta e ao grau de adaptação ao meio ambiente. Os requisitos ambientais das culturas incluem principalmente solo e água (clima), embora esses requisitos variem de cultura para cultura (Barcarena, 2024).

4 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Área de Realização do Estudo

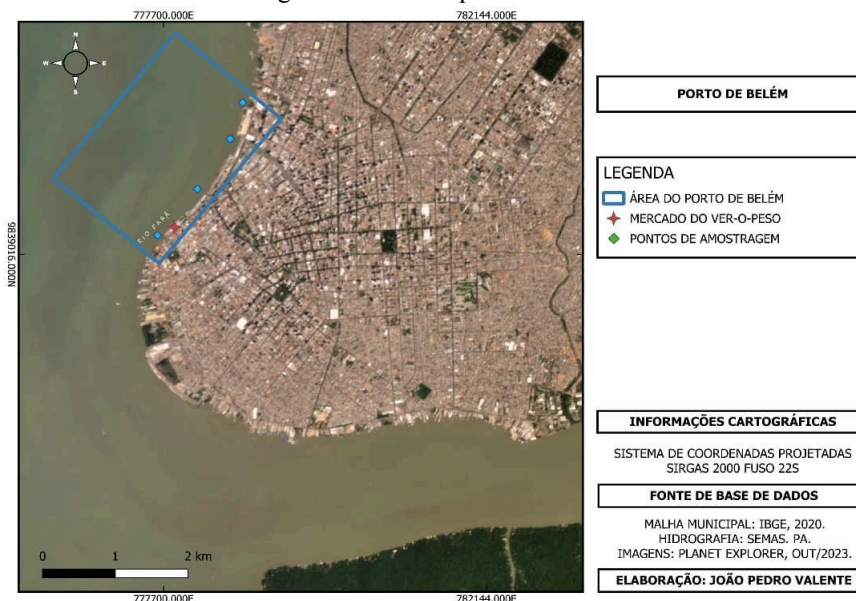
O presente estudo está situado em uma região localizada nos municípios de Belém e Barcarena, mais especificamente nas regiões costeiras, lugar esse com uma grande massa d'água que serve de grande importância para o processo de transporte fluvial, como mostra o mapa de localização, representado pela figura 1, além das áreas portuárias do Porto de Belém, Terminal Portuário de Miramar, Terminal Portuário de Outeiro e Terminal Portuário de Vila do Conde estarem destacados nas figuras 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



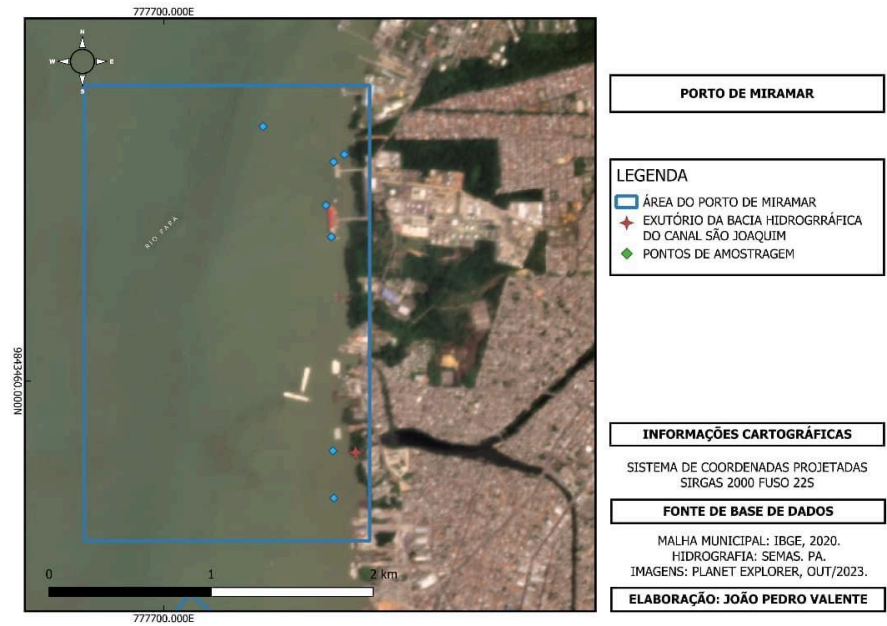
Fonte: Autor.

Figura 2 - Área do porto de Belém



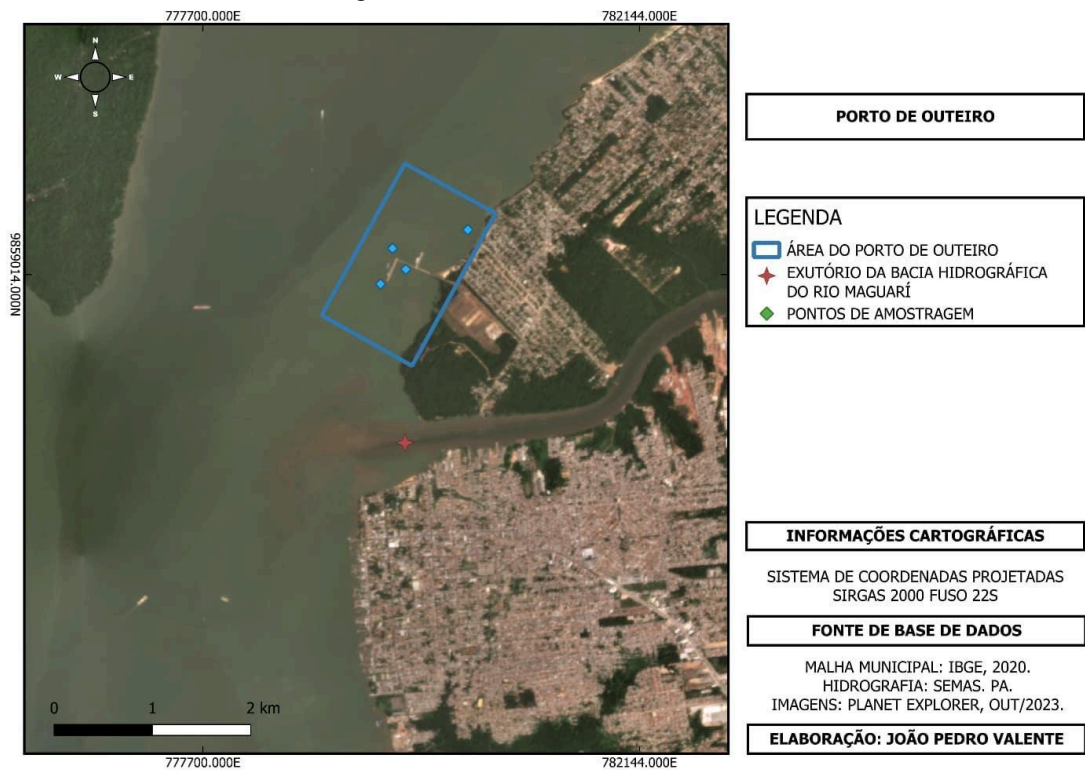
Fonte: Autor.

Figura 3 - Terminal Portuário de Miramar



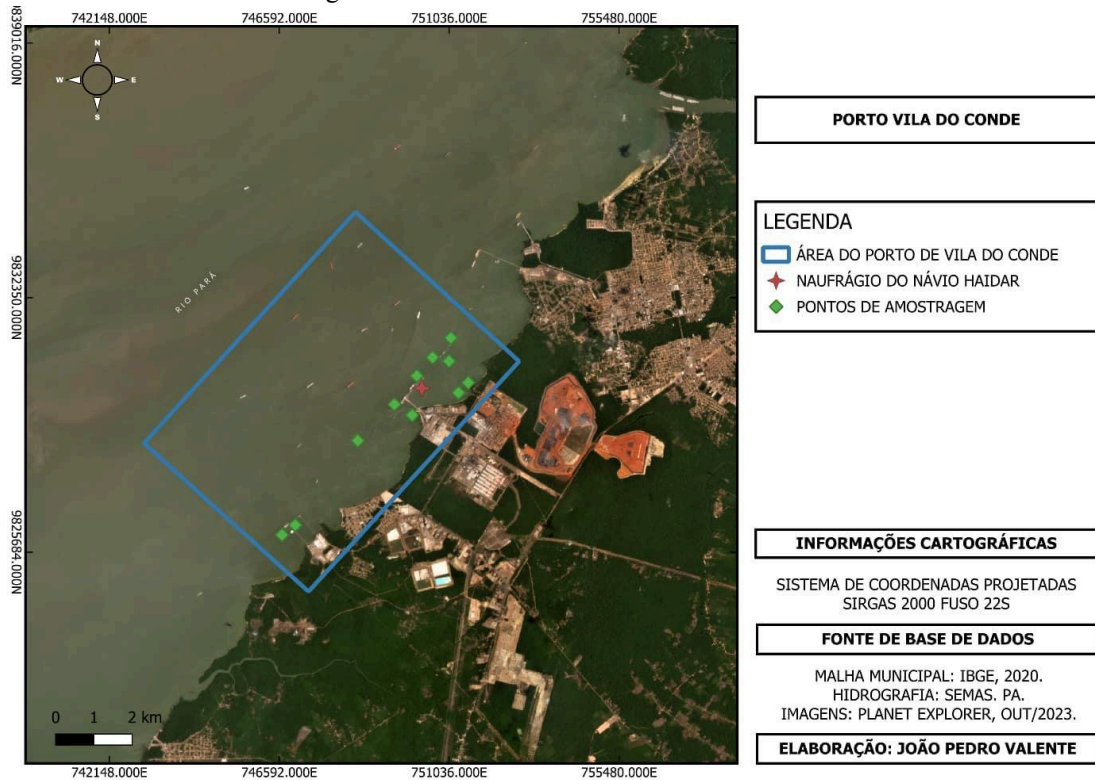
Fonte: Autor.

Figura 4 - Terminal Portuário de Outeiro



Fonte: Autor.

Figura 5 - Terminal Portuário de Vila do Conde



Fonte: Autor.

4.2 Hidrografia

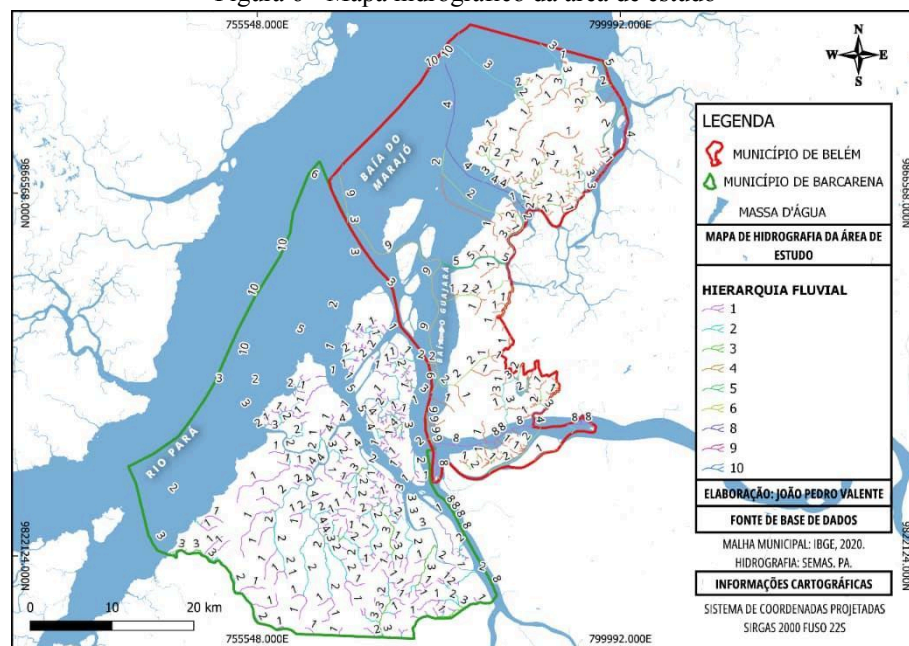
As principais áreas geográficas de Belém são as baías de Marajó no Norte e Guajará no Oeste. O rio Guamá deságua neste último, contribuindo para a formação da península do município (França; Pimentel, 2012). Os igarapés Bacuri, Val-de-Cães e Una, juntamente com o furo do Maguari, responsável pela separação entre a Ilha de Caratateua (Outeiro) e o continente, integram a rede de drenagem que converge para a baía do Guajará. A ilha de Mosqueiro fica em frente à baía do Marajó e sua orla noroeste é composta por praias como Chapéu Virado, Farol, Ariramba, Murubira e várias outras. A baía do Sol e o furo das Marinhas separam esta Ilha do continente. A baía de Santo Antônio localiza-se no espaço geográfico compreendido entre as ilhas de Mosqueiro e Caratateua, configurando-se como um importante elemento da dinâmica hidrográfica e ambiental dessa região (Silva, 2023; Monteiro *et al.*, 2025). Os igarapés Tucunduba e Água Preta desembocam no rio Guamá. Este constitui a fronteira natural com Ananindeua, localizada a sudeste. Três ilhas importantes aparecem na foz do Guamá: Cumbú, do Marinheiro e Grande ou Paulo Cunha (Pará, 2013).

Em relação ao município de Barcarena, a Baía de Marajó é o principal acidente hidrográfico. Com sua maior abertura para o nordeste, ela forma o "Golfo Marajoara" junto

com outras fontes de água (Martins; Mendes, 2011). Entre os diversos canais naturais da região, destaca-se o furo do Arrozal, cuja nascente situa-se na porção meridional do município. Esse curso d'água desempenha papel relevante na configuração territorial ao estabelecer a separação da Ilha de Carnapijó, além de atuar como receptor das águas provenientes dos rios Barcarena e Itaporanga (Jesus, 2022). O município é dividido de sudeste para noroeste pelo rio Furo e pela baía Carnapijó. Como coletor da drenagem da região, a navegabilidade é crucial. O rio Moju, que deságua no rio Acará, é outro curso d'água importante da região. O rio Moju, que deságua no rio Acará, é outro curso d'água importante da região (Matta; Santos, 2002). O Igarapé Cabresto separa o rio Uruenga de Abaetetuba a sudoeste e Moju a sudeste (Pará, 2013).

Um outro fator importante é a questão da hierarquia hidrográfica das redes de drenagem nos municípios, principalmente para identificar os afluentes dos rios principais e as nascentes, como caracteriza o mapa de hierarquia fluvial dos municípios, representado pela figura 6, podendo servir como base de planejamento de proteção para os cursos d'água de ordem 1, que na maioria das vezes são considerados áreas de APP.

Figura 6 - Mapa hidrográfico da área de estudo



Fonte: Autor.

4.3 Geologia

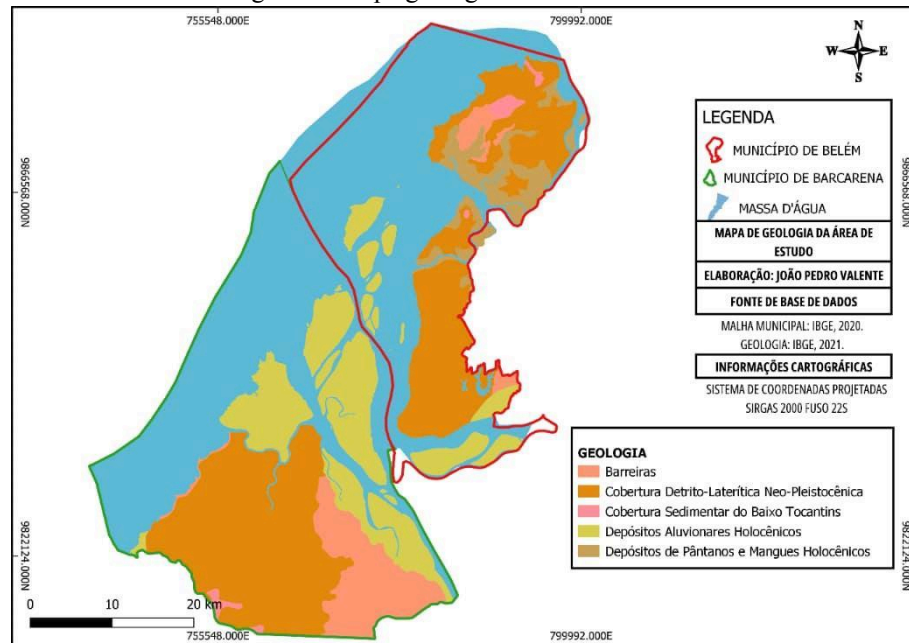
A região territorial do município de Belém é estabelecida por restos da Formação Barreiras e terrenos do Quaternário Sub-atual e do Recente. Analisando a litologia, suas formas de relevo se estabelecem pelos baixos platôs e planícies litorâneas, tendo relação nesse

âmbito, junto com áreas limítrofes, na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado do Amazonas.

Em relação a geologia do município de Barcarena, esta é caracterizada por Rochas sedimentares de formação barreiras (período terciário), estabelecida por arenitos finos, siltitos e argilitos; o período quaternário é originado por extensas áreas de aluviões que se propagam pelas margens dos rios. Constituem a planície de acumulação e está propícia às inundações sazonais (Santos *et al.*, 2011).

Os municípios possuem uma variedade de formações geológicas e bem distribuídas espacialmente, apresentando formações como Barreiras, Cobertura Detrito – Laterítica, Cobertura Sedimentar do Baixo Tocantins e entre outras formações, como mostra o mapa de geologia feito com dados do IBGE representado pela figura 7.

Figura 7 - mapa geológico da área de estudo



Fonte: Autor.

4.4 Geomorfologia

Os estudos relacionados sobre a geomorfologia consistem em identificar e caracterizar as unidades de relevo de acordo com sua distribuição, formas, tipologias e intensidade dos processos geomorfológicos que são responsáveis por esse modelado. A morfodinâmica, os tipos de relevo, a morfografia, a morfometria, a caracterização litológica, a dinâmica superficial e os processos geomorfológicos são os elementos envolvidos nesses estudos (Gomes, 2019).

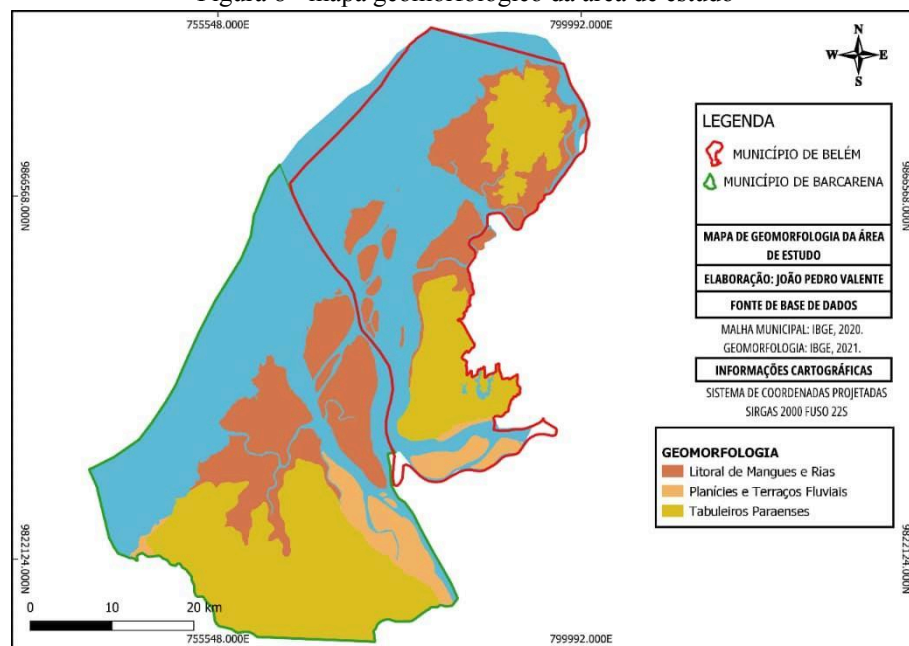
Na região continental do município de Belém, as planícies e os terraços holocênicos são os locais com maior risco de inundação e problemas geotécnicos para a população local e

a construção civil. As planícies cobrem 19% da área em terrenos com cotas entre 0 e 4 metros, enquanto os terraços holocénicos cobrem 35% em terrenos com cotas entre 4 e 8 metros. Os terrenos com altitudes mais altas representam o Terraço Pleistocénico, com 22% da área em áreas entre 8 e 12 metros e 24% em áreas acima de 12 metros (Gomes, 2019).

O município de Barcarena tem a geomorfologia do Planalto Rebaixado da Amazônia, com níveis topográficos pouco elevados, principalmente na região insular que pode estar sujeita às inundações em parte. O relevo é um pouco mais elevado no continente, principalmente no centro do município. Três tipos de relevo podem ser encontrados na região da Vila do Conde: planalto rebaixado (terra firme), planície de inundação (várzea) e planície arenosa (praia) (Rodrigues, 2008).

Além disso, de acordo com dados do IBGE, os municípios podem ser classificados com três tipos de características geomorfológicas como: Litoral de Mangues e Rias, Planícies e Terraços Fluviais, e como Tabuleiros Paraenses, que é a região geomorfológica que onde a área de estudo está situada, como mostra o mapa de geomorfologia, representado pela figura 8.

Figura 8 - mapa geomorfológico da área de estudo



Fonte: Autor.

4.5 Tipo de Vegetação

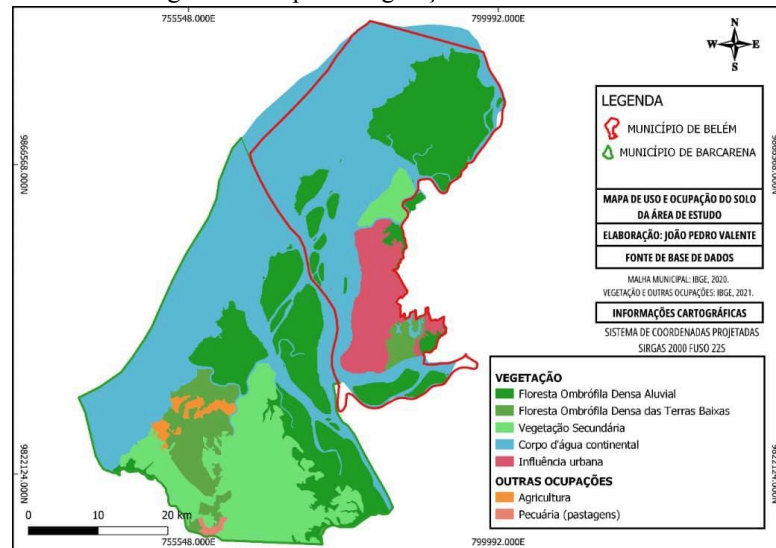
As Florestas Secundárias ou capoeiras substituíram a antiga Floresta Densa dos baixos platôs, que ainda pode ser encontrada em Mosqueiro, Caratateua e áreas adjacentes. O ambiente estuarino caracteriza-se pela coexistência de setores fluviais e semilitorâneos, nos quais predominam formações vegetais típicas de manguezais e siriubais. Em contraste, a

Floresta Ombrófila, adaptada a condições de elevada disponibilidade hídrica, ocupa majoritariamente as faixas marginais dos cursos d'água e as áreas de baixada, onde se desenvolvem, de forma expressiva, comunidades vegetais compostas por estratos herbáceos, subarbustivos e arbustivos, conforme descrito por Pará (2013).

A floresta equatorial subperenifolia e hidrófila de várzea do município de Barcarena estão localizadas às margens dos cursos de água. Além disso, ocorre vegetação secundária (capoeira) causada pela ação antrópica durante atividades agrícolas, madeireiras e extrativas (Pará, 2013).

No geral, os municípios possuem uma grande variedade de espécies de vegetação mesmo havendo um processo de ação antrópica sobre as áreas de florestas, como caracteriza o mapa de vegetação e ocupação do solo da área de estudo, representado pela figura 9.

Figura 9 - Mapa de vegetação da área de estudo



Fonte: Autor.

4.6 Aspectos Climáticos e de Sazonalidade

O clima do município de Belém é quente e úmido, com uma precipitação média anual de 2.834 mm. Em fevereiro, as temperaturas são de 25 °C, enquanto em novembro são de 26 °C. Está localizado na zona climática Af (classificação de Köppen), que corresponde a um clima de floresta tropical, com tempo constante de chuva e nenhuma estação fria; o mês mais quente é sempre acima de 18 °C (Pará, 2013).

O município de Barcarena está classificado na Classificação de Köppen no tipo AM (subtipo da classe de clima tropical chuvoso - úmido). A temperatura média de ar de todos os meses é maior que 18°C (megatérmico) e se destaca pela quantidade média de precipitações no mês mais seco. O município também tem duas estações chuvosas (Verão e Outono) e pelo menos um mês com menos de 60 mm de precipitação (Pará, 2013).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Aquisição dos dados

A área de estudo compreendeu as regiões portuárias administradas pela Companhia Docas do Pará (CDP), localizadas nos municípios de Belém e Barcarena, no estado do Pará. Em Belém, foram abrangidos os terminais portuários da Estação das Docas, do Miramar (próximo ao exutório do Canal São Joaquim) e de Outeiro (próximo à saída da Baía do Guajará, onde a influência de águas oceânicas é mais perceptível). Em Barcarena, o estudo concentrou-se no Porto de Vila do Conde, região de intenso movimento naval e com significativa presença de polos industriais, como a Hydro Alunorte (Almeida; Silva C.; Silva J., 2024).

O ponto de background em Belém foi estabelecido na região de captação de água da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) em funcionamento regulamentado pelo Decreto nº 7.217 de 21 de julho de 2020, e autorizada pela Lei nº 7.060 de 23 de novembro de 2007, que abastece os municípios de Belém e Ananindeua, por representar uma área com baixa influência antrópica e servir como referência para condições naturais (Brasil, 2010; Pará, 2007).

Este estudo insere-se no contexto de uma parceria técnico-científica entre o Instituto Evandro Chagas (IEC) e a Companhia Docas do Pará (CDP), que previa a monitorização ambiental sistemática das águas superficiais, subterrâneas, estações de tratamento de efluentes e redes de abastecimento dos terminais portuários, com fins de atendimento a exigências legais e de licenciamento ambiental por órgãos como ANVISA e Secretaria de Meio Ambiente, Clima e Sustentabilidade (Brasil, 2007; Brasil, 1967; Governo do Estado do Pará, 2025).

Neste contexto, o Instituto Evandro Chagas (IEC) desempenha papel central na pesquisa científica em saúde pública na Amazônia, com foco em doenças tropicais, vigilância epidemiológica e produção de conhecimento voltado à melhoria das políticas de saúde na região (Santos, 2015).

Em outra perspectiva linear o trabalho da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) é de atuar na formulação e execução de políticas ambientais no Pará, promovendo a gestão sustentável dos recursos naturais e a implementação de programas voltados à mitigação das mudanças climáticas e ao fortalecimento da governança ambiental. Assim, ambas instituições se complementam: enquanto o IEC contribui para a saúde coletiva por meio da ciência, a SEMAS garante a proteção ambiental necessária para a qualidade de vida da população (Souza, 2021).

Os pontos monitorados na presente pesquisa estão sendo mais bem descritos na tabela 1 e 2, e também podem ser visualizados no mapa de localização dos pontos de amostragem nos municípios de Belém e Barcarena, representados respectivamente, pela figura 10 e 11.

Tabela 1 - Descrição dos pontos de amostragem

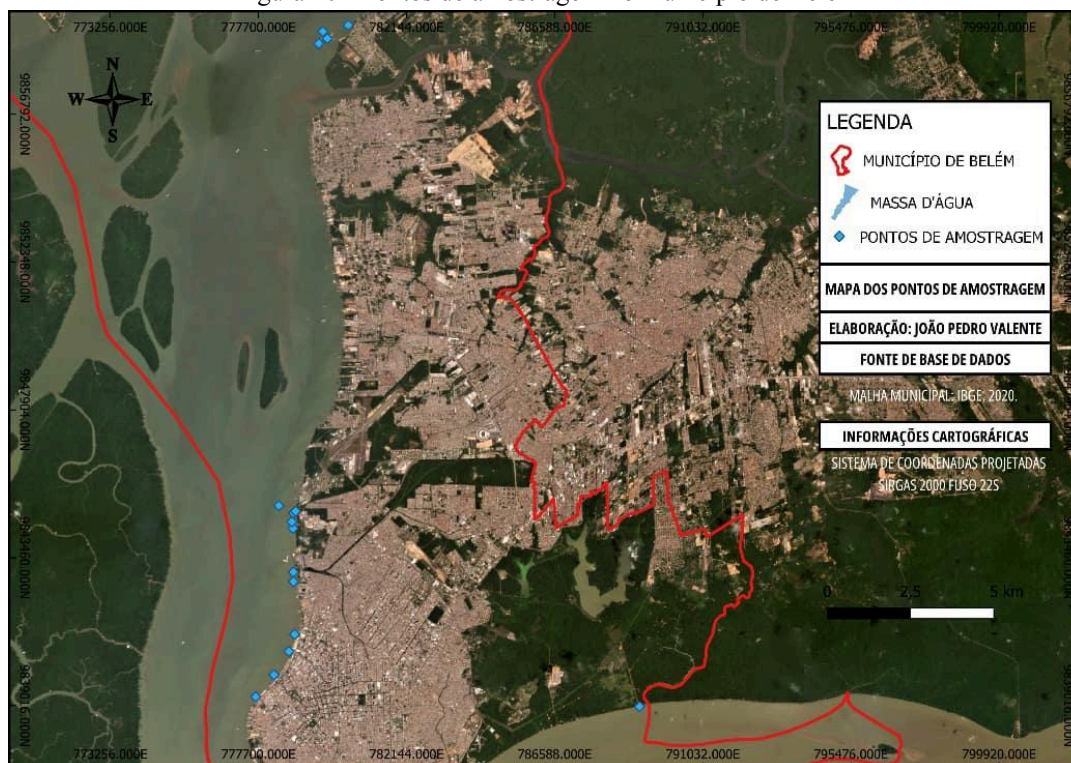
BELÉM				
PONTO	LOCAL DE COLETA	ID. DO PONTO DE COLETA	COORDENADAS	
1	Porto de Belém	BELAS01	01°27'18.9"S	048°24'08.4"W
2	Em Frente ao Armazém 04	BELAS02	01°27'20.5"S	048°30'23.7"W
3	Entre os Armazéns 09 e 11	BELAS03	01°26'59.3"S	048°30'05.8"W
4	Porto de Belém	BELAS04	01°26'31.7"S	048°29'46.8"W
5	Background	BELAS05	01°26'09.8"S	048°29'39.6"W
6	Terminal Petroquímico de Miramar	MIRAS01	01°25'53.3"S	048°29'35.8"W
7	Entre o Pier 100 e Pier 200	MIRAS02	01°25'21.7"S	048°29'39.5"W
8	Terminal Petroquímico de Miramar	MIRAS03	01°24'48.2"S	048°29'41.3"W
9	Background	MIRAS04	01°24'36.1"S	048°29'41.0"W
10	Na direção da ETE	MIRAS05	01°24'04.7"S	048°29'40.7"W
11	Extra MIR 01	EXMIRAS01	01°22'05.5"S	048°29'03.9"W
12	Extra MIR 02	EXMIRAS02		
13	Terminal Portuário de Outeiro	OUTAS01	01°16'29.1"S	048°29'02.4"W
14	Entre o Pier 100 e Pier 200	OUTAS02	01°16'22.7"S	048°28'55.1"W
15	Terminal Portuário de Outeiro	OUTAS03	01°15'39.8"S	048°28'22.5"W
16	CDP Praia Grande - Background	OUTAS04	01°15'21.9"S	048°28'08.7"W

Fonte: Autor.

Os pontos de coleta descritos representam uma rede estratégica de monitoramento ambiental em diferentes terminais portuários da Companhia Docas do Pará (CDP), abrangendo áreas críticas como o Porto de Belém, o Terminal Petroquímico de Miramar e o Terminal Portuário de Outeiro, além de pontos de background que servem como referência comparativa. Cada ponto possui um identificador único e coordenadas geográficas precisas, garantindo rastreabilidade e padronização na coleta de dados. No Porto de Belém, os pontos estão distribuídos em áreas próximas a armazéns e estruturas de carga. Em Miramar, os pontos se concentram em áreas de intenso tráfego de derivados petroquímicos, incluindo locais próximos a píeres e à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), fundamentais para

verificar possíveis contaminações. Já em Outeiro, os pontos de coleta abrangem desde áreas operacionais até zonas de background, permitindo avaliar tanto os efeitos das operações portuárias quanto às condições ambientais naturais da região. Essa disposição espacial assegura uma visão integrada da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, atendendo às exigências de licenciamento ambiental e vigilância sanitária.

Figura 10 - Pontos de amostragem no município de Belém



Fonte: Autor.

A tabela 2 apresenta a descrição dos pontos de amostragem localizados no município de Barcarena, especificamente na área portuária de Vila do Conde, evidenciando a estratégia de monitoramento ambiental aplicada na região. Cada ponto de coleta possui um identificador único, associado às coordenadas geográficas que permitem a rastreabilidade e a precisão espacial das análises. Os locais foram escolhidos de forma a contemplar diferentes situações de influência das atividades portuárias e industriais: pontos a montante e jusante de lançamentos de efluentes, proximidades de píeres de carga e descarga, além de áreas de background que servem como referência comparativa das condições naturais. Essa distribuição espacial garante uma avaliação abrangente da qualidade da água, permitindo identificar potenciais impactos ambientais decorrentes das operações portuárias e subsidiando ações de gestão e licenciamento ambiental.

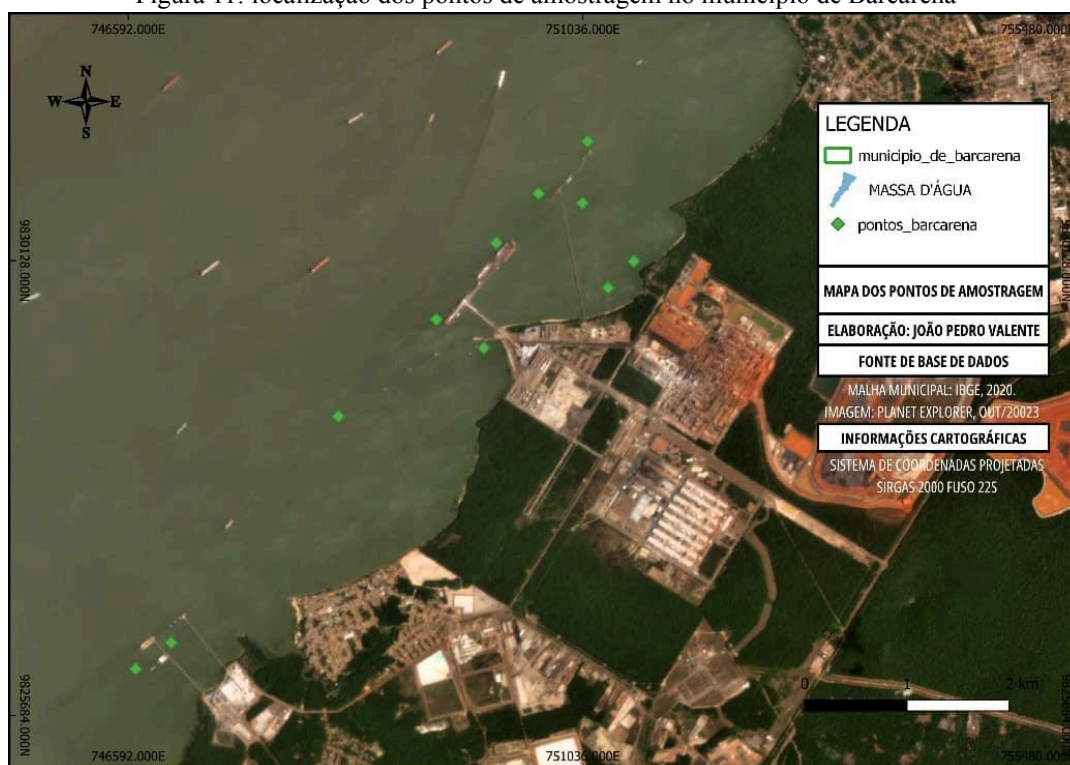
Tabela 2- descrição dos pontos de amostragem no município de Barcarena

VILA DO CONDE				
PONTO	LOCAL DE COLETA	ID. DO PONTO DE COLETA	COORDENADAS	
1	Na direção da rampa	VDCAS01	1°32'42.96 "S	48°45'10.03 "W
2	Jusante do lançamento da ETE	VDCAS02	1°32'04.36 "S	48°44'22.81 "W
3	Montante do TGL	VDCAS03	1°31'39.64 "S	48°44'39.23 "W
4	Jusante do TGL	VDCAS04	1°31'53.63 "S	48°44'53.98 "W
5	Montante do pier 100	VDCAS05	1°32'29.06 "S	48°45'21.46 "W
6	Jusante do pier 400	VDCAS06	1°31'59.55 "S	48°44'58.63 "W
7	Background	VDCAS07	1°32'16.68 "S	48°45'41.63 "W

Fonte: Autor.

A Figura 11 apresenta a localização geográfica dos pontos de amostragem definidos no município de Barcarena, com destaque para a área portuária de Vila do Conde. A disposição espacial dos pontos permite visualizar a abrangência do monitoramento ambiental.

Figura 11: localização dos pontos de amostragem no município de Barcarena



Fonte: Autor.

5.2 Determinação do Período Sazonal

Para atender ao objetivo de identificar os períodos de maior e menor precipitação na região de Belém-Barcarena, foi realizada uma análise sistemática dos dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A investigação concentrou-se em duas estações representativas: Belém (Estação A301) e Barcarena (Estação A302), considerando a homogeneidade climática da região metropolitana de Belém.

Os dados diários de precipitação foram processados e agregados em totais mensais, permitindo a identificação da variabilidade intrasazonal e interanual. A análise considerou tanto os valores absolutos quanto às anomalias em relação à média climatológica de longo prazo (1991-2020), fornecendo uma perspectiva normalizada do comportamento pluviométrico.

A análise dos dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia para a região de Belém-Barcarena, no período compreendido entre outubro de 2021 e outubro de 2023, revela uma clara distinção entre os períodos de máxima e mínima pluviosidade, seguindo o padrão sazonal característico da Amazônia Oriental, porém com intensificações notáveis em determinados intervalos. Considerando a série histórica analisada, o mês de março de 2022 configurou-se inequivocamente como o período de maior precipitação, atingindo um pico excepcional em ambas as localidades. Em Belém, os acumulados pluviométricos desse mês superaram os 640 milímetros, enquanto em Barcarena registraram-se valores acima de 710 milímetros, representando anomalias positivas de mais de 40% em relação à média climatológica de longo prazo. Este período foi marcado por uma frequência quase diária de chuvas, com eventos intensos e bem distribuídos ao longo do mês, consolidando o tradicional pico da estação chuvosa regional, que se estende de dezembro a maio.

Em posição diametralmente oposta, o período de menor precipitação ocorreu de forma mais concentrada e severa em novembro de 2022, que se destacou como o mês mais seco do biênio investigado. Neste intervalo, os totais pluviométricos despencaram para aproximadamente 70 milímetros em ambas as cidades, configurando um déficit pluviométrico superior a 60% quando comparado às normais climatológicas. Este mês foi caracterizado por uma sequência prolongada de ausência de chuvas significativas, com mais de duas semanas consecutivas sem precipitação mensurável, um fenômeno particularmente relevante para uma região tradicionalmente úmida. O período seco, que normalmente se estende de outubro a dezembro, manifestou-se com particular intensidade nesse ano, criando um contraste marcante com a exuberância pluviométrica observada apenas alguns meses antes.

A transição entre esses extremos não foi abrupta, mas seguiu a lógica da variabilidade climática regional, com o período chuvoso subsequente a março de 2022 mantendo-se elevado até maio, e uma recuperação gradual da pluviosidade a partir de dezembro de 2022. É importante notar que, mesmo dentro da estação seca, outubro de 2022 e setembro de 2023 também apresentaram acumulados pluviométricos bastante reduzidos, reforçando a caracterização desse trimestre como o de menor disponibilidade hídrica atmosférica. Por outro lado, além do pico absoluto de março de 2022, os meses de fevereiro e março de 2023 confirmaram-se como períodos consistentemente chuvosos, embora sem alcançar a magnitude excepcional do ano anterior. Esta dinâmica entre extremos úmidos e secos, separados por intervalos de aproximadamente oito meses, ilustra não apenas a sazonalidade esperada, mas também a intensificação de eventos nos limites dessa variabilidade natural, oferecendo um quadro de referência essencial para a compreensão do comportamento climático recente nesta parcela significativa da Amazônia brasileira, em síntese, com base nos dados obtidos pelo Instituto, a tabela 3 abaixo mostra a divisão sazonal por grupos mensais referente ao período de menos chuvas e mais chuvas na área de estudo dentro do período da coleta dos dados.

Tabela 3 - período de menos chuvas e mais chuvas

Grupo	Período Contínuo	Classificação Pluviométrica	Observação Chave
A	Out-Nov/2021	Transição Seca-Úmida	Início da análise, chuvas em ascensão
B	Dez/2021 - Mai/2022	Período MAIS CHUVOSO (1º ciclo)	Contém o mês mais chuvoso (Mar/2022)
C	Jun-Ago/2022	Transição Úmida-Seca	Declínio gradual da precipitação
D	Set-Nov/2022	Período MAIS SECO	Contém o mês mais seco (Nov/2022)
E	Dez/2022-Mai/2023	Período MUITO CHUVOSO (2º ciclo)	Contém o 2º mês mais chuvoso (Fev/2023)
F	Jun-Out/2023	Transição Úmida - Seca Final	Contém o mês mais seco (Set/2023)

Fonte: Dados da pesquisa.

5.3 Equipamentos Utilizados

As campanhas de amostragem foram realizadas mensalmente, com um dia dedicado à região de Belém e outro à região de Barcarena. Em cada dia, foram realizadas duas coletas por ponto, contemplando os ciclos de maré cheia e vazante.

No campo, foram utilizados os seguintes equipamentos e procedimentos conforme descritos por Matos (2015):

- Sonda multiparamétrica: para medição in situ de pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), temperatura e salinidade.
- Turbidímetro: para medição da turbidez.
- Termômetro de campo: para controle de temperatura ambiental e da água.
- Frascos estéreis e câmaras frias: para armazenamento e transporte das amostras sob refrigeração (4°C).

Foram adotados protocolos de campo e demais procedimentos de controle de qualidade, em conformidade com a ISO/IEC 17025.

5.4 Amostragem

5.4.1 Parâmetros Físico-Químicos

As amostras de água destinadas à determinação dos parâmetros físico-químicos foram coletadas em frascos de polipropileno com capacidade volumétrica de 1 litro, previamente higienizados e adequados para esse tipo de análise. Após a coleta, os recipientes foram devidamente vedados, identificados e acondicionados em caixas isotérmicas contendo gelo, com o objetivo de preservar as características originais da amostra e minimizar possíveis alterações físico-químicas durante o transporte. Em seguida, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente (SAMAM) do Instituto Evandro Chagas (IEC), onde foram realizadas as análises laboratoriais correspondentes, todo o procedimento é orientado segundo o IEC (2023).

5.4.2 Parâmetros Microbiológicos

Para a avaliação dos parâmetros microbiológicos da água, incluindo a quantificação de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em 100 ml de amostra, foram utilizados frascos de polipropileno previamente esterilizados, com volume de 250 ml. Os procedimentos de coleta, preservação e transporte seguiram rigorosamente as recomendações estabelecidas pela norma ISO 5667-14, pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Apha/Awwa/Wef, 2017) e pelas diretrizes da CETESB (1986).

Durante a coleta, os frascos foram posicionados de forma que a abertura permanecesse orientada em sentido oposto ao fluxo da água, reduzindo o risco de contaminação externa.

Além disso, foi mantido um espaço livre no interior dos frascos, permitindo a adequada homogeneização da amostra no momento da análise laboratorial. Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas isotérmicas contendo gelo reciclável e transportadas ao Laboratório de Microbiologia Ambiental da SAMAM/IEC/SVS, localizado no município de Ananindeua, estado do Pará. O intervalo entre a coleta e o início das análises laboratoriais não ultrapassou 4 horas em nenhuma das amostras, assegurando a confiabilidade dos resultados microbiológicos obtidos.

5.5 Parâmetros Analisados e Métodos Laboratoriais

5.5.1 Parâmetros Físico-Químicos

A determinação dos parâmetros físico-químicos da água foi realizada por meio de análises *in situ* e laboratoriais, de acordo com a natureza de cada variável. As medições de pH, condutividade elétrica, temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido e salinidade foram efetuadas diretamente no local de coleta, utilizando-se uma sonda multiparamétrica *HANNA®* modelo HI769828. O equipamento foi previamente calibrado conforme as especificações do fabricante, assegurando a confiabilidade e a precisão dos resultados obtidos. As análises basearam-se no princípio da potenciometria e em sensores específicos acoplados à sonda, permitindo a obtenção simultânea e imediata dos parâmetros avaliados, reduzindo interferências decorrentes do transporte e armazenamento das amostras (Pena; Brota, 2018).

As variáveis turbidez, sólidos totais em suspensão (STS), cor verdadeira e demanda química de oxigênio (DQO) foram determinadas em laboratório por meio da técnica de espectrofotometria, utilizando o espectrofotômetro DR3900 da *HACH®*. Para essas análises, as amostras foram previamente preparadas conforme os procedimentos padronizados, incluindo etapas de filtração, digestão e reação com reagentes específicos, quando aplicável. A leitura das absorbâncias foi realizada em comprimentos de onda característicos para cada parâmetro, permitindo a quantificação a partir de curvas de calibração previamente estabelecidas (Donagemma *et al.*, 2010).

A determinação dos íons nitrito (N-NO_2^-), nitrato (N-NO_3^-), nitrogênio amoniacal (N-NH_3), sulfato (SO_4^{2-}) e fósforo total foi realizada por cromatografia de íons, utilizando o sistema ICS2000 DUAL (*Dionex®*, EUA). As amostras foram submetidas a procedimentos adequados de preparo, incluindo filtração e, quando necessário, diluição, visando evitar interferências e garantir a adequada separação cromatográfica. A quantificação dos analitos foi realizada por comparação das áreas dos picos cromatográficos com padrões analíticos certificados, assegurando elevada sensibilidade e seletividade do método (Batista, 2025).

As análises de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foram conduzidas pelo método manométrico/respirométrico, utilizando o equipamento *BODTrak™ da HACH®*. Este método baseia-se na medição da variação da pressão em um sistema fechado, resultante do consumo de oxigênio pelos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica biodegradável presente na amostra, ao longo do período de incubação padronizado (Schulz *et al.*, 2014).

Todos os métodos analíticos empregados na determinação dos parâmetros físico-químicos seguiram rigorosamente os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Apha/Awwa/Wef, 2017), bem como as orientações técnicas do *Procedures Manual da HACH®* para o espectrofotômetro DR3900, garantindo a padronização, reprodutibilidade e validade dos resultados obtidos.

5.5.2 Parâmetros Microbiológicos

A avaliação microbiológica da água foi realizada por meio da determinação do Número Mais Provável (NMP/100 mL) de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, utilizando o método de substrato cromogênico *COLILERT® 18* com sistema *Quanti-Tray®*, desenvolvido pela IDEXX Laboratories, Inc.©. O procedimento baseia-se na reação específica entre os microrganismos-alvo e substratos cromogênicos e fluorogênicos presentes no meio, permitindo a identificação e quantificação simultânea dos grupos bacterianos analisados (Martins; Resende, 2020).

As amostras foram homogeneizadas, inoculadas com o reagente *COLILERT® 18* e distribuídas nas cavidades das bandejas *Quanti-Tray®*, que foram seladas e incubadas em temperatura controlada pelo período recomendado pelo fabricante. Após a incubação, a leitura dos resultados foi realizada pela observação da mudança de coloração e da fluorescência sob luz ultravioleta, sendo os valores de NMP determinados a partir de tabelas padronizadas fornecidas pelo método (Silva *et al.*, 2019).

Os procedimentos adotados seguiram rigorosamente as recomendações do fabricante e as diretrizes estabelecidas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Apha/Awwa/Wef, 2017), assegurando a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados microbiológicos.

Os dados obtidos foram organizados e analisados por meio de estatística descritiva, utilizando-se média e desvio padrão para cada conjunto amostral. O tratamento estatístico foi realizado com o auxílio do software *Microsoft Excel 2007* (Microsoft®, 2007), permitindo a sistematização e interpretação dos resultados obtidos ao longo do estudo.

5.6 Estatística Descritiva

Os dados obtidos nas campanhas de monitoramento foram compilados em planilha eletrônica e submetidos a análise estatística descritiva e exploratória, com o objetivo de caracterizar o comportamento espacial e temporal dos parâmetros de qualidade de água nas áreas portuárias de Belém e Barcarena referente aos pontos contemplados no estudo. Para isso, foram calculadas medidas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão, valores mínimo e máximo), além da contagem de observações válidas (n) para cada variável. A análise considerou a totalidade dos pontos amostrados, bem como a segregação por campanha, ciclo de maré e localização (montante/jusante/background), quando aplicável.

O presente estudo avaliou a consistência e completude dos dados de monitoramento ambiental obtidos através de campanhas sistemáticas de coleta realizadas entre outubro de 2021 e julho de 2023.

No ano de 2021 analisou-se 24 amostras coletadas no período de menos chuvas e 14 no período de mais chuvas, totalizando 38 análises para este ano.

No ano de 2022 intensificou-se as análises, que no período de menos chuvas verificou-se 84 (oitenta e quatro) amostras e para o período de mais chuvas foi de 74 (setenta e quatro) que totalizou 158 registros para o ano de 2022.

Para o ano de 2023 analisou-se 60 (sessenta) amostras coletadas no período de menos chuvas e 70 (setenta) no período de mais chuvas totalizando 130 (cento e trinta) verificações para este ano. Com o total de 21 (vinte e um) meses de acompanhamento e 326 (trezentos e vinte e seis) amostras coletadas e analisadas na presente pesquisa.

Este período extenso de monitoramento permitiu uma avaliação abrangente da qualidade dos dados gerados, identificando tanto os pontos fortes quanto as lacunas existentes no programa de monitoramento. As análises focaram-se em parâmetros físico-químicos e microbiológicos essenciais para a caracterização da qualidade de águas superficiais em ambientes portuários e industriais.

5.7 Teste de Tukey

Os dados obtidos nas análises físico-químicas e microbiológicas da água foram submetidos a tratamento estatístico com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre os parâmetros avaliados em função dos regimes de maré enchente e vazante. Inicialmente, os conjuntos de dados foram organizados e submetidos à análise de variância (ANOVA), procedimento estatístico amplamente utilizado para avaliar se médias provenientes de diferentes condições experimentais pertencem ou não a uma mesma população estatística (Iamanaka *et al.*, 2021)

A análise de variância foi empregada para testar a hipótese nula de que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias dos parâmetros de qualidade da água observadas nos diferentes regimes de maré, considerando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Quando atendidos os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias, a ANOVA permitiu avaliar a influência do ciclo de maré sobre cada variável analisada (Pagotto; Rodrigues, 2020).

Posteriormente, como procedimento complementar à ANOVA, foi aplicado o teste de comparação múltipla de médias de *Tukey* (Teste de *Tukey HSD – Honestly Significant Difference*), ao nível de 5% de probabilidade. Esse teste tem como finalidade identificar diferenças específicas entre pares de médias, controlando o erro do tipo I associado a múltiplas comparações, sendo especialmente indicado para experimentos com dois ou mais tratamentos ou condições de análise, como no presente estudo (Ferreira, 2025).

No contexto desta pesquisa, o teste de *Tukey* foi utilizado para comparar as médias dos parâmetros de qualidade da água entre os regimes de maré enchente e vazante conforme descrito por Freitas (2024), permitindo verificar se eventuais variações observadas eram estatisticamente significativas ou apenas decorrentes da variabilidade natural do sistema. Os resultados do teste foram expressos por meio de letras associadas às médias, de modo que médias seguidas pela mesma letra indicam ausência de diferença estatística significativa entre si ($p > 0,05$).

A aplicação desse procedimento estatístico possibilitou uma interpretação mais robusta e objetiva dos dados, fornecendo subsídios para avaliar a influência do regime de maré sobre a qualidade físico-química e microbiológica da água, bem como para identificar padrões de homogeneidade ou variação associados à dinâmica hidrodinâmica do ambiente estudado.

5.8 Normas e Padrões a Serem Atendidos

A legislação vigente no Brasil que trata da qualidade das águas superficiais é a Resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, cujos valores recomendáveis e máximos permitidos encontram-se dispostos nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Valores recomendáveis e máximos, de parâmetros Físico-Químicos, permitidos pela resolução CONAMA nº 357/2005.

Parâmetros Físicos-Químicos	Unidade	Resolução N°357/05
Potencial hidrogeniônico – pH	-	6 – 9,0
Temperatura	°C	Amb.
Condutividade	µS/cm²	-
Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)	mg/L	500
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	≥ 5
Turbidez	UNT	100
Cor Verdadeira	mg PtCo/L	75
Sulfato	mg/L	250
Fósforo Total	mg/L	0,1
Salinidade	PSU	-

3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5.

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 5 - Valores recomendáveis e máximos, de parâmetros microbiológicos, permitidos pela resolução CONAMA nº 357/2005

Parâmetros Microbiológicos	Unidade	Resolução N° 357/05
Coliformes Totais	NMP/100mL	Não se aplica
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000 (água doce – Classe 2)
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	Não se aplica

Fonte: Dados da pesquisa

6 RESULTADOS

6.1 Estatísticas Descritivas

A análise descritiva dos dados, representada pelas Tabelas 6, 7, 8 e 9 e pelos gráficos de Boxplot (Figura 8), permitiu caracterizar o comportamento espacial e sazonal dos parâmetros de qualidade da água nos terminais portuários estudados. Durante o período de maior precipitação (Tabela 6 e 7), os valores médios de pH variaram entre 5,67 (Porto de Belém) e 6,73 (Porto de Vila do Conde), indicando tendência à acidez, com maior variabilidade observada no Porto de Belém (desvio padrão – DP = 0,65). No período de menor precipitação (Tabela 8 e 9), o pH manteve-se em faixa semelhante, com médias entre 5,72 (Belém) e 6,38 (Outeiro e Vila do Conde), porém com maior amplitude de variação, especialmente em Belém (mínimo de 3,71).

A temperatura da água apresentou pequena variação sazonal, com médias próximas a 29 °C em ambos os períodos, refletindo a estabilidade térmica característica do clima equatorial. As verificações no período de menos chuvas, a temperatura manteve-se quase inalterada para o período, com maior ocorrência de elevação da mesma. Para o período de mais chuvas detectou-se variações na temperatura muito diferentes, embora a incidência tende a baixar a temperatura no qual verificou-se 26 °C como a menor, diferentemente no ano de 2023 houve elevação para 31 °C e assim percebe-se a disparidade em relação ao período de mais chuvas.

A condutividade elétrica (CE) e os sólidos totais dissolvidos (STD) exibiram aumento expressivo no período seco, especialmente no Porto de Outeiro e Vila do Conde, onde a CE atingiu média de 502,14 $\mu S\ cm^{-1}$ (máximo de 3.374 $\mu S\ cm^{-1}$) e o STD 251,50 mg L⁻¹ (máximo de 1.687 mg L⁻¹), sugerindo maior concentração de íons e possível influência de aportes salinos ou efluentes concentrados. No período chuvoso, esses valores foram inferiores, com CE média de 72,22 $\mu S\ cm^{-1}$ e STD de 36,39 mg L⁻¹ no Porto de Outeiro.

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou médias entre 4,23 e 5,22 mg L⁻¹, com valores mínimos críticos próximos a 0,01 mg L⁻¹ em alguns pontos no período seco, indicando situações pontuais de hipóxia. A turbidez e os sólidos totais suspensos (STS) foram mais elevados no período chuvoso, com médias de até 62,28 NTU e 30,30 mg L⁻¹ no Porto de Belém, refletindo o carreamento de material particulado pela precipitação. No período seco, a turbidez diminuiu, com médias entre 35,16 e 49,29 NTU. A cor verdadeira (CV) seguiu comportamento semelhante, com valores mais altos no período chuvoso.

Os indicadores microbiológicos revelaram contaminação generalizada e elevada. No período chuvoso, as médias de coliformes totais variaram de 4.628 NMP/100 mL (Vila do Conde) a 127.297 NMP/100 mL (Miramar). No período seco, mantiveram-se elevadas, com destaque para Belém (75.432 NMP/100 mL) e Miramar (72.764 NMP/100 mL). Coliformes termotolerantes e *E. coli* também apresentaram concentrações altas, com máximos superiores a 240.000 NMP/100 mL em vários pontos, indicando contaminação fecal significativa e persistente ao longo do ano.

Os boxplots (Figura 8) ilustram a distribuição dos dados, destacando a presença de valores extremos (*outliers*) em vários parâmetros, especialmente condutividade, turbidez e indicadores microbiológicos, reforçando a ocorrência de eventos pontuais de degradação da qualidade da água.

A análise sazonal revelou padrões distintos para parâmetros relacionados ao transporte de materiais. A turbidez, conforme os dados da Tabela 6 e 7, apresentou seus valores médios mais elevados no período chuvoso, com 62,28 NTU no Porto de Belém e 57,11 NTU no Porto de Miramar. Essa elevação está diretamente associada ao maior aporte de partículas em suspensão provenientes da drenagem superficial e da erosão das margens. No período de menor precipitação (Tabela 8 e 9), a turbidez média reduziu-se para 49,29 NTU em Belém e 46,57 NTU em Miramar, indicando uma menor mobilização de sedimentos. No entanto, os gráficos de Boxplot (Figura 12) demonstram que, mesmo no período seco, ocorreram picos isolados de turbidez (valores máximos acima de 110 NTU), possivelmente relacionados a operações portuárias ou a eventos de mistura por embarcações.

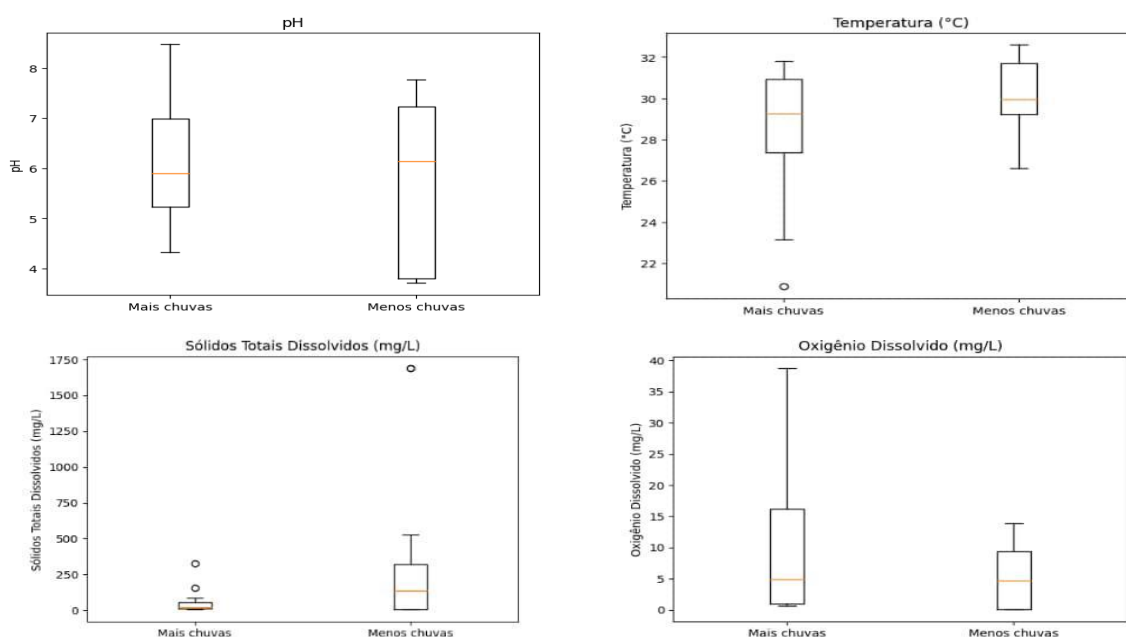
O comportamento da cor verdadeira seguiu tendência semelhante à turbidez, com médias superiores no período chuvoso, atingindo 50,34 mg Pt/L em Belém e 50,21 mg Pt/L em Miramar (Tabela 6 e 7). Essa correlação sugere que a coloração da água está majoritariamente associada à presença de matérias orgânicas dissolvidas e partículas finas carregadas pela precipitação. No período seco (Tabela 8 e 9), observou-se uma diminuição geral nas médias, com destaque para o Porto de Vila do Conde, onde a cor verdadeira média foi de 29,14 mg Pt/L. A redução na cor e na turbidez no período seco reflete a menor influência do escoamento superficial e uma possível sedimentação do material particulado mais grosso.

Os parâmetros de salinidade e sulfato exibiram uma clara tendência de aumento no período de estiagem, especialmente nos portos mais expostos à influência estuarina.

Conforme a Tabela 6 e 7, no Porto de Outeiro e Vila do Conde, a salinidade média no período seco foi de 0,25, com valor máximo de 1,75, enquanto a média de sulfato atingiu 12,66 mg/L, com pico de 87,22 mg/L. Esses valores são significativamente superiores aos observados no período chuvoso (Tabela 6 e 7), onde a salinidade média no mesmo local foi de 0,03 e o sulfato de 2,35 mg/L. Esse padrão indica uma maior intrusão de água salobra ou marinha durante a estação seca, quando a vazão dos rios diminui, reduzindo o efeito de diluição. Nos portos localizados no interior do sistema (Belém e Miramar), essa variação foi menos pronunciada, mas ainda perceptível.

Por último, a análise dos indicadores microbiológicos por porto revelou uma contaminação ubíqua, mas com intensidades distintas. De acordo com a Tabela 6 e 7, no período chuvoso, o Porto de Miramar apresentou as maiores médias para coliformes totais (127.297 NMP/100 mL) e termotolerantes (39.466 NMP/100 mL), sugerindo uma forte influência de fontes poluidoras próximas. Já no período seco (Tabela 8 e 9), o Porto de Belém passou a registrar as maiores médias de coliformes termotolerantes (34.874 NMP/100 mL). O Porto de Vila do Conde, por sua vez, destacou-se por ter as menores contagens médias de *E. coli* em ambos os períodos, embora ainda em níveis altos (média de 12 NMP/100 mL no chuvoso e 1.924 NMP/100 mL no seco). Os *boxplots* (Figura 12) para estes parâmetros confirmam a ampla dispersão dos dados e a frequente ocorrência de valores extremamente elevados (outliers), sublinhando a variabilidade e a gravidade da contaminação fecal em todos os locais estudados, sem uma clara relação com a sazonalidade das chuvas.

Figura 12 - Gráficos de *Boxplot* de valores máximos, médios e mínimos



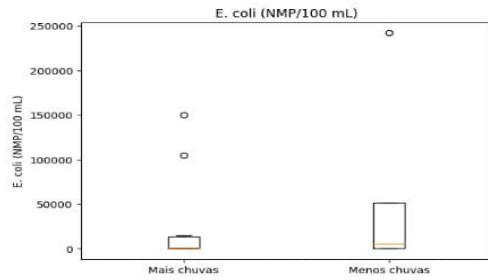
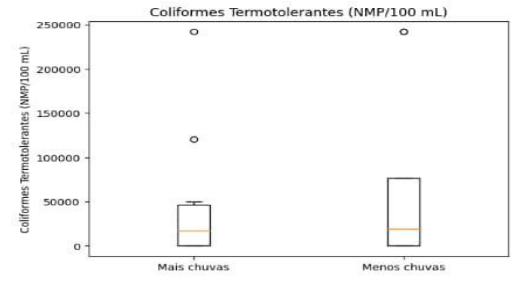
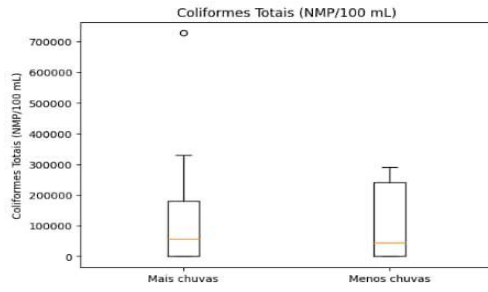
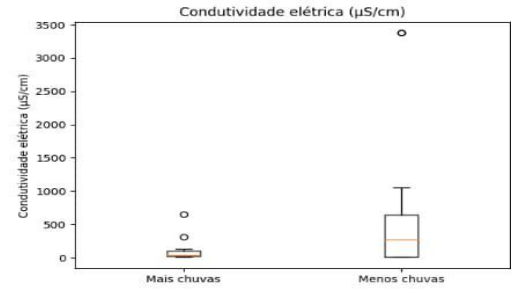
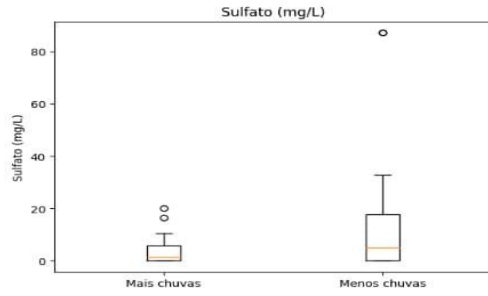
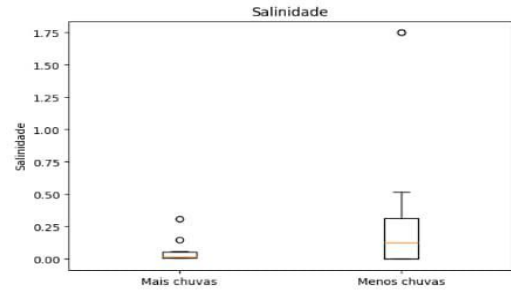
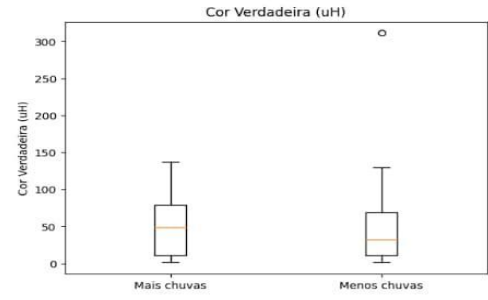
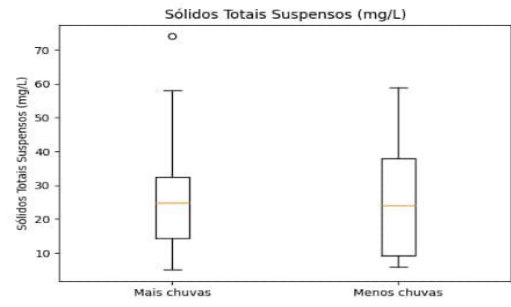
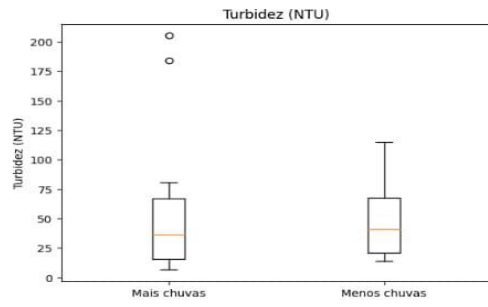


Tabela 6 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de mais chuvas nas áreas de estudos

(continua)

PORTOS:	BELÉM				MIRA MAR				OUTEIRO			
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD
pH	5,67	7,68	4,32	0,65	5,75	6,96	4,46	0,52	6,06	7,10	4,64	0,59
Temperatura	29,13	31,82	23,16	1,24	29,17	31,37	26,00	1,17	29,33	31,40	27,85	0,77
Condutividade e Elétrica	30,40	93,00	9,00	16,01	38,03	315,00	11,00	32,03	72,22	650,00	11,00	140,13
STD	15,83	47,00	6,00	7,70	19,54	157,00	8,00	15,80	36,39	325,00	8,00	68,22
OD	4,74	38,72	0,59	4,44	4,53	19,08	0,99	2,90	5,22	22,05	1,00	3,68
Turbidez	68,28	184,00	16,10	32,38	57,11	205,00	22,40	23,74	43,62	80,80	14,20	13,60
STS	30,30	74,00	6,00	13,68	28,59	58,00	15,00	9,65	25,58	38,50	15,00	7,00
Cor Verdadeira	50,34	86,00	11,00	15,81	50,21	137,00	9,00	18,59	47,37	96,00	1,00	20,03
Salinidade	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,15	0,01	0,02	0,03	0,31	0,01	0,07

(conclusão)

PORTOS:	BELÉM				MIRA MAR				OUTEIRO			
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD
Sulfato	1,13	4,36	0,00	0,8 6	1,30	10,45	0,00	1,19	2,35	20,14	0,00	4,42
Coliformes Totais	92.96 4	330.000	100	70. 046	127.2 97	727.000	1.000	105.027	22.872	160.000	1.236	29.132
Coliformes Tolerantes	26,19 8	120,730	1	22, 129	39,46 6	241,960	1	43,125	8,004	50,000	209	11,891
E Coli	9.449	104.620	1	14. 889	12.87 8	150.000	1	22.594	1.499	14.400	1	2.956

Fontes: Dados da pesquisa

Tabela 7 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de mais chuvas no Porto de Vila do Conde
(continua)

PORTO		VILA	DO	CONDE
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD
pH	6,73	8,47	5,43	0,69
Temperatura	29,37	30,77	20,86	0,86
Condutividade Elétrica	50,35	128,00	26,00	16,31
STD	27,02	85,00	13,00	9,89
OD	5,14	15,21	0,96	3,48
Turbidez	15,51	29,30	6,58	5,48
STS	12,51	24,00	5,00	4,40
Cor Verdadeira	38,33	77,00	2,00	18,79
Salinidade	0,02	0,06	0,01	0,01
Sulfato	1,69	16,49	0,01	1,90
Coliformes Totais	4.628	241.961	36	26.460
Coliformes Tolerantes	644	44,834	2	4,859

(conclusão)				
PORTO	VILA		DO	CONDE
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD
<i>E Coli</i>	12	88	1	13

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 8 -Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de menos chuvas nas áreas de estudos

(continua)

PORTOS:	BELÉM				MIRA		MAR		OUTEIRO			
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD
pH	5,72	7,77	3,71	0,87	5,90	7,13	3,72	0,73	6,38	7,53	3,80	0,61
Temperatura	29,92	32,42	28,30	0,60	29,94	31,48	26,60	0,58	29,94	32,59	29,22	0,46
Condutivida de Elétrica	63,92	424,00	7,00	79,23	116,66	1.055,00	10,00	185,54	502,14	3.374,00	12,00	669, 24
STD	32,34	212,00	4,00	39,48	57,91	527,00	5,00	91,06	251,50	1.687,00	6,00	334, 30
OD	4,23	13,92	0,01	1,99	4,41	9,88	0,01	1,98	4,90	9,38	0,01	2,03
Turbidez	49,29	111,00	13,90	19,84	46,57	115,00	22,40	17,40	35,16	67,60	16,80	12,2 7

(continuação)

PORTOS:	BELÉM				MIRA		MAR		OUTEIRO			
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD
STS	26,30	59,00	7,00	10,64	26,14	53,00	10,00	9,94	21,67	38,00	6,00	6,87
Cor Verdadeira	35,28	130,00	12,00	15,56	36,11	311,00	7,00	27,40	29,14	69,00	1,00	14,42
Salinidade	0,03	0,20	0,00	0,04	0,05	0,52	0,00	0,09	0,25	1,75	0,00	0,34

(conclusão)

PORTOS:		BELÉM				MIRA MAR				OUTEIRO		
Parâmetros	MÉD	MÁX	MI N	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD	MÉD	MÁX	MIN	SD
Sulfato	2,01	6,65	0,1 0	1,68	3,58	32,91	0,00	5,48	12,66	87,22	0,13	16,62
Coliformes Totais	75.432, 47	290.000,0 0	1,0 0	70.370 ,48	72.76 3,60	241.960 ,00	1.396, 00	68.38 6,70	14.997,2 5	241.960,0 0	160,0 0	33.880,4 0
Coliformes Tolerantes	34.874, 34	241.960,0 0	1,0 0	38.646 ,81	33.87 4,80	241.960 ,00	243,00	39.66 8,83	4.980,77	77.010,00	1,00	11.084,7 7
<i>E Coli</i>	9.363,9 7	51.720,00	0,0 0	9.810, 72	12.10 0,93	241.960 ,00	0,00	25.67 0,81	1.924,19	51.720,00	0,00	7.164,04

Fontes: Dados da pesquisa

Tabela 9 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do período de menos chuvas no Porto de Vila do Conde
(continua)

PORTO	VILA		DO	CONDE
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD
pH	6,74	9,96	5,39	0,70
Temperatura	30,13	31,14	28,99	0,29
Condutividade Elétrica	47,97	139,00	21,00	13,61
STD	24,01	70,00	11,00	6,76
OD	5,90	15,31	1,42	2,31
Turbidez	13,18	26,90	5,16	3,81
STS	11,47	25,00	5,00	3,32
Cor Verdadeira	27,60	115,00	3,00	12,7
Salinidade	0,02	0,06	0,01	0,01
Sulfato	1,88	29,34	0,52	2,28
Coliformes Totais	4.875 ,91	24.196	6,67	9.010,02

(conclusão)

PORTO	VILA		DO	CONDE
Parâmetros	MÉD	MÁX	MIN	SD
Coliformes Tolerantes	222,3 0	4,00	2	389,51
<i>E Coli</i>	13,5 7	608	0,00	49,11

Fonte: Dados da Pesquisa.

6.2 Teste de Tukey

A Tabela 10 apresenta os valores médios das variáveis de análise da qualidade da água em função de diferentes regimes de marés, enchente e vazante. A comparação estatística foi realizada com base nas médias obtidas para cada parâmetro.

Os resultados indicam que os diferentes regimes de maré (enchente e vazante) não promoveram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) em nenhum dos parâmetros de qualidade da água avaliados, uma vez que todas as variáveis apresentaram a mesma letra na comparação de médias pelo teste de Tukey.

De forma geral, o pH manteve-se levemente ácido (6,1) em ambos os regimes, sem variação associada ao ciclo de maré, a temperatura da água permaneceu constante (29,6 °C), indicando condições térmicas estáveis durante o período amostral.

A condutividade elétrica (CE) e os sólidos totais dissolvidos (STD) apresentaram valores numericamente maiores durante a enchente, enquanto na vazante foram ligeiramente inferiores, porém sem diferença significativa, sugerindo influência limitada da intrusão ou diluição hídrica associada à maré.

O oxigênio dissolvido (OD) manteve valores semelhantes entre os regimes (4,8–4,9 mg L⁻¹), indicando condições próximas ao limiar de qualidade para ambientes aquáticos tropicais, independentemente do sentido da maré. Da mesma forma, turbidez, sólidos totais suspensos (STS) e cor verdadeira (CV) apresentaram variações discretas entre enchente e vazante, sem evidência de ressuspensão diferencial de partículas ou alteração significativa na carga de material em suspensão.

Os parâmetros relacionados à salinidade e ao sulfato também não diferiram entre os regimes, com valores baixos de salinidade (0,04–0,05).

Quanto aos indicadores microbiológicos, os coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes e *E. coli* apresentaram valores elevados em ambos os regimes de maré, sem diferença estatística entre enchente e vazante. Esses resultados sugerem que a contaminação microbiológica é persistente e não sofre influência direta do ciclo de maré, possivelmente estando associada a fontes contínuas de aporte antrópico.

Em conjunto, os dados indicam que, nas condições avaliadas, o regime de maré não exerceu efeito significativo sobre a qualidade físico-química e microbiológica da água, evidenciando um sistema relativamente homogêneo ao longo do ciclo de enchente e vazante.

Tabela 10 - indicativo da não diferenciação da qualidade da água em função de diferentes regimes de maré

Regime	Enchente	Vazante
pH	6,1 a	6,1 a
Temperatura	29,6 a	29,6 a
Condutividade elétrica	112,1 a	87,6 a
STD	56,5 a	44,3 a
OD	4,8 a	4,9 a
Turbidez	38,4 a	39,3 a
STS	21,9 a	22,3 a
Cor verdadeira	38,5 a	38,7 a
Salinidade	0,05 a	0,04 a
Sulfato	2,8 a	3,1 a
Coliformes totais	51738,5 a	53809,3 a
Coliformes termotolerantes	18053,1 a	19633,7 a
<i>E. Coli</i>	5796,9a	6344,0a

Fonte: Dados da pesquisa

6.2 Qualidade da Água

A avaliação da qualidade hídrica das zonas portuárias, quando confrontada com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2, evidencia situações críticas de desconformidade em parâmetros fundamentais. O Oxigênio Dissolvido (OD) apresentou médias frequentemente abaixo do limite mínimo de 5 mg/L. No período chuvoso, os portos de Belém (4,74 mg/L) e Miramar (4,53 mg/L) não atenderam à legislação, situação que persistiu no período seco, com a média em Belém caindo para 4,23 mg/L.

O pH também demonstrou episódios de não estarem em conformidade, uma vez que a resolução recomenda valores entre 6,0 e 9,0. Médias registradas em Belém (5,67) e Miramar (5,75) durante as chuvas encontram-se abaixo do limite inferior, indicando águas levemente ácidas. Em contrapartida, parâmetros como turbidez e cor verdadeira mantiveram-se, em sua maioria, dentro dos limites máximos (100 UNT e 75 mg Pt/L), embora picos isolados de turbidez em Miramar (205 UNT) e cor em Miramar (311 uH) tenham configurado violações temporais da norma.

No que tange aos indicadores microbiológicos, a Resolução Conama 357/2005 estabelece um limite de 1.000 NMP/100mL apenas para coliformes termotolerantes em águas de Classe 2. Os resultados para este parâmetro indicam um cenário de degradação severa: no período de mais chuvas, Miramar apresentou média de 39.466 NMP/100mL e Belém 26.198 NMP/100mL. Mesmo no período seco, os valores continuaram altos, com Belém atingindo 34.874,34 NMP/100mL de termotolerantes, superando em mais de 30 vezes o limite legal.

É imperativo ressaltar que a legislação brasileira vigente, especificamente a Resolução Conama 357/2005, não estabelece valores máximos permitidos para os parâmetros Coliformes Totais e *Escherichia coli* (*E. coli*) em águas superficiais de Classe 2, sendo classificados como "Não se aplica" nas tabelas normativas. Dessa forma, embora tenham sido detectadas densidades elevadas de Coliformes Totais (até 727.000 NMP/100mL) e de *E. coli* (até 150.000 NMP/100mL), não há um critério legal direto para verificar a conformidade desses dois parâmetros específicos com os padrões de qualidade da água doce.

Essa lacuna normativa para Coliformes Totais e *E. coli* impede uma conclusão definitiva sobre sua conformidade legal, restando apenas a comparação com os coliformes termotolerantes, que são o parâmetro regulatório vigente para fins de classificação e balneabilidade. Contudo, a persistente violação dos limites de oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes já é suficiente para caracterizar o corpo hídrico portuário como

sob estresse contínuo, ultrapassando sua capacidade natural de autodepuração devido ao intenso aporte de efluentes não tratados nas regiões de Belém e Barcarena.

7 DISCUSSÃO

7.1 Avaliação da Qualidade da Água

A caracterização físico-química e microbiológica realizada nas áreas portuárias de Belém e Barcarena permitiu uma avaliação integrada da qualidade das águas estuarinas, atendendo aos objetivos propostos de identificar padrões espaciais, temporais e potenciais fontes de contaminação. De acordo com Oliveira *et al.* (2021), a aplicação da análise fatorial em ambientes aquáticos complexos constitui uma ferramenta estatística eficaz para sintetizar a interdependência entre múltiplas variáveis ambientais, favorecendo uma interpretação sistêmica da condição ecológica do corpo hídrico. Nesse sentido, os resultados obtidos evidenciam um cenário de degradação ambiental persistente, especialmente quando confrontados com os padrões estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/2005 para águas enquadradas como Classe 2.

Para Oliveira *et al.* (2021), indicadores padronizados de qualidade da água são essenciais para traduzir dados analíticos em informações compreensíveis para a gestão ambiental. A aplicação desses indicadores revelou que uma parcela expressiva das amostras coletadas nas zonas portuárias apresentou classificação entre ruim e péssima, sugerindo que o sistema hídrico se encontra sob estresse contínuo. Esse quadro indica que a capacidade natural de autodepuração do estuário vem sendo superada pelo aporte crônico de efluentes domésticos e industriais lançados sem tratamento adequado.

No que se refere ao potencial hidrogeniônico, observou-se predominância de valores ácidos em diversos períodos amostrais, especialmente durante a estação chuvosa, com médias variando entre 5,67 e 6,73. Segundo a Resolução Conama nº 357/2005, essa faixa encontra-se parcialmente fora dos limites recomendados para águas de Classe 2. De acordo com Varela *et al.* (2020), a acidez é uma característica natural de muitos rios amazônicos, decorrente da elevada carga de matéria orgânica dissolvida. Entretanto, a intensificação dessa acidez pode estar associada à decomposição microbiológica da matéria orgânica de origem antrópica, processo que libera dióxido de carbono e promove a formação de ácido carbônico na água. Em contraposição, para Simão *et al.* (2025), valores de pH superiores a 10,0, como os registrados pontualmente em áreas de foz estuarina, são indicativos de descargas industriais ricas em compostos nitrogenados, refletindo processos de mineralização intensificada. Essa ampla variação de pH reforça a complexidade do sistema estuarino, no qual fatores naturais interagem de forma sinérgica com pressões antrópicas, conforme discutido por Ferreira *et al.* (2022). Junto a isso, para Cintra *et al.* (2020) afirmam que "a qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento do efeito que seus constituintes podem causar no meio

ambiente e, conseqüentemente, na saúde dos seres humanos". Nesse sentido, os registros de pH, que apresentaram médias entre 5,67 e 6,73 no período chuvoso e entre 5,72 e 6,38 no seco, configuram episódios frequentes de não conformidade, visto que a norma preconiza valores entre 6,0 e 9,0 para águas doces de Classe 2. Essa tendência à acidez, particularmente acentuada no Porto de Belém com um mínimo de 3,71, indica um ambiente sob influência de processos que acidificam o meio, possivelmente relacionados à decomposição de matéria orgânica ou efluentes específicos.

Conforme Alves *et al.* (2012) O pH das águas amazônicas apresenta caráter ácido em razão da lixiviação dos solos naturalmente ácidos e da elevada quantidade de matéria orgânica existente no ambiente, que contribuem para a acidez da água, tal característica é própria da área de manguezais.

A definição de manguezal se refere a uma área úmida caracterizada como um ecossistema costeiro de transição entre os ambientes terrestre e marinho, típico de regiões tropicais e subtropicais e influenciado pelo regime das marés. O manguezal corresponde ao ecossistema completo que inclui vegetação, animais, microorganismos e o meio físico, do mangue (Brasil, 2024).

Essa ampla variação de pH reforça a complexidade do sistema estuarino, no qual fatores naturais interagem de forma sinérgica com pressões antrópicas, conforme discutido por Ferreira *et al.* (2022).

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram-se frequentemente abaixo do limite mínimo de 5,0 mg/L estabelecido para águas de Classe 2, com registros críticos próximos a 0,01 mg/L em determinados pontos. Para Varela *et al.* (2020), baixos teores de oxigênio dissolvido constituem um dos principais indicadores de poluição orgânica, uma vez que o oxigênio é intensamente consumido por microorganismos durante a decomposição da matéria orgânica oriunda de esgotos domésticos. Segundo Santos *et al.* (2020), a redução do oxigênio disponível compromete a sobrevivência de organismos aeróbios e pode desencadear desequilíbrios ecológicos de difícil reversão. A correlação negativa observada entre a demanda química de oxigênio e o oxigênio dissolvido corrobora esse entendimento, evidenciando a predominância de cargas orgânicas elevadas no sistema. Além disso, para Cintra *et al.* (2020) ressaltam que "baixos teores de oxigênio são indicativos de recebimento de matéria orgânica no corpo hídrico, uma vez que a sua decomposição por bactérias aeróbias consome oxigênio". Os dados de Oxigênio Dissolvido (OD), com médias flutuando entre 4,23 e 5,22 mg L⁻¹ e mínimos críticos próximos a 0,01 mg L⁻¹ no período seco, corroboram essa afirmação ao demonstrarem situações de hipóxia severa. Ao confrontar esses valores com o

limite mínimo de 5 mg L^{-1} exigido pela Resolução CONAMA para a Classe 2, observa-se que os portos de Belém e Miramar falham em atingir o padrão normativo em ambos os períodos sazonais. A recorrência desses níveis deficitários compromete a manutenção da vida aquática, indicando que o corpo receptor ultrapassou sua capacidade de autodepuração diante do aporte antrópico.

A condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos apresentaram elevação significativa durante o período seco, refletindo o aumento da concentração iônica na coluna d'água. De acordo com Aguilar Piratoba *et al.* (2017), a condutividade elétrica é um parâmetro sensível para detectar processos de contaminação hídrica, uma vez que valores elevados estão frequentemente associados ao lançamento de efluentes domésticos e industriais. Para Oliveira *et al.* (2021), em ambientes portuários, atividades como movimentação de cargas, armazenamento de combustíveis e operações de atracação podem intensificar a introdução de compostos químicos, independentemente da sazonalidade climática. Além disso, segundo Pinho (2017), o aumento de sólidos suspensos reduz a transparência da água e compromete a penetração da radiação solar, afetando diretamente os processos fotossintéticos. Conforme destacado por Jahan e Strezov (2017), esses sólidos são frequentemente transportados pelo escoamento superficial urbano e por atividades de dragagem associadas à infraestrutura portuária. Junto a isso, para Aguilar Piratoba *et al.* (2017) mencionam que "em águas naturais de água doce a condutividade geralmente varia de 10 a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ ". No entanto, os resultados coletados mostram um aumento expressivo no período seco, atingindo médias de $502,14 \mu\text{S cm}^{-1}$ e picos de $3.374 \mu\text{S cm}^{-1}$ nos Portos de Outeiro e Vila do Conde. Esse comportamento sazonal sugere uma maior concentração de íons e influência de aportes salinos ou efluentes concentrados quando a vazão dos rios diminui, reduzindo o efeito de diluição. Embora a Resolução CONAMA nº 357 não estipule valores máximos para condutividade, a elevação desses índices, associada a uma salinidade que chegou a 1,75 no período de estiagem, sinaliza uma alteração significativa na dinâmica físico-química estuarina.

Outra informação sobre a condutividade elétrica revela que a mesma corresponde à medida da capacidade da água em conduzir corrente elétrica, estando diretamente relacionada à concentração de sais dissolvidos. Esse parâmetro é definido pela presença de substâncias que, ao se dissolverem, se dissociam em ânions e cátions, geralmente provenientes dos principais elementos presentes na água (Silva, 2018). A informação é confirmada pelas análises, que mostraram o teor de salinidade aumentado na mesma proporção que a

condutividade elétrica nas análises realizadas quando comparadas ao período de mais chuvas e o período de menos chuvas.

A variação da condutividade elétrica entre os períodos em que se desenvolveu esta pesquisa é resultado da combinação de fatores, o primeiro verificado é o aumento da salinidade e o segundo é o aumento da poluição hídrica. Durante o período sem chuvas, a diminuição do nível da água na área portuária favorece a entrada de água do Oceano Atlântico, elevando a salinidade. Esse acréscimo de íons interage com elementos químicos provenientes de fontes poluidoras, intensificando a condutividade elétrica da água (Mourão *et al.*, 2020).

A contaminação microbiológica destacou-se como um dos aspectos mais críticos da qualidade da água nas áreas analisadas. Para Duarte, Menezes e Galúcio (2023), concentrações elevadas de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* indicam contaminação fecal recente e generalizada. Os valores observados, superiores em mais de 30 vezes ao limite legal de 1.000 NMP/100 mL, referente aos Coliformes Termotolerantes, refletem diretamente a precariedade do saneamento básico na Região Metropolitana de Belém. Segundo Santos *et al.* (2020), apenas uma fração reduzida dos esgotos gerados na cidade recebe tratamento antes de ser lançada nos corpos hídricos. Esse cenário representa um risco significativo à saúde pública, especialmente para populações que utilizam os rios para pesca, lazer e abastecimento informal, conforme enfatizado por Duarte, Menezes e Galúcio (2023). A persistência dessa contaminação ao longo do ano indica que o aporte poluidor é contínuo e pouco influenciado pelo regime de chuvas. Além disso, para Charles, Nowicki e Bartram (2020) asseveram que "a presença de *E. coli* informa sobre a probabilidade de patógenos estarem presentes". A contaminação microbiológica detectada é ubíqua e severa, com coliformes termotolerantes apresentando médias de até 39.466 NMP/100 mL, valor que supera em quase 40 vezes o limite legal de 1.000 NMP/100 mL para águas de Classe 2. Tal cenário de degradação persistente, independente do regime de maré ou da sazonalidade, indica a existência de fontes contínuas de aporte de esgoto doméstico sem tratamento nas regiões de Belém e Barcarena. A magnitude desses números revela uma desconformidade crítica com os usos preponderantes previstos, como a recreação de contato primário e o abastecimento humano após tratamento convencional.

As análises de bactérias termotolerantes são realizadas com o objetivo de identificar a presença de outros microrganismos nocivos à saúde. A detecção dessas bactérias indica que a água, quando não tratada, pode se tornar um meio de transmissão de diversas doenças. A ingestão desse recurso pela comunidade, em qualquer nível, representa risco de exposição a

enfermidades como cólera, febre tifoide, hepatite A e diferentes formas de diarreia aguda, causadas por agentes variados, incluindo *bactérias* (*Shigella*, *Escherichia coli*), *vírus* (*rotavírus*, *norovírus* e *poliovírus*, responsável pela poliomielite, já erradicada no Brasil) e parasitas (*Ameba*, *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Cyclospora*). Muitas dessas doenças possuem elevado potencial de disseminação, principalmente pela via fecal-oral, o que favorece a propagação rápida entre pessoas e aumenta significativamente o impacto na comunidade (Souza *et al.*, 2021).

No Brasil, a procura por medicamentos relacionados a doenças transmitidas pela água é intensificada pela falta de saneamento básico, que favorece surtos de diarreias agudas, hepatite A, cólera e parasitoses. Essa realidade aumenta a demanda por antibióticos, antivirais e antiparasitários, especialmente em comunidades vulneráveis, onde crianças e idosos são os mais afetados. Além disso, os ciclos de surtos regionais, principalmente em períodos chuvosos, pressionam o sistema público de saúde e elevam os custos econômicos, evidenciando que a solução não está apenas na oferta de remédios, mas na preservação do meio ambiente (Cardoso *et al.*, 2021).

Os nutrientes, com destaque para o fósforo total, apresentaram concentrações superiores a 0,1 mg/L, ultrapassando os limites recomendados para ambientes lóticos. De acordo com Varela *et al.* (2020), o enriquecimento por fósforo e nitrogênio é um dos principais gatilhos para o processo de eutrofização, que favorece o crescimento excessivo de algas e cianobactérias. Para Ferreira *et al.* (2022), esse processo compromete a qualidade da água e intensifica eventos de hipóxia. A análise fatorial confirmou a associação entre fósforo, nitrogênio amoniacal, sólidos e matéria orgânica, reforçando a influência dos esgotos domésticos e do escoamento urbano, conforme discutido por Oliveira *et al.* (2021). Esse aporte excessivo limita os usos múltiplos da água previstos na legislação ambiental, conforme salientado por Pinho (2017).

Comparativamente, os padrões de degradação observados neste estudo são semelhantes aos registrados em outros complexos portuários ao redor do mundo. Segundo Jahan e Strezov (2017), a urbanização acelerada e a industrialização exercem pressões semelhantes sobre ambientes costeiros em diferentes contextos geográficos. Para Guo *et al.* (2024), no Porto de Zhanjiang, na China, a demanda química de oxigênio e o fósforo total são os principais fatores de deterioração da qualidade da água. De modo semelhante, Arimieari, Sangodoyin e Ereoforiokuma (2014) identificaram valores críticos de oxigênio dissolvido e sólidos dissolvidos em portos da Nigéria. Esses paralelos reforçam a necessidade de

estratégias de gestão portuária sustentável focadas na mitigação de fontes pontuais de poluição, conforme defendido por Guo *et al.* (2024).

Estudos realizados em comunidades ribeirinhas de Barcarena e Abaetetuba evidenciam a elevada vulnerabilidade dessas populações ao consumo de água sem tratamento adequado.

Para Medeiros, Lima e Guimarães (2016), mesmo as águas subterrâneas utilizadas como alternativa, apresentam sinais de contaminação por nitratos e baixos valores de pH. A lixiviação de contaminantes é agravada pela ausência de saneamento e pela proximidade de grandes complexos industriais. Diante desse contexto, os autores destacam a importância de avaliações clínicas e epidemiológicas para identificar possíveis impactos à saúde humana. Assim, a preservação da qualidade da água configura-se não apenas como uma questão ambiental, mas também como um imperativo de justiça social e saúde pública.

7.2 Avaliação da Sazonalidade

A variabilidade pluviométrica constitui o principal fator natural de controle da dinâmica físico-química dos ecossistemas estuarinos amazônicos. Segundo Varela *et al.* (2020), o regime hidrológico da região é caracterizado por dois períodos bem definidos: o chuvoso, entre dezembro e maio, e o menos chuvoso, entre junho e novembro. Durante o período de maior precipitação, a elevação da descarga fluvial favorece a diluição de poluentes e o transporte de sedimentos e matéria orgânica para o estuário, conforme discutido por Simão *et al.* (2025). Em contraste, para Monteiro, El-Robrini e Alves (2015), a redução da vazão no período seco intensifica a intrusão de águas costeiras salobras, alterando significativamente a composição iônica do sistema.

Os resultados demonstraram que a turbidez e os sólidos totais suspensos apresentaram valores significativamente mais elevados durante o período chuvoso. De acordo com Varela *et al.* (2020), esse comportamento é típico dos rios amazônicos, nos quais a intensa lixiviação dos solos durante o inverno regional aumenta o carreamento de partículas. Para Simão *et al.* (2025), o aumento da turbidez reduz a penetração da luz e interfere na produção primária aquática. Em contrapartida, segundo Ferreira *et al.* (2022), o período seco favorece a deposição de sedimentos e a maior estabilidade da coluna d'água, resultando em maior transparência.

A condutividade elétrica e a salinidade apresentaram aumento expressivo durante a estiagem, especialmente nos portos sob maior influência marinha. Para Monteiro *et al.* (2015), esse padrão decorre da intrusão da cunha salina do Oceano Atlântico, que avança sobre o estuário à medida que a vazão fluvial diminui. Estudos conduzidos por Aguilar Piratoba *et al.*

(2017) em Barcarena confirmam a maior mineralização das águas no período seco, refletindo a influência das correntes costeiras da Baía do Marajó.

Os testes estatísticos indicaram que o ciclo de maré não promoveu variações significativas na maioria dos parâmetros analisados. Essa estabilidade sugere que o grande volume de água e a elevada energia hidrodinâmica do estuário do rio Pará são capazes de amortecer variações de curto prazo. No entanto, para Santos (2011), marés de sizígia e quadratura desempenham papel relevante na dispersão de efluentes, especialmente na Baía do Guajará. Ferreira *et al.* (2022) observaram melhores índices de qualidade da água durante a maré vazante, possivelmente associados à maior oxigenação.

O pH apresentou valores mais baixos no período chuvoso, refletindo a maior contribuição de ácidos orgânicos provenientes dos solos e da vegetação, conforme descrito por Varela *et al.* (2020). No período seco, a influência marinha tende a elevar o pH, aproximando-o da neutralidade ou alcalinidade, segundo Simão *et al.* (2025). Entretanto, eventos pontuais de alta alcalinidade durante as chuvas indicam a sobreposição de descargas industriais sobre o sinal climático natural.

O potencial hidrogeniônico (pH) em águas acima de 8,5, o aço (material utilizado nas embarcações) tende a sofrer menor agressividade devido ao processo de passivação. Por outro lado, águas com pH inferior a 4,5 apresentam elevada agressividade, há registros em literatura técnica que apontam que, no intervalo de pH entre 4 e 10, a taxa de corrosão do ferro não depende diretamente do pH. Assim, conclui-se que, em águas naturais moles e aeradas, a corrosão do aço carbono ocorre independentemente do valor do pH (Araújo Jr, 2019).

Segundo Braga *et al.* (2023), a acidificação pode alterar a disponibilidade de nutrientes e metais na coluna d'água, impactando diretamente a saúde dos ecossistemas aquáticos e reduzindo a produtividade pesqueira. Para o turismo e uso recreativo da água, a degradação da qualidade hídrica compromete a atratividade da região e pode gerar riscos à saúde pública. Assim, mesmo pequenas variações de pH abaixo da neutralidade representam um fator de vulnerabilidade para atividades econômicas e sociais ligadas ao ambiente aquático

A temperatura da água manteve-se relativamente estável ao longo do ano de 2021 e 2022, característica típica de ambientes equatoriais, com temperaturas mais baixas durante o período chuvoso. De acordo com Santos *et al.* (2020), pequenas variações térmicas refletem principalmente a intensidade da radiação solar, sendo menores no período chuvoso devido à maior nebulosidade, assim como o padrão registrado nesta pesquisa. Diferentemente, no ano de 2023 a temperatura da água superficial coletada revelou diferenças acentuadas e elevadas no período de mais chuvas, coincidindo com o boletim do Instituto Nacional de Meteorologia

(2024) que confirmou o evento climático denominado “*El Niño*” para o ano de 2023. Embora a temperatura não seja o principal fator limitante biológico, ela influencia a solubilidade dos gases e pode agravar condições de hipóxia.

A dinâmica dos nutrientes apresentou comportamento sazonal contrastante. Para Santos *et al.* (2020), o aumento do nitrogênio amoniacal durante o período chuvoso indica poluição recente associada ao escoamento superficial urbano. Já o nitrato, segundo Simão *et al.* (2025), apresenta caráter mais persistente, sugerindo contaminação crônica por esgotos e fertilizantes. Essas variações refletem a forte interação entre a bacia de drenagem e o estuário, conforme destacado por Monteiro *et al.* (2015).

Eventos climáticos extremos, como *El Niño* e *La Niña*, também influenciam a variabilidade pluviométrica regional. Para Dos Santos *et al.* (2020), esses fenômenos alteram significativamente a diluição e o transporte de poluentes. A *La Niña* de 2008, por exemplo, intensificou as chuvas e elevou a carga de nutrientes nos estuários amazônicos, conforme observado por Monteiro *et al.* (2015).

Apesar das limitações relacionadas à ausência de séries históricas contínuas e à amostragem pontual, a abordagem multivariada adotada permitiu identificar os principais fatores determinantes da dinâmica hídrica regional. Segundo Oliveira *et al.* (2021), técnicas estatísticas avançadas são fundamentais para superar lacunas de monitoramento em regiões com dados escassos.

Portanto, a sazonalidade climática configura-se como o principal motor das variações físico-químicas nas águas portuárias estudadas, superando a influência do ciclo diário das marés. Este trabalho contribui de forma relevante ao integrar clima, hidrodinâmica e pressão antrópica, oferecendo subsídios técnicos para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a proteção da saúde pública na Amazônia Oriental.

7.3 Variação Espacial e Influência Estuarina nos Portos de Belém e Barcarena

Paz *et al.* (2011) descrevem a região de Vila do Conde como um ponto estratégico de transição flúvio-marinha sob impacto de marés semidiurnas, o que justifica a complexidade observada na distribuição dos parâmetros de qualidade da água ao longo do gradiente espacial entre os portos. A análise dos dados revela que a localização geográfica dos terminais, estendendo-se do Porto de Belém até Vila do Conde, dita a intensidade da influência oceânica, sendo este um fator determinante para a compreensão das variações de salinidade e condutividade elétrica. Enquanto o Porto de Belém e Miramar apresentam características mais próximas de um sistema fluvial de “águas brancas” com maior turbidez, os portos de Outeiro

e Vila do Conde evidenciam uma susceptibilidade maior à intrusão da cunha salina durante o período de estiagem.

Alves *et al.* (2012) afirmam que o potencial hidrogeniônico das águas amazônicas apresenta caráter naturalmente ácido em razão da lixiviação de solos e da elevada carga de matéria orgânica. Essa premissa é corroborada pelos resultados obtidos no Porto de Belém, que registrou médias de pH tão baixas quanto 5,67 no período chuvoso e mínimos críticos de 3,71. No entanto, observa-se uma tendência de elevação desse parâmetro em direção a jusante, atingindo média de 6,73 em Vila do Conde. Simão *et al.* (2025) explicam que valores de pH que ultrapassam a neutralidade em áreas de foz estuarina podem indicar processos de mineralização intensificada ou influxo de águas mais tamponadas pelo ambiente marinho.

Vitelli e El-Robrini (2024), ao analisarem a praia do Caripi em Barcarena, registraram salinidade nula (0 PSU), o que posicionaria a região no estuário superior sob domínio límnic. Em contrapartida, os dados analisados nesta pesquisa demonstram uma inovação em relação à literatura local ao detectar picos de salinidade de até 1,75 nos portos de Outeiro e Vila do Conde durante o período seco. Aguilar Piratoba *et al.* (2017) mencionam que a condutividade elétrica é um indicador sensível para detectar tanto o aporte salino quanto processos de contaminação, o que se alinha à média de $502,14 \mu S \text{ cm}^{-1}$ observada nesses terminais mais externos.

Aviz (2024) ressalta que as variações espaço-temporais da cor da água e do sedimento em suspensão são afetadas por componentes físicos e hidrológicos complexos. Essa dinâmica é visível na análise da turbidez, que apresentou valores significativamente superiores no Porto de Belém (62,28 NTU) em comparação a Vila do Conde (15,51 NTU) durante o período de mais chuvas. Lima *et al.* (2024) sugerem que o transporte de sedimentos finos nos estuários amazônicos é influenciado pela hidrodinâmica fluvial-oceânica, onde a redução da velocidade da corrente em certas zonas facilita a deposição, alterando a transparência da água de forma heterogênea entre os portos.

Cintra *et al.* (2020) argumentam que baixos teores de oxigênio dissolvido são indicativos diretos do recebimento de carga orgânica, cuja decomposição bacteriana consome o gás disponível. Os resultados mostram uma tendência espacial preocupante, com situações de hipóxia severa (mínimos de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$) ocorrendo de forma mais acentuada nos portos interiores de Belém e Miramar. Varela *et al.* (2020) reforçam que essa degradação é um reflexo do aporte crônico de efluentes domésticos não tratados das áreas urbanas densas, que

superam a capacidade de autodepuração do sistema estuarino nessas zonas de menor circulação hídrica.

Ferreira *et al.* (2022) observaram que a qualidade das águas nas zonas portuárias de Barcarena tende a apresentar melhores índices de qualidade (IQA) durante a maré vazante, devido ao efeito de lavagem do sistema. Todavia, a aplicação do teste de *Tukey* nesta investigação trouxe um resultado divergente e instigante: não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os regimes de enchente e vazante para a maioria dos parâmetros. Freitas (2024) sugere que tal homogeneidade indica que a carga poluidora, especialmente a microbiológica, é tão persistente e onipresente que o ciclo de maré não é capaz de promover uma diluição eficaz que altere o enquadramento legal do corpo hídrico.

Ribeiro *et al.* (2020) destacam que a Baía do Guajará apresenta variações tróficas que vão de ultraoligotrófico a supereutrófico, dependendo da proximidade com fontes antrópicas. No contexto portuário, a contaminação por coliformes termotolerantes revelou-se ubíqua, com médias em Miramar atingindo 39.466 NMP/100 mL, valor imensamente superior ao limite de 1.000 estabelecido pela Resolução Conama 357/2005. Medeiros *et al.* (2016) alertam que essa persistência de indicadores fecais em níveis elevados ao longo de todo o gradiente espacial portuário representa um risco severo à saúde das populações ribeirinhas que utilizam essas águas para consumo e lazer.

El-Robrini *et al.* (2023) explicam que a morfodinâmica das praias estuarinas e a configuração dos canais de maré, como o Arienga, influenciam o transporte longitudinal de sedimentos e a dispersão de poluentes. Essa influência morfológica é evidenciada pela diferença no comportamento dos sólidos totais suspensos (STS), que permanecem elevados nos portos de Belém (30,30 mg L⁻¹) mesmo com a descarga fluvial intensa, indicando uma zona de aprisionamento de sedimentos finos. Lima *et al.* (2024) corroboram essa visão ao classificar os sedimentos estuarinos como pobremente selecionados, refletindo a mistura intensa entre fontes continentais e a pluma de sedimentos do Amazonas que adentra o sistema.

É necessário reconhecer, sob uma ótica autocrítica, que as limitações deste estudo residem na periodicidade das amostragens e na escala espacial, que embora abranja os principais portos, poderia ser refinada com dados de sensores de alta resolução temporal. Sousa Júnior *et al.* (2016) apontam que a escassez de recursos financeiros e a descontinuidade de dados são as maiores barreiras para um monitoramento hidrológico eficiente no Brasil. A

ausência de medições contínuas em profundidade também impede uma análise mais detalhada da estratificação salina, o que poderia elucidar com maior precisão o comportamento da cunha salina em Vila do Conde em comparação aos portos de Belém.

Aviz (2024) conclui que a integração entre monitoramento de campo e sensoriamento remoto é o caminho para preencher as lacunas deixadas pelos métodos tradicionais. Esta dissertação moveu a "fronteira do conhecimento" ao documentar uma intrusão salina mais profunda do que a previamente registrada para a zona de Barcarena, desafiando a classificação puramente límnic da região em períodos de seca extrema. Além disso, a demonstração da persistência da degradação microbiológica independentemente do regime de maré fornece subsídios práticos cruciais para a revisão das políticas de saneamento e gestão ambiental nas zonas portuárias da Amazônia Oriental.

7.4 Correlação de Parâmetros e Indicadores-Chave em Ambientes Portuários

A identificação de indicadores-chave para o monitoramento hídrico em zonas portuárias revela que a condutividade elétrica (CE) e os sólidos totais dissolvidos (STD) são variáveis determinantes para compreender a dinâmica estuarina local. Aguilar Piratoba *et al.* (2017) salientam que a condutividade é um parâmetro extremamente sensível para detectar processos de contaminação, uma vez que valores elevados estão frequentemente associados ao lançamento de efluentes domésticos e industriais. No ambiente portuário estudado, observou-se que a CE e o STD exibiram aumento expressivo no período seco, atingindo médias de 502,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e máximos de 3.374 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nos Portos de Outeiro e Vila do Conde, o que sugere uma maior concentração de íons e influência de aportes salinos ou efluentes concentrados quando a vazão dos rios diminui.

Oliveira e Cunha (2014) explicam que a precipitação é a principal forçante natural capaz de alterar as características físicas da água, promovendo o fenômeno de *wash off* que carrega poluentes do solo para o corpo hídrico. Tal afirmação converge com o comportamento da turbidez e dos sólidos totais suspensos (STS) observados nesta pesquisa, que apresentaram médias significativamente mais elevadas no período chuvoso, chegando a 62,28 NTU no Porto de Belém. Esse padrão reflete o impacto direto do escoamento superficial urbano e da erosão das margens em áreas portuárias, consolidando a turbidez como um indicador fundamental para monitorar o transporte de materiais particulados e a degradação ambiental decorrente da drenagem pluvial.

Bucci *et al.* (2015) destacam que baixos teores de oxigênio dissolvido (OD) são indicadores clássicos de poluição orgânica, resultantes do consumo intenso por microrganismos durante a decomposição da matéria. Nas áreas investigadas, o OD apresentou médias críticas entre 4,23 e 5,22 mg/L, com episódios de hipóxia severa atingindo 0,01 mg/L no período seco, o que configura uma violação persistente aos padrões da Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 2. Essa deterioração da qualidade hídrica indica que os portos de Belém e Miramar enfrentam um estresse contínuo, onde o aporte crônico de efluentes supera a capacidade natural de autodepuração do sistema estuarino.

Silva *et al.* (2024) corroboram que a pressão urbana na Região Metropolitana de Belém impacta severamente os mananciais superficiais, especialmente devido à hipossuficiência do saneamento básico que favorece a contaminação bacteriológica. Os indicadores microbiológicos desta pesquisa revelaram uma contaminação fecal generalizada e persistente, com contagens máximas de coliformes termotolerantes e *E. coli* superiores a 240.000 NMP/100 mL em diversos terminais. Esses valores superam em mais de 30 vezes o limite legal de 1.000 NMP/100 mL, evidenciando que a carga poluidora oriunda de esgotos domésticos não tratados é um dos maiores desafios para a manutenção da saúde pública e do equilíbrio ecológico em ambientes portuários.

Costa *et al.* (2022) asseveram que o potencial hidrogeniônico (pH) em águas amazônicas apresenta tendência natural à acidez devido à decomposição de matéria orgânica e lixiviação de solos. No entanto, as médias de pH observadas entre 5,67 e 6,73, com mínimos acentuados de 3,71 no Porto de Belém, sugerem que a acidez natural é intensificada por fontes antrópicas e efluentes específicos. Essa instabilidade química é preocupante, pois altera a toxicidade de substâncias e a disponibilidade de nutrientes, tornando o pH um indicador-chave para detectar alterações no equilíbrio ácido-base provocadas por atividades portuárias e industriais.

Ferreira *et al.* (2022) argumentam que, embora o regime de marés influencie a circulação hídrica, os melhores valores de Índice de Qualidade da Água (IQA) são geralmente mensurados na maré vazante devido à maior oxigenação. Em contrapartida, as análises estatísticas realizadas nesta dissertação, especificamente o teste de *Tukey*, indicaram que os regimes de enchente e vazante não promoveram diferenças significativas ($p > 0,05$) nos parâmetros avaliados. Essa relativa homogeneidade sugere que a carga poluidora em portos

como Miramar e Belém é tão severa e contínua que os efeitos de diluição ou intrusão hídrica associados à maré são insuficientes para alterar o perfil de degradação das águas.

Gomes *et al.* (2024) alertam que recursos hídricos próximos a regiões portuárias estão submetidos a "riscos tecnológicos ambientais", onde acidentes e operações rotineiras podem introduzir metais e hidrocarbonetos. Esta pesquisa inova ao demonstrar que picos isolados de turbidez e cor verdadeira ocorrem mesmo no período seco, sugerindo que operações de atracação, dragagem e movimentação de cargas exercem impactos pontuais que independem da sazonalidade climática. Portanto, o monitoramento sistemático dessas variáveis físicas permite distinguir entre a poluição carregada por chuvas e os impactos diretos da infraestrutura portuária, oferecendo uma visão mais precisa para a gestão ambiental estratégica.

Viana *et al.* (2023) salientam a importância de índices de violação para traduzir dados analíticos em informações compreensíveis para políticas de planejamento hídrico. Ao correlacionar os dados obtidos, observa-se que os parâmetros que mais violam a legislação (OD e coliformes) estão diretamente ligados à ausência de tratamento de efluentes, enquanto parâmetros como sulfato e salinidade refletem a dinâmica de intrusão salina no período de estiagem. A convergência desses dados estatísticos aponta para a necessidade urgente de integrar o saneamento básico com a gestão de portos, visando mitigar a degradação que compromete o uso múltiplo das águas na Amazônia.

Reconhece-se, como limitação deste trabalho, a impossibilidade de realizar uma contagem mais precisa de coliformes totais e *E. coli* em virtude das contagens de bactérias heterotróficas extremamente elevadas, que podem comprometer a detecção de patógenos específicos. Além disso, a ausência de valores máximos permitidos na legislação brasileira para *E. coli* em águas superficiais de Classe 2 limita uma conclusão definitiva sobre a conformidade legal exclusiva desse parâmetro. Todavia, as técnicas estatísticas multivariadas empregadas garantiram uma interpretação robusta, superando a mera análise descritiva e permitindo a identificação de padrões de interdependência entre as variáveis ambientais.

Por fim, esta dissertação move a fronteira do conhecimento ao estabelecer um protocolo de indicadores-chave (CE, Turbidez, OD e Coliformes) otimizado para a realidade complexa dos portos amazônicos. Chaves *et al.* (2025) reforçam que o monitoramento contínuo é vital para entender a dinâmica das bacias e desenvolver estratégias de mitigação eficazes. O que foi descoberto possui relevância prática imediata, pois fornece subsídios técnicos para que órgãos ambientais e gestores públicos priorizem ações de saneamento e

controle de poluição difusa, garantindo que o desenvolvimento portuário não ocorra em detrimento da sustentabilidade dos recursos hídricos estuarinos.

7.5 Correlação com as ocorrências antrópicas nas áreas portuárias do estudo

De acordo com o que foi observado nos terminais portuários estudados, a qualidade hídrica revela um cenário de degradação severa e persistente, que ultrapassa a capacidade natural de autodepuração do sistema estuarino. Aguiar Piratoba *et al.* (2017) destacam que "a condutividade elétrica é um parâmetro sensível para detectar processos de contaminação hídrica", o que se alinha diretamente aos elevados picos de condutividade de $3.374 \mu\text{S cm}^{-1}$ e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de 1.687 mg L^{-1} registrados no Porto de Vila do Conde durante o período seco. Essa variação espacial, marcada por valores numericamente superiores na enchente, sugere que as operações portuárias intensificam a introdução de compostos iônicos, independentemente da sazonalidade climática. Assim, os resultados transcendem a análise estatística ao demonstrar que a dinâmica hidrodinâmica local não é suficiente para mitigar o impacto das atividades de atracação e movimentação de cargas.

De acordo com o estudo de Souza e Hashiguti (2024), "os rios e igarapés passaram a ser poluídos pelos rejeitos não tratados das fábricas e da atividade portuária" em Barcarena, o que explica a tendência à acidez observada no Porto de Vila do Conde, com médias de pH entre 6,38 e 6,73. Silva e Hazeu (2019) reforçam que o descarte de dejetos industriais através de ductos clandestinos contamina os corpos hídricos com metais tóxicos, fato que se correlaciona com a estabilidade de parâmetros físico-químicos sob estresse contínuo nesta zona portuária. Diferente de outras regiões, a ação antrópica próxima a Vila do Conde é marcadamente industrial e minerária, provocando uma "reorganização socioespacial que passou a ocasionar diversos impactos nocivos para o meio ambiente". Esta dissertação inova ao confrontar esses dados históricos de desastres com a persistência de níveis críticos de Oxigênio Dissolvido (OD) que atingiram mínimos de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ no período de estiagem.

De acordo com o que foi observado por Lima *et al.* (2020), "o esgoto doméstico que é lançado à revelia no sistema de drenagem de águas pluviais" na capital paraense é um dos principais vetores de poluição, justificando as densidades microbiológicas extremas de 127.297 NMP/100 mL para coliformes totais no Porto de Miramar. Costa *et al.* (2021) ressaltam que pontos amostrais mais próximos à área urbana apresentam maior comprometimento da qualidade da água, o que corrobora a acidez crítica de pH 3,71 detectada no Porto de Belém. Essa tendência espacial demonstra que os terminais localizados no interior do sistema (Belém e Miramar) são drasticamente afetados pela carência de saneamento básico

e pelo descarte irregular de resíduos sólidos das sub-bacias urbanas. Portanto, a contaminação ubíqua registrada indica que o aporte crônico de efluentes domésticos superou os limites regulatórios da Resolução CONAMA 357/2005 em mais de 30 vezes no caso de termotolerantes.

De acordo com o estudo de Varela *et al.* (2020), "a sazonalidade evidenciou, estatisticamente, influência sobre a temperatura e o oxigênio dissolvido", refletindo situações de hipóxia severa que comprometem a manutenção da vida aquática nos portos estudados. Conforme observado por Aguilar Piratoba *et al.* (2017), a intrusão de água salobra durante a estação seca altera significativamente a dinâmica iônica, explicando o aumento da salinidade para 1,75 e do sulfato para 87,22 mg/L nos portos de Outeiro e Vila do Conde. Esta pesquisa demonstra que, embora o regime de maré não promova diferenças estatísticas significativas via teste de *Tukey*, a influência estuarina no período de estiagem reduz o efeito de diluição de poluentes. Tal descoberta é relevante para a prática da gestão portuária, pois evidencia que a qualidade da água é mais vulnerável em períodos de menor vazão fluvial, quando a concentração de íons e efluentes atinge seu ápice.

De acordo com Macêdo *et al.* (2020), desastres como o naufrágio do navio Haidar em Vila do Conde, que resultou no vazamento de "700 toneladas de óleo combustível" e milhares de cadáveres bovinos, criam passivos ambientais de difícil reversão. Conforme observado por Souza e Hashiguti (2024), esses eventos frequentes na história de Barcarena geram consequências permanentes na saúde da população e na qualidade dos recursos hídricos. Os resultados desta dissertação dialogam com essa realidade ao registrar níveis de Oxigênio Dissolvido frequentemente abaixo do limite mínimo de 5 mg/L, sugerindo que o corpo hídrico portuário permanece sob efeito desses aportes extraordinários de matéria orgânica. A persistência dessa degradação evidencia que os portos não são apenas zonas de transporte, mas focos de ocorrências antrópicas agudas que alteram as propriedades microbiológicas e físico-químicas de forma estrutural.

7.6 Comparação dos resultados com as práticas de gestão de recursos hídricos

Em síntese, a qualidade da água nas áreas portuárias analisadas encontra-se severamente comprometida pelo despejo contínuo de efluentes e pela dinâmica das atividades econômicas. De acordo com Oliveira *et al.* (2021), os resultados confrontam diretamente o enquadramento normativo de Classe 2, evidenciando a urgência de investimentos estruturais em saneamento básico. Embora existam limitações, esta pesquisa avança ao integrar dados primários e análise multivariada, contribuindo de forma significativa para o entendimento da

biogeoquímica estuarina na Amazônia Oriental e oferecendo subsídios técnicos para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Os autores Cintra *et al.* (2020) argumentam que "a realização de ações de monitoramento visando verificar se as águas estão adequadas para seus múltiplos usos é de extrema importância". Os resultados obtidos pelo teste de *Tukey* demonstram que o regime de maré não exerceu efeito significativo sobre a qualidade hídrica, evidenciando um sistema homogeneamente degradado. Isso sugere que a carga poluidora é de tal magnitude que a dinâmica hidrológica natural é insuficiente para mitigar a contaminação persistente. Tal homogeneidade na degradação desafia os modelos de gestão tradicionais, exigindo intervenções estruturais de saneamento que transcendam a análise de fluxos sazonais ou de maré.

Para Aguirre *et al.* (2013) afirmam que "a governança da água requer um ambiente político que promova a descentralização e interação entre departamentos governamentais e atores da sociedade civil". A precariedade dos indicadores aqui apresentados reflete falhas nessa governança, onde a alta demanda por água para atividades portuárias e industriais não é acompanhada por investimentos equivalentes em infraestrutura de saneamento. A comparação com a literatura indica que, enquanto bacias como Lagos São João apresentam níveis satisfatórios de governança e investimento, as regiões portuárias aqui estudadas parecem sofrer de uma fragmentação institucional que impede a efetivação do enquadramento normativo. A integração entre a gestão ambiental e de recursos hídricos é, portanto, uma diretriz da Lei nº 9.433/1997 que permanece apenas no campo teórico nestas zonas portuárias.

McDowell *et al.* (2024) alertam que "demonstrar os resultados da implementação de políticas para a melhoria da qualidade da água pode levar muitos anos para provar que um objetivo foi alcançado". Como limitação deste trabalho, reconhece-se que as amostragens, embora abrangentes sazonalmente, representam recortes temporais que podem omitir flutuações de curtíssimo prazo provocadas por despejos industriais clandestinos ou acidentes operacionais portuários. Além disso, o monitoramento não sistemático e a falta de séries históricas robustas introduzem incertezas epistêmicas na interpretação da evolução da qualidade hídrica a longo prazo. A autocrítica é necessária para compreender que um diagnóstico definitivo exigiria uma frequência amostral superior à praticada, conforme sugerido pela literatura para parâmetros altamente voláteis como *E. coli*.

De acordo com Chapman e Sullivan (2022) concluem que "o monitoramento efetivo das águas globais é um pré-requisito para o desenvolvimento sustentável e sociedades saudáveis". Esta dissertação moveu a fronteira do conhecimento ao integrar dados

físico-químicos e microbiológicos específicos de áreas portuárias amazônicas, frequentemente submonitoradas, confrontando-os rigorosamente com a legislação brasileira.

8 CONCLUSÃO

A presente dissertação permitiu uma avaliação abrangente e integrada da qualidade das águas superficiais em áreas portuárias da Região Metropolitana de Belém, evidenciando a complexidade dos processos físico-químicos e microbiológicos que atuam nesses ambientes sob forte influência antrópica e sazonal. A abordagem metodológica adotada, aliada à análise espacial e temporal dos parâmetros monitorados, mostrou-se adequada para atender aos objetivos propostos, possibilitando não apenas o enquadramento da qualidade da água à luz da Resolução Conama nº 357/2005, mas também a identificação de padrões, tendências e potenciais fatores de pressão associados às atividades portuárias e ao regime hidrológico regional.

Os resultados obtidos demonstraram que a sazonalidade exerce papel determinante na dinâmica da qualidade da água, especialmente em função das variações no regime pluviométrico e na hidrodinâmica dos corpos hídricos amazônicos. Durante o período chuvoso, observou-se, de modo geral, maior diluição de alguns parâmetros físico-químicos, enquanto determinados indicadores microbiológicos apresentaram elevação, sugerindo o incremento do aporte difuso de poluentes associado ao escoamento superficial e à intensificação das contribuições urbanas e portuárias. No período menos chuvoso, por sua vez, a menor capacidade de diluição favoreceu a concentração de certos constituintes, revelando condições potencialmente mais críticas para alguns usos preponderantes da água.

A análise comparativa entre os pontos amostrais evidenciou heterogeneidade espacial significativa, refletindo diferenças no grau de urbanização, na intensidade das operações portuárias e na proximidade de fontes potenciais de contaminação. Em determinados locais, o não atendimento a parâmetros estabelecidos pela legislação ambiental vigente reforça a necessidade de atenção contínua por parte dos órgãos gestores, sobretudo em áreas onde há coexistência de atividades econômicas estratégicas e usos sensíveis dos recursos hídricos. Esses achados corroboram a compreensão de que ambientes portuários amazônicos constituem sistemas altamente dinâmicos e vulneráveis, demandando estratégias específicas de monitoramento e gestão.

A aplicação de técnicas estatísticas multivariadas contribuiu de forma significativa para a interpretação integrada dos dados, permitindo identificar correlações relevantes entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos e apontar indicadores-chave para o acompanhamento da qualidade da água em contextos portuários. Essa abordagem mostrou-se particularmente eficaz para reduzir a complexidade dos dados e subsidiar análises mais

assertivas, reforçando seu potencial como ferramenta de apoio à tomada de decisão no âmbito da gestão de recursos hídricos.

Do ponto de vista acadêmico, esta pesquisa avança na compreensão dos efeitos combinados da sazonalidade e das atividades antrópicas sobre a qualidade das águas superficiais em áreas portuárias da Amazônia, ainda pouco exploradas na literatura científica. Sob a perspectiva aplicada, os resultados gerados oferecem subsídios técnicos relevantes para o aprimoramento das ações de fiscalização, planejamento e gestão ambiental, além de contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade das atividades portuárias e à proteção dos ecossistemas aquáticos e da saúde pública. Além disso, a pesquisa inova ao demonstrar a persistência da contaminação independente do ciclo de maré, fornecendo subsídios técnicos para que os comitês de bacia e órgãos gestores estabeleçam paralelos mais precisos entre os limites normativos e a realidade de campo. Em uma outra análise, este trabalho evidencia que a segurança hídrica nestas zonas não será atingida apenas por monitoramento, mas pela corajosa transição de medições passivas para uma governança de segurança hídrica prospectiva e adaptativa.

Por fim, destaca-se que os achados desta dissertação reforçam a importância da implementação de programas contínuos de monitoramento da qualidade da água em áreas portuárias, considerando explicitamente a variabilidade sazonal e as especificidades locais. Recomenda-se que estudos futuros ampliem a série temporal de dados, incorporem novos parâmetros e integrem análises hidrodinâmicas e ecotoxicológicas, de modo a aprofundar a compreensão dos impactos cumulativos nesses ambientes estratégicos para o desenvolvimento econômico e social da região amazônica.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Sara Marcela Vera *et al.* Avaliação da governança da água em bacias hidrográficas do rio de Janeiro como suporte ao gerenciamento dos recursos hídricos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais[...]** Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1-8. Disponível em: https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrEnbQKfJBpAQIAANPz6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1772286218/RO=10/RU=https%3a%2f%2ffiles.abrhidro.org.br%2fSumarios%2f155%2f8b09624e0ab072fabd24dfa2124b86e4_31067153d49249ac17b4a8153bbba158.pdf/RK=2/RS=eabFciH14EwCEerSx5GuSImfdI8- Acesso em: dez 2025

ALBORNOZ, Louidi Lauer *et al.* Avaliação espacial e temporal da fitotoxicidade da Barragem Mãe d'água utilizando Allium Cepa, 2025. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 33.; FEIRA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS DE SANEAMENTO AMBIENTAL*, 2025, Brasília, DF. **Anais[...]** Rio de Janeiro: Abes. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/294455/001280858.pdf?sequence>. Acesso em: jan 2026.

ALENCAR, V. E. S. A. *et al.* Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém– PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 02, p. 661-680, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/download/118958137/josicleda_2C_238413-136406-1-ED1.pdf_filename_UTF-8josicleda_2C_238413-136406-1-ED1.pdf Acesso em: jan 2026.

ALMEIDA, Raimundo da Costa; SILVA, Christian Nunes da; SILVA, João Marcio Palheta da. **Impactos socioambientais da mineração industrial em Barcarena, Amazônia, Brasil. Amazônia**, [S.l.], Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), 2024. p. 97. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Sombra/publication/388360229_Amazonia_conflictos_gestao_e_sustentabilidade_territorial/links/679413414c479b26c9b3b387/Amazonia-conflictos-gestao-e-sustentabilidade-territorial.pdf#page=97 . Acesso em: jan 2026.

ALMEIDA, Vinícius Benício de; SANTOS, Rosiane; SOUZA, Roberto Rodrigues de; SANTOS, Laissy Messias dos; GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues. Uso de água Cinza tratada como inóculo para monitoramento de DBO: Uma abordagem sustentável. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 21, n. 11, 2025. DOI: 10.14808/sci.plena.2025.119909. Disponível em: <https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/8806>. Acesso em: 11 jan. 2026.

ALVES, Igor Charles Castor *et al.* Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta amazônica**, v. 42, p. 115-124, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100014> Acesso em: jan 2026

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION- AWWA. WEF – Water Environment Federation - WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017.

ANDRADE, G. F.; BARROS, D. B. Bioindicadores Microbiológicos para Indicação de poluição Fecal. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, n. 34, e1099, 7 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e1099.2019> Acesso em: jan 2026

ANDRADE, João Carlos de. Química analítica básica: os conceitos acido-base e a escala de pH. **Revista Chemkeys**, Campinas, SP, n. 1, p. 1–6, 2018. DOI: 10.20396/chemkeys.v0i1.9642. Disponível em: <https://econtents.sbu.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9642>. Acesso em: jan. 2026.

AGUILAR PIRATOBA, A. R. *et al.* Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água, Taubaté**, v. 12, n. 3, p. 435-456, maio/jun. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/f45JMMTdfXvPWLmM6mbDX6K/abstract/?lang=pt> Acesso em: out 2025

ARAÚJO JÚNIOR, Aury Paulino de. **Análise dos processos corrosivos na barragem Capivara em Uiraúna-PB**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6071> Acesso em: jan 2026

ARAUJO, Maria Gabriella da Silva. *et al.* Caracterização físico-química do estuário do rio Pará e seus tributários. 2023 *In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos- Sbrh*, 25, Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15785> Acesso em: jan 2025

ARCOS, Adriano Nobre; CUNHA, H. B. Avaliação dos impactos da poluição nas águas superficiais de um afluente do rio Solimões na Amazônia Central Brasileira. **Caminhos da Geografia**, v. 22, n. 80, p. 01-14, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/351103188_AVALIACAO_DOS_IMPACTOS_DA_POLUICAO_NAS_AGUAS_SUPERFICIAIS_DE_UM_AFLUENTE_DO_RIO_SOLIMOE_S_NA_AMAZONIA_CENTRAL_BRASILEIRA. Acesso em: dez 2025.

ARIMIEARI, L. W.; SANGODOYIN, A. Y.; EREOFORIOKUMA, N. S. Assessment of Surface Water Quality in Some Selected Locations. *In: Port Harcourt, Nigeria. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, [S.l.], v. 3, n. 7, p. 1172-1186, July 2014. Disponível em: https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrFNv4if5BpFAIAuN7z6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1772287011/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.ijert.org%2fassessment-of-surface-water-quality-in-some-selected-locations-in-port-harcourt-nigeria/RK=2/RS=x8pSpDXSNg8shCWNhuuavu3xqIY- Acesso em: dez 2025

BATISTA, Ingrid Daniela Pacheco. **Interação entre águas subterrâneas e superficiais considerando o impacto do uso e ocupação do solo na assinatura físico-química, espectroscópica e cromatográfica.** 2025. Dissertação (Mestrado) - Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/96760/R%20-%20D%20-%20INGRID%20DANIELA%20PACHECO%20BATISTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: jan 2026

BASTOS, R. M. *et al.* Avaliação do impacto do porto de Vila do Conde (Pará, Brasil) sobre a qualidade da água e a dinâmica de sedimentos na região estuarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1221-1235, 2019.

BELÉM. **Lei nº 8.655, de 30 de Junho de 2008.** Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Belém, e das Outras Providências. Disponível em: https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrihWU7kpBpMXsEYMPz6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1772291899/RO=10/RU=https%3a%2f%2fleismunicipais.com.br%2fa%2fpa%2fb%2fbelelem%2flei-ordinaria%2f2008%2f866%2f8655%2flei-ordinaria-n-8655-2008-dispoe-sobre-o-plano-diretor-do-municipio-de-belem-e-da-outras-providencias/RK=2/RS=6VUjcTiFINbctJVyFSF4r2UAEx4- Acesso em: out 2025.

BESSER, R. E.; GRIFFIN, P. M. *Escherichia coli* O157:H7. *In*: Hancock, D. D.; Besser, T. E.; Grant, M. M. (Ed.). **Handbook of foodborne diseases.** Boca Raton: CRC Press, 2018. p. 73-88.

BEZERRA, Máira Ometto. **Dinâmica do nitrogênio no solo e sua implicação na qualidade da água em uma bacia hidrográfica com diferentes tipos de uso de solo com ênfase no papel da floresta ripária.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.64.2009.tde-16122009-161026> Acesso em: jan 2026

BIANCHI, Thomas S. **Biogeochemistry of estuaries.** New York: Eos, Transactions American Geophysical Union, 2007. 581p.

BRAGA, Elisabete S.; LUCENA, Luanny M.; ALMEIDA, Antonio J. M.; PIRES, Maria L. T.; NASCIMENTO, José E. F.; SUTTI, Bruno O.; BERBEL, Glaucia B. B.; CHIOZZINI, Vitor G. O ambiente estuarino e a variação de pH: limites naturais e observação experimental do efeito da acidificação sobre a biodisponibilidade de fósforo. **Química Nova**, v. 46, n. 6, p. 591-607, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/tRCzqdt437m6hbYTtjqjvMf/?format=pdf>. Acesso em: jan. 2026.

BRAGA, Erika de Almeida Sampaio. **Determinação dos compostos inorgânicos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total, na água do açude gavião, e sua contribuição para a eutrofização.** 2006. Dissertação (Mestrado) - Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/16697> Acesso em: jan 2026

BRASIL. Agência Nacional Das Águas. **Portal da qualidade das águas.** Brasília, DF. 2013. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-ANA/2013/Resolucao-ANA-903.pdf> Acesso em: ago 2025

BRASIL. **Decreto Nº 7.217, De 21 de Junho de 2010.** Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm Acesso em: jan 2026.

BRASIL. **Decreto-Lei Nº 155, de 10 de Fevereiro de 1967.** Dispõe sobre a extinção da autarquia federal denominada Serviços de Navegação da Amazônia e de Administração do Pôrto do Pará; autoriza a constituição da Empresa de Navegação da Amazônia S.A., e da Companhia das Docas do Pará, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/del0155.htm. Acesso em: jan 2026.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manguezais**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/ecosistemas-costeiros-e-marinhos/manguezais>. Acesso em: 10 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Instituto Evandro Chagas, **Conhecendo o IEC**. 2 ed. Brasília, 2007. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/conhecendo_iec_2ed.pdf Acesso em: jan 2026.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 20/1986, de 18 de junho de 1986.** Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial da União, 30 de julho de 1986.

BRINGEL, Sergio Roberto Bulcão; SILVA, Maria do Socorro Rocha da; MIRANDA, Sebastião Átila Fonseca. Bacia hidrográfica do rio Negro: o desafio da gestão de suas águas. In: **Amazônia**. [S.l.]: Editora INPA, 2024. Cap. 10, p. 138- Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Emerson-Hara/publication/383086898_Aguas_da_Amazonia_natureza_e_desafios_contemporaneos/links/66bba5a6299c327096c72a51/Aguas-da-Amazonia-natureza-e-desafios-contemporaneos.pdf#page=139 Acesso em: jan 2026

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2012.

BUCCI, M. M. H. S. *et al.* Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG. **Ambiente & Água, Taubaté**, v. 10, n. 4, p. 804-824, out./dez. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/XxMbjT6drbMxCyLBw8mHsYc/?lang=pt> Acesso em: dez 2025

CADONÁ, Eliana Aparecida *et al.* Contaminação por nitrogênio e fósforo de águas destinadas ao consumo humano em região com intensa atividade suinícola. **Geosciences=Geociências**, v. 37, n. 4, p. 883-891, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i4.12274> Acesso em: jan 2026

CARDOSO, Ana Cláudia Duarte; VENTURA NETO, Raul da Silva. A evolução urbana de Belém: trajetória de ambiguidades e conflitos socioambientais. **Cadernos Metrópole**, v. 15, n. 29, p. 55-75, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4028/402837816003.pdf> acessado em: 09/04/2024.

CARDOSO, Alzilene dos Santos; COSTA, Andréia Silva; REIS, Brunna Lucena Cariello dos. A qualidade da água para consumo humano e a incidência de doenças de veiculação hídrica: estudo de caso do bairro Jardim Tropical–Breves–Marajó–PA, 2021. **Educação Ambiental e Cidadania: pesquisa e práticas contemporâneas - Volume 1**. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.37885/201202626> Acesso em: jan 2026

Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo- Cetesb. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: Biblioteca “Professor Lucas Nogueira Garcez”, 2008. (Apêndice A – Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem). Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/handle/123456789/2107>. Acesso em: dez 2025

CHAPMAN, D. **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 1996.

CHAPMAN, Deborah V.; SULLIVAN, Timothy. The role of water quality monitoring in the sustainable use of ambient waters. **One Earth**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 110-114, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358720002_The_role_of_water_quality_monitoring_in_the_sustainable_use_of_ambient_waters Acesso em: dez 2025

CHARLES, Katrina J.; NOWICKI, Saskia; BARTRAM, Jamie K. A framework for monitoring the safety of water services: from measurements to security. **npj Clean Water**, [S. l.], v. 3, n. 36, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41545-020-00083-1> Acesso em: dez 2025

CHAVES, L. D. P. S. *et al.* Qualidade da água superficial na sub-região hidrográfica do rio Itacaiúnas: estudo dos parâmetros físico-químicos (2017-2021). **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 23, n. 6, p. 1-21, 2025. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/10159> Acesso em: dez 2025

CINTRA, Luana S. *et al.* Monitoramento de parâmetros de qualidade da água do rio Paraíba do Sul em Campos dos Goytacazes – RJ. **Holos**, Natal, v. 36, n. 5, p. 1-16, 2020. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9564> Acesso em: dez 2025

COSTA, G. M. M. *et al.* Avaliação do efeito da sazonalidade na qualidade da água superficial no rio Guamá, Belém, PA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 10, p. 545-560, 2021. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/6617> Acesso em: dez 2025

COSTA, G. M. M. *et al.* Caracterização da qualidade da água superficial nos distritos administrativos do município de Belém – PA. *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, v. 1, n. 44, p. 120-137, jan./abr. 2022. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/download/7529/6408/33935> Acesso em: dez 2025

DAMASCENO, M. C. S. *et al.* Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 598-613, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/kqVJh5Wj4wMmgv6vfp8jKHf/> Acesso em: dez 2025

DONAGEMMA, R. A. *et al.* Validação de método espectofotométrico para avaliação e monitoramento de paraquat em solo e água no município de Bom Jardim-RJ. 2010. **Revista Embrapa** Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/881295/1/validacaodemetodo.pdf> Acesso em: jan 2026

DROSE, Andressa *et al.* Utilização de Métodos Estatísticos Multivariados no Monitoramento de Qualidade da Água da Lagoa Mirim. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 4, 2020. Disponível em: https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrFEi8ZFpFpNgIA8Kvz6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1772325658/RO=10/RU=https%3a%2f%2freativarambiental.com.br%2fwp-content%2fuploads%2f2023%2f01%2f69-274-1-PB.pdf/RK=2/RS=sQf8DF5NVljZu1kqKew1haQcWCY- Acesso em: dez 2025

DUARTE, A. S.; MENEZES, T. B.; GALÚCIO, V. C. A. Pesquisa de coliformes totais e termotolerantes no rio Guamá no entorno do Ver-o-Peso no município de Belém-PA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.l.], v. 9, n. 5, p. 3685-3699, maio 2023. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/3d29/009c885b509097bd8e523733bb36ceca697d.pdf> Acesso em: dez 2025

EL-ROBRINI, Maâmar; SILVA, Paulo Victor Magno; COIMBRA, Marcos Vinicius Rodrigues. MORFODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM PRAIAS AMAZÔNICAS DE MESO-MARÉS:: O CASO DA VILA DO CONDE (BARCARENA/PARÁ). **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 33, n. 75, p. 1300, 2023. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2023v33n75p1300. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/30103>. Acesso em: fev. 2025.

ELLIOTT, M.; McLUSKY, D. S. The need for definitions in understanding estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, n. 6, p. 815-827, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/ecss.2002.1031> Acesso em: dez 2025

FALCADE, Dóris Regina; MANNICH, Michael; COLOMBO, Geovana Thaís. Tubo de turbidez para determinação de baixo custo da turbidez em corpos d'água superficiais. **Revista de Gestão de Água da América Latina, Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH**, v. 14, p. 5-5, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Michael-Mannich/publication/319028433_Tubo_de_turbidez_para_determinacao_de_baixo_custo_da_turbidez_em_corpos_d-agua_superficiais/links/59c3a8a30f7e9b21a82fcfb5/Tubo-de-turbidez-para-determinacao-de-baixo-custo-da-turbidez-em-corpos-d-agua-superficiais.pdf Acesso em: jan 2026

FAGUNDES, Anne Karuline Barros; MENDES, Thiago Augusto; PEREIRA, Tatiane Souza Rodrigues. Classificação preliminar de corpos d'água com base na resolução Conama nº 357/2005: Caso do rio Meia Ponte-GO. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 3, p. 1382-1393, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547716025.pdf> Acesso em: dez 2025

FELIX, Marcos Vinícios Firmino. **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água no Distrito de Iara, Barro, Ceará**. 2025. Dissertação. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/44585> Acesso em: jan 2026

FERREIRA, Danilo Patrick; SANTANA CARNEIRO, Bruno; AMARAL MARQUES, Luis Carlos; EL-ROBRINI, Maâmar. QUALIDADE DAS ÁGUAS ESTUARINAS DO RIO PARÁ NA ZONA PORTUÁRIA DE VILA DO CONDE (MUNICÍPIO DE BARCARENA/PARÁ). **Geografia**, [S. l.], v. 47, n. 1, p. 1-27, 2022. DOI: 10.5016/geografia.v47i1.15850. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/15850>. Acesso em: fev. 2025.

FERREIRA, W. R. S. et al. SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO PARA A AMAZÔNIA USANDO O MODELO REGCM3: AVALIANDO APENAS A FORÇANTE DO ATLÂNTICO EQUATORIAL. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 435-446, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/C5t8SYLSP3zNzsPVynFYTDm/?lang=pt> Acesso em: dez 2025

FERREIRA, Eduarda Eloá Lucas. Criação de uma planilha eletrônica para avaliar algumas figuras de mérito utilizadas na validação de métodos analíticos. **revista de engenharia e tecnologia**, v. 17, n. 1, 2025. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/24474/209209219471> Acesso em: jan 2026.

FERREIRA, Wilsimara Antunes. **Avaliação preliminar de indicadores de qualidade de água da bacia hidrográfica formadora do Rio Guandu**. 2007. Dissertação. Disponível em: <https://www.bdt.d.uerj.br:8443/handle/1/15744> Acesso em: jan 2026

FRANÇA, C FERREIRA DE.; PIMENTEL, M. A. da SILVA. DIVERSIDADE PAISAGÍSTICA DAS MARGENS OESTE E LESTE DA BAÍA DE MARAJÓ, PARÁ, NORTE DO BRASIL. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 900-910, 2012. Disponível em: <http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1996>. Acesso em: jan. 2026.

FREITAS, M. B., & Freitas, C. M. D. (2005). A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, n. 4, p. 993-1004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26414475_A_vigilancia_da_qualidade_da_agua_para_o_consumo_humano_desafios_e_perspectivas_para_o_Sistema_Unico_de_Saude/fulltext/0f31870e3829de22162bb933/A-vigilancia-da-qualidade-da-agua-para-consumo-humano-desafios-e-perspectivas-para-o-Sistema-Unico-de-Saude.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19 Acesso em: dez 2025

FREITAS, Christiano Teixeira. **Aspectos hidrobiogeoquímicos e ambientais do sistema estuarino de Raposa, MA**. 2024. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/5421/2/CHRISTIANOTEIXEIRADEFREITAS.pdf> Acesso em: jan 2026.

FURTADO, V. V.; et al. Efeito da dragagem do Porto de Vila do Conde sobre a qualidade da água na área estuarina de Barcarena, Pará, Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 1260-1278, 2017. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/issue/view/241 Acesso em: jan 2025

FUZINATTO, C. F. **Avaliação da qualidade da água de rios localizados na ilha de Santa Catarina utilizando parâmetros toxicológicos e o índice de qualidade de água**. Florianópolis: Dissertação. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Santa Catarina. 2009. Disponível em: https://legado.moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1545034/mod_resource/content/1/265487%20AVLIA%C3%87%C3%83O%20DA%20QUALIDADE%20DA%20%C3%81GUA%20DE%20RIOS%20LOCALIZADOS%20NA%20ILHA%20DE%20SANTA%20CATARINA.pdf Acesso em: dez 2025

GIRARDI, Rubia; PINHEIRO, Adilson; RAMOS, Camila Andréa. As incertezas na tomada de decisão no processo de governança dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 1, p. 503-517, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p503-517> Acesso em: out 2025

GOMES, Lucas; LUZ, Luziane. MAPEAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO DA ÁREA CONTINENTAL DE BELÉM-PA. **Biblioteca do IFCH/UFPA-Belém-PA**. 2019, p. 63. Disponível em: <https://livroaberto.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/e8c7b290-8642-4c0c-9690-6d53bcf0d8e6/content> Acesso em: nov 2025

GOMES, J. M. **ESTUDO SAZONAL DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM LAGOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS**. 2023. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2023. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/9499> Acesso em: out 2025

GOMES, L. C. S. B. et al. Avaliação da qualidade da água superficial do rio Pará nas proximidades da região portuária de Vila do Conde, Barcarena-PA. **Revista Foco, Curitiba**, v. 17, n. 1, p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/4142> Acesso em: nov 2025

GUO, J. et al. Dynamic analysis of port water quality: insights from Zhanjiang Port, China. **Journal of Water and Climate Change**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 1380-1391, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/378781409_Dynamic_analysis_of_port_water_quality_insights_from_Zhanjiang_Port_China Acesso em: out 2025

GUEDES, J. N. et al. Influência Sazonal Na Qualidade Da Água E Salinização Na Foz Do Rio Amazonas/Ap. Planeta Amazônia. **Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, Macapá, n. 16, p. 41-58, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/planetaamazonia/article/view/387> Acesso em: ago 2025

GUTIERREZ, Carlos Benedito Barreiros. **Monitoramento multitemporal da qualidade das águas dos mananciais de Belém-PA: evidências de impactos antrópicos no seu entorno**. 2016. Dissertação. Disponível em: https://proesp.uepa.br/ppgca/wp-content/uploads/2023/02/dissertacao_carlos_gutierrez_turma_2015.pdf Acesso em: jan 2026

HARRIS, Mark. O ritmo da vida na várzea: sazonalidade e socialidade. Paisagens evanescentes: estudos sobre a percepção das transformações nas paisagens pelos moradores dos rios Amazônicos, p. 41-64, 2019. **Editora Naea**. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2024-02/010076764.pdf#page=42 Acesso em: jan 2026

IAMANAKA, Beatriz Thie; OKAZAKI, Margarete Midori; TANIWAKI, Marta Hiromi; SILVEIRA, Neliane Ferraz de Arruda; SILVA, Neusely da; GOMES, Renato Abeilar Romeiro; JUNQUEIRA, Valéria Christina Amstalden. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 6. ed. São Paulo: Blucher, 2021. Disponível em: <https://www.pharmabooks.com.br/livros/farmacia-e-bioquimica/metodos-analiticos/manual-de-metodos-de-analise-microbiologica-de-alimentos-e-agua-6a-edicao-2021>. Acesso em: jan. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Organização do território: malha municipal 2020. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html> Acesso em: jan 2026

INSTITUTO EVANDRO CHAGAS. **Manual de orientações sobre coleta de amostras biológicas para diagnóstico laboratorial no Instituto Evandro Chagas**. Ananindeua: Instituto Evandro Chagas, Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/iec/pt-br/assuntos/recebimento-de-materiais-biologicos/manual-de-orientacoes-iec-2023.pdf>. Acesso em: jan. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **El Niño**: saiba como foi a atuação do fenômeno no Brasil, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-saiba-como-foi-a-atua%C3%A7%C3%A3o-do-fen%C3%B4meno-no-brasil>. Acesso em: 10 jan. 2026.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. História – Belém. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1216/#:~:text=A%20cidade%20de%20Bel%C3%A9m%20\(PA,do%20imp%C3%A9rio%20ib%C3%A9rico%20nas%20Am%C3%A9ricas](http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1216/#:~:text=A%20cidade%20de%20Bel%C3%A9m%20(PA,do%20imp%C3%A9rio%20ib%C3%A9rico%20nas%20Am%C3%A9ricas). Acesso em: 09 abr/2024.

JAHAN, S.; STREZOV, V. Water quality assessment of Australian ports using water quality evaluation indices. **PLoS ONE**, [S.l.], v. 12, n. 12, p. e0189284, Dec. 2017. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0189284> Acesso em: out 2025

JESUS, Nívia Cristina Carvalho de. **A problemática dos impactos ambientais das atividades minero-metalúrgicas no complexo industrial de Barcarena-Pará no período de 2003 a 2018**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/bitstream/prefix/7315/1/TCC_ProblematicaImpactosAmbientais.pdf Acesso em: jan 2026.

LEIRA, Matheus Hernandes *et al.* Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **Pubvet**, v. 11, n. 1, p. 11-17, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ed1b/7b63f8649267195e728446c179b62b51ec3a.pdf> Acesso em: jan 2026

LEITE, Jonathan Antunes Ponte Cavalcante. **Investigação sobre a qualidade da água de três reservatórios fluviais na região geográfica intermediária de João Pessoa-PB**. 2020. Dissertação (Mestrado). Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/33624/1/JonathanAntunesPonteCavalcanteLeite_Dissert.pdf Acesso em: jan 2026

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/KCkSKLRdQVCm5CwJLY5s9DS/abstract/?lang=pt> Acesso em: dez 2025

LIMA, A. C. M.; FERNANDES, L. L.; LOPES, D. F.; BITTENCOURT, G. M.; VINAGRE, M. V. A.; SILVA, E. M. Urbanization and urban canals: water quality assessment of the una hydrographic basin in Belém City, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-23, e232973866, 2020. Disponível em: <https://www.rsdjournal.org/rsd/article/view/3866/3389> Acesso em: out 2025

LI, Y.; SHANG, J.; JIANG, Y.; LIU, M. Ecological Risk Assessment of Chemical Contaminants in Port Waters: A Case Study of Shanghai Port, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 176, p. 113227, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08173-w> Acesso em: jan 2025

LOPES, Gustavo José Rodrigues. **Avaliação da turbidez e do tamanho de partículas como parâmetros indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. nas etapas de clarificação no tratamento da água em ciclo completo.** 2008. Dissertação. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3711/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: jan 2026

LUZ, Karla Rebeca Silva da. **Caracterização Hidroquímica Da Margem Equatorial Norte E Nordeste Brasileira,** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/10252/1/KARLA_LUZ.pdf. Acesso em: jan 2026.

MACÊDO, J. R.; RAMOS, N. M. J. M.; FREITAS, R. I. R. et al. Desastres socioambientais e implicações na saúde: uma análise do naufrágio do navio Haidar em Barcarena, Amazônia, Pará/Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e4499108041, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346101828_Desastres_socioambientais_e_implicacoes_na_saude_uma_analise_do_naufragio_do_navio_Haidar_em_Barcarena_Amazonia_Para_Brasil Acesso em: out 2025

MCDOWELL, Richard W. et al. Monitoring to detect changes in water quality to meet policy objectives. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 14, n. 1845, p. 1-17, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38253723/> Acesso em: out 2025

MATTA, Milton Antonio da Silva; SANTOS, Raimundo Oliver Oliver Brasil dos. Fluxos subterrâneos e qualidade das águas superficiais da área de implantação da alça rodoviária do Estado do Pará. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/22636>. Acesso em: jan. 2026.

MATOS, Simone Pires de. **Técnicas de análise química: métodos clássicos e instrumentais.** Editora Érika, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.estantevirtual.com.br/livro/tecnicas-de-analise-quimica-00T-4047-000-BK> Acesso em: out 2025

MARINHA DO BRASIL. **Princípios e conceitos relacionados aos portos, hidrovias, marinha mercante, pesca e atividades correlatas sob o enfoque da autoridade marítima brasileira,** 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/tm/sites/www.marinha.mil.br/tm/files/publicacoes/ema-150-compilado.pdf>

MARTINS, Nayara G.; RESENDE, Juliana C. D. P. A utilização do método Colilert para análise de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água. **Sinapse Múltipla**, v. 9, n. 2, p. 123-124, 2020. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/sinapsemultipla/article/download/25344/17682/92438>. Acesso em: 9 jan. 2026.

MARTINS, Silvio E. M.; MENDES, Amilcar C. Caracterização de depósitos sedimentares recentes da porção superior da Baía de Marajó (margem leste do estuário do Rio Pará, Amazônia). **Pesquisas em Geociências**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 168–180, 2011. DOI: 10.22456/1807-9806.26382. Disponível em:

<https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/26382>. Acesso em: jan. 2026.

MARINHO, Eduardo Ribeiro et al. As atividades antrópicas na modulação da qualidade de água do rio Guamá, em São Miguel do Guamá, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 182-195, 2020. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/30c3/4887fe6e63a34354a1cfb8344547d6d57b93.pdf> Acesso em: jan 2026

MAYS, L. W. **Water Distribution Systems Handbook**. New York: McGraw Hill Professional, 2011.

MEDEIROS, A. C.; LIMA, M. O.; GUIMARÃES, R. M. Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 695-708, mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/yMFrN4hmSW7KzZnj5B6WVYK/abstract/?lang=pt> Acesso em: nov 2025

MENDES, Thiago Augusto et al. Avaliação de diferentes técnicas de medição do oxigênio dissolvido para o saneamento básico. Fronteira: **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 10, n. 1, p. 406-426, 2021. Disponível em: <https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/4531> Acesso em: set 2025

MOURA, Hanna Tereza Garcia de Sousa. et al. "Influência sazonal e antrópica na qualidade da água em ecossistemas aquáticos da Amazônia Oriental: qualidade de água em ecossistemas amazônicos." 2014. **Engenharia de Pesca: aspectos teóricos e práticos - Vol 2**. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.37885/211006390> Acesso em: jan 2026.

MOURÃO, Francianne Vieira et al. Dinâmica Sazonal de Nutrientes em Estuário Amazônico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 372-381, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ewertton-Gadelha/publication/351045297_Dinamica_Sazonal_de_Nutrientes_em_Estuario_Amazonico/links/6082e47f2fb9097c0c04abd2/Dinamica-Sazonal-de-Nutrientes-em-Estuario-Amazonico.pdf Acesso em: jan 2026

MONTEIRO, S. M.; EL-ROBRINI, M.; ALVES, I. C. C. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 151-162, abr. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/tf4psGqmXKz4hTWT3X9wYTd/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: out 2025

MONTEIRO, A. V. M.; GARDUNHO, P. H. O.; LAGO, T. S. B. do. Estudo sobre as condições geotécnicas de 1km da praia do paraíso, área litorânea situada na ilha de mosqueiro – pá, submetida a processos de erosão hídrica: vulnerabilidade das estruturas locais, análise do solo e modelagem 3d. **Revista Foco**, [S. l.], v. 18, n. 12, p. e10972, 2025. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/10972>. Acesso em: jan. 2026.

MORAES, Paulo Roberto Santos et al. IV-073-A Influência Da Maré Na Variação Temporal Da Matéria Orgânica Nas Águas Do Rio Guamá–Belém/Pa. 2014. In: **XXII SIBESA**. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaisletronicos/26_Download/TrabalhosCompletoPDF/IV-073.pdf Acesso em: jan 2026.

NÓBREGA, Wilker Ricardo de Mendonça. Participação popular e as políticas públicas de turismo na Amazônia: o Proecotur no distrito de Mosqueiro, Belém–PA. **Revista Turismo & Desenvolvimento**, v. 2, n. 13/14, p. 783-794, 2010. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/5qyfhfkrmbvthotzz6yo3pijyq/access/wayback/https://proa.ua.pt/index.php/rtd/article/download/12367/8159> Acesso em: jan 2026

OJEDA, Laura Alejandra de La Hoz. **Efeitos da cobertura urbana, da sazonalidade e de sua interação na qualidade da água de riachos da bacia hidrográfica do Alto Tietê**. 2023. Dissertação. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.100.2023.tde-24112023-164632> Acesso em: jan 2026

OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Ambiente & Água, Taubaté**, v. 9, n. 2, p. 261-275, abr./jun. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/HD9Y4s843bwDtzy95TPrm3q/?lang=pt> Acesso em: nov 2025

PAGOTTO, Lyvia Gonzalez; RODRIGUES, Josiane. Análise de variância e testes de comparação de médias: um estudo de caso. **Anais do Congresso de Iniciação Científica, Centro Universitário Izabela Hendrix**, 2020. Disponível em: <http://izabelahendrix.edu.br/congresso/anais/2020/engenharia/426-434-analise-de-variancia.pdf> Acesso em: jan. 2026.

PARÁ, Assembléia Legislativa do Estado do. **Lei nº 7.060, de 23 de novembro de 2007**. Dá nova redação aos arts. 1º, §2º, 4º, 10, 11, 12, 13 e 14 da Lei nº 4.336, de 21 de dezembro de 1970, que autorizava a constituição da Sociedade de Economia Mista Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) e dá outras providências. Disponível em: https://www.cosanpa.pa.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/lei_de_criacao_da_cosanpa.pdf Acesso em: jan 2026.

PARÁ (Estado). Lei nº 10.989, de 29 de maio de 2025. Dispõe sobre a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Clima e Sustentabilidade (SEMAS); altera a Lei Estadual nº 8.096, de 1º de janeiro de 2015, que dispõe sobre a estrutura da Administração Pública do Poder Executivo Estadual, e dá outras providências; e revoga as Leis Estaduais nº 5.457, de 11 de maio de 1988, nº 5.752, de 26 de julho de 1993, nº 7.026, de 30 de julho de 2007 e nº 7.756, de 3 de dezembro de 2013. Diário Oficial do Estado do Pará, Belém, n. 36.245, 29 maio 2025. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/pdf/706661.pdf> Acesso em: jan 2026

PAZ, A. C.; LUCENA FRÉDOU, F.; FRÉDOU, T. Caracterização da atividade pesqueira em Vila do Conde (Barcarena, Pará), no estuário amazônico. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, Belém, v. 6, n. 2, p. 307-318, maio-ago. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bgoeldi/a/WB5JHqX8ywrkdn4rpYSp3zk/abstract/?lang=pt> Acesso em: out 2025

PEREIRA, Flávia Belloni Passaglia. **Oxigênio Dissolvido Como Indicador De Processos Biogeoquímicos E De Mudanças Globais Em Estuários**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo. Disponível em: http://guiase.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/sites/171/2016/11/24120156/27_Monografia-USP-Pereira-F-B-P-2012.pdf Acesso em: jan 2026

PENA, Fernando; BROTA, Giovani. Análises de água e efluentes na prática: pH, alcalinidade, condutividade elétrica, cor e turbidez passo a passo. [S.l.]: **Labtube**, 2018. eBook Kindle. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/An%C3%A1lises-%C3%81gua-Efluentes-Pr%C3%A1tica-condutividade-ebook/dp/B07K4WDV8P>. Acesso em: jan. 2026.

PIEDADE, M. T. F.; VAL, V.M.F.A.; LOPES, A.; HENRIQUE, H. S.; FÉ, L. M. L.; WITTMANN, F. Organismos aquáticos e de áreas úmidas em uma Amazônia em transição. *Ciência e Cultura*, v. 66, n. 3, p. 34-40, 2014. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252014000300013 Acesso em: nov 2025

PIMENTEL, Márcia Aparecida da Silva; SANTOS, Viviane Corrêa; SILVA, Flávia Adriane Oliveira da. A ocupação das várzeas na cidade de Belém: causas e consequências socioambientais. *Revista Geonorte*, v. 3, n. 5, p. 34-45, 2012. Disponível em: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=Z-pZB2AAA-AAJ&citation_for_view=Z-pZB2AAAAAJ:yD5IFk8b50cC Acesso em: dez 2025

PRATA, Tatiana Chagas et al. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental da costa Oeste da região do Salgado Paraense**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso da Faculdade De Geologia, da Universidade Federal do Pará. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/bitstream/prefix/3113/1/TCC_AvaliacaoVulnerabilidadeAmbiental.pdf Acesso em: nov 2025

PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 12, n.2, p. 139-148, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000200005> Acesso em: out 2025

PRESTES, Yuri Onça. **Interações Físicas entre o Estuário do rio Pará e a Plataforma Continental no Norte do Brasil**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17884/1/Atualizada_Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Yuri%20Prestes%202016%20PPGO%20l.pdf Acesso em: jan 2026.

RIBEIRO, Samuel Rodrigues; VALADÃO, Roberto Célio. **Efeitos marinho e fluvial na dinâmica dos ambientes inundáveis do Estuário Superior do Rio Pará, Norte do Brasil.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstreams/a2b45620-c8b6-4ca1-a375-33fafb3b3e6e/download>. Acesso em: jan 2026

RIBEIRO, H. M. C. et al. Índice do Estado Trófico (IET) em águas amazônicas: baía do Marajó e baía do Guajará. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 9, e547997376, 2020 Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/7376/6736> Acesso em: out 2025

RIBEIRO, Hebe Morganne Campos. CAMPOS, Shirleny Pereira. CARNEIRO, Carla Renata de Oliveira. COSTA, Gysele Maria Moraes. PANTOJA, Danielle Nazaré Salgado Mamede. Traffic State Index (TSI) in amazonian waters: Marajó bay and Guajará bay. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 9, p. e547997376, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7376. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/7376>. Acesso em: fev. 2025.

ROCHA, Eliete S. et al. Análise microbiológica da água de cozinhas e/ou cantinas das instituições de ensino do município de Teixeira de Freitas (BA). **Revista Baiana de Saúde Pública**, Salvador, v. 34, n. 3, p. 694-705, 2010. Disponível em: <https://rbsp.sesab.ba.gov.br/index.php/rbsp/article/view/66> Acesso em: out 2025

RODRIGUES, J. E. C. **Risco Tecnológico:** uma análise do porto de Vila do Conde como área potencial de ameaça ao vazamento de óleo para comunidades em situação de vulnerabilidade. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal do Pará. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/items/a91af7da-9f07-4b39-80df-36ea90d415eb> Acesso em: out 2025

SANTOS, Cláudia Regina Ferreira. **Instituto Evandro Chagas:** pesquisa científica em saúde na Amazônia (1936-1970). 2015. Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://arca.fiocruz.br/bitstreams/d450e4c4-22fb-4fca-bef2-40c6d0122ba5/download> Acesso em: jan 2026.

SANTOS, H. G. dos; CARVALHO JUNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. 2011. **IBGE/EMBRAPA**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/920267/o-novo-mapa-de-solos-do-brasil-legenda-atualizada> Acesso em: dez 2025

SANTOS, Letícia Furtado dos. **Avaliação da qualidade ambiental da baía do Guajará em Belém - PA. Orientador: Adriano Marlisom Leão de Sousa.** 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10767>. Acesso em: .

SANTOS, L. F. et al. Avaliação da qualidade da água da baía do Guajará em Belém/PA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 367-380, fev./mar. 2020. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.002.0034> Acesso em: set 2025

SANTOS, Marcos Ronielly da Silva et al. A PRECIPITAÇÃO NA MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM: USO DE SENSORIAMENTO REMOTO E PRODUTOS OBSERVADOS, 2021. **Engenharia, Agronomia e Geociência**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Roberto-Francisco/publication/355197098_Engenharia_Agronomia_e_Geociencia_2014-2021/links/6166fe6025be2600ace1b18c/Engenharia-Agronomia-e-Geociencia-2014-2021.pdf#page=17 Acesso em: jan 2026.

SANTOS, Misleide dos. LIMA, Tainá Meneses. SIQUEIRA, Celia Gomes de. Análise Da Qualidade Microbiológica Da Água Utilizando Meio Diferencial Para Identificação De Coliformes E E. Coli. 2021. In: **I Congresso Online de Microbiologia**. ISBN dos Anais: 978-65-89908-78-4 Disponível em: <https://eventos.congresse.me/comicbio/resumos/16124.pdf?version=original> Acesso em: out 2025

SCHULZ, Francine; MOLZ, Carine Helena; MIRANDA, Luís Alcides Schiavo; PIRES, Andréia Cristina Paes. Avaliação metodológica na determinação de DBO5 por respirometria e luminescência. 2014. In: **IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353643832_Avaliacao_Metodologica_na_det_de_DBO_por_Respirometria_e_Luminescencia.pdf. Acesso em: jan. 2026.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/mwHP8HMv955dkZ984LmmGLr/> Acesso em: out 2025

SILVA, Dirlene Ferreira da. **Utilização de indicadores biológicos na avaliação da qualidade da água da Baía do Guajará e do Rio Guamá (Belém-Pará)**. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/items/61323bb1-465d-4f9d-b0d3-a19ae0d56556> Acesso em: out 2025

SILVA, Aichelly Rodrigues da. **Avaliação Do Processo De Eutrofização Das Águas Superficiais, Do Cenário Nacional Ao Local: Estudo De Caso Nas Bacias Hidrográficas Costeiras Dos Rios Ratoes, Itacorubi E Tavares (Ilha De Santa Catarina, Brasil)**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204457/PGCN0709-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: jan 2026

SILVA, Anderson Carlos Fontes da. Ocupação territorial das orlas na ilha de Caratateua: reflexões sobre um ordenamento territorial, 2023. **Revista Foco**. Curitiba (PR)| v.16.n.7 e2495 p.01-14. Disponível em: DOI: 10.54751/revistafoco.v16n7-096. Acesso em: jan 2026

SILVA, Luana Freire da et al. **Variações hidrológicas na margem equatorial em função da distância da costa e sazonalidade**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/bitstream/prefix/1378/1/TCC_VariacoesHidrologicasMargem.pdf Acesso em: jan 2026.

SILVA, C. E. L. S.; VIEIRA, Rosiane; KEMENES, Alexandre. Monitoramento da qualidade da água no estuário dos rios Timonha e Ubatuba (PI/CE). Pereira, AML & Rocha, FMR da. A pesca no estuário do Timonha e Ubatuba (PI/CE). **Comissão Ilha Ativa. Sieart**, Parnaíba, 2015. Disponível em: https://pescasolidaria.comissaoilhaativa.org.br/publicacoes/a_pesca_no_estuario_do_timonha_e_ubatuba.pdf Acesso em: out 2025

SILVA, Luciana Almeida; CARVALHO, Luiz Souza; LOPES, Wilson Araújo; PEREIRA, Pedro Afonso de Paula; ANDRADE, Jailson B. de. Solubilidade e reatividade de gases. **Química Nova**, v. 40, n. 7, p. 824-832, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/CpCbkTvtvrxTnJq6WDHBjnv/?format=pdf>. Acesso em: jan. 2026

SILVA, J. A. A. et al. Avaliação multivariada da qualidade das águas superficiais e água final de abastecimento público de Belém, Pará, Brasil. **Química Nova**, [s. l.], v. 47, n. 6, p. 1-9, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/y8HBWQHQQVLx6wZDZhL9DtH/?lang=pt> Acesso em: out 2025

SILVA, Maria do Socorro Rocha da et al. Desafios para gestão das águas na região amazônia. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, v. 20, 2013. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/03b7f4c69159fd83209998abfb705dda_de22861cff4e6ea4c8a846a44089092a.pdf Acesso em: jan 2026

SILVA, C.R. da.; SANCHES, M.S.; MILHIM, B.H.G. de A.; ROCHA, S.P.D. da. PELAYO, J.S. Avaliação da presença e quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água destinada ao consumo humano proveniente de poços artesianos. **Semin. Cienc. Biol. Saúde** [Internet]. 30º de novembro de 2019 [citado 9º de janeiro de 2026];40(2):129-40. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/view/33593>. Acesso em: jan 2026.

SILVA, Danubia Fôro da et al. **Eventos extremos de precipitação em Belém-PA na escala de tempo pentadal**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/bitstream/prefix/1645/1/TCC_EventosExtremosPrecipitacao.pdf Acesso em: jan 2026

SILVA, S. F.; HAZEU, M. T. O complexo industrial-portuário em Barcarena e a saúde de comunidades tradicionais na Amazônia brasileira. **O Social em Questão**, v. 21, n. 44, p. 171-194, 2019. Disponível em: https://osocialemquestao.ser.puc-rio.br/media/OSQ_44_art7.pdf Acesso em: nov 2025

SIMÃO, C. S. *et al.* Influência da sazonalidade sobre as águas estuarinas de um furo amazônico (Arrozal – Barcarena, Pará, Amazônia Oriental). **Geografia (Rio Claro)**, Rio Claro, v. 50, n. 1, p. 512-539, 2025. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/18965> Acesso em: dez 2025

SMANIOTO, Luciane Regina Jacinto. Estudo dos efeitos da degradação ambiental, poluição e mudanças climáticas na saúde humana, incluindo doenças respiratórias, alergias e outros problemas de saúde, 2024. In: Congresso Nacional Do Meio Ambiente, 21. **Anais[...]**. Disponível em: <https://meioambientepocos.com.br/anais/Anais2024/A%C3%A7%C3%B5es%20E%20Impactos%20Ambientais%20Relacionados%20Ao%20Porto%20D.%20Pedroii%20Em%20Paranagu%C3%A1.pdf> Acesso em: jan 2026.

SONTHIPHAND, Prinpida *et al.* Insights metagenômicos sobre a diversidade microbiana em uma bacia hidrográfica impactada por uma variedade de atividades antropogênicas. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 26, p. 26765-26781, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-05905-5> Acesso em: dez 2025

SOUZA, E. B. *et al.* Precipitação Sazonal Sobre A Amazônia Oriental No Período Chuvoso: Observações E Simulações Regionais Com O Regcm3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/CZZGtGD6nFp6M3LwcfPPYKP/?lang=pt> Acesso em: ago 2025

SOUZA, Everaldo Barreiros de; CARMO, Alexandre Melo Casseb; MOARES, Bergson Cavalcante; NACIF, Adelaide; FERREIRA, Douglas Batista da Silva; ROCHA, Edson José Paulino; SOUZA, Paulo Jorge de Oliveira Ponte. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4 (seasonal precipitation over the Brazilian Legal Amazon: climate current and future projections using REGCM4 model). **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 18, 2016. DOI: 10.5380/abclima.v18i0.43711. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/43711>. Acesso em: ago. 2025.

SOUZA JÚNIOR, W. *et al.* Water: drought, crisis and governance in Australia and Brazil. **Water**, [S. l.], v. 8, n. 11, e493, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/8/11/493> Acesso em: set 2025

SOUZA, Kelvin Santos de. **O Instituto Evandro Chagas na grande imprensa do Pará: 80 anos de história**. 2021. Dissertação (Mestrado em Comunicação, Cultura e Amazônia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/bitstreams/e4e9e864-ac6b-473e-8fa4-b96f44061f78/download> Acesso em: Jan 2026.

SOUZA, L. G.; HASHIGUTI, D. T. Percepção da população sobre os impactos socioambientais de atividades industriais e portuárias em Barcarena, Pará – Brasil. **REUMAM**, v. 9, n. 1, p. 20-39, 2024. **Revista do Núcleo de Meio Ambiente**. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/reumam/article/view/15967> Acesso em: set 2025

SOUZA, Natália Cristina Figueira de; GAZOLA, Helen Queite Guterres Barros; ALVES, Ester Rosalina da Silva; SILVA, Olivia Bezerra da. Análise físico-química e bacteriológica de coliformes totais e termotolerantes da água de consumo distribuída aos alunos de 3 creches privadas do setor Leste da cidade de Porto Velho – Rondônia. **Saber Científico** (1982-792X), [S. l.], v. 5, n. 1, p. 24–32, 2021. Disponível em: <https://saolucas.emnuvens.com.br/resc/article/view/1196>. Acesso em: 12 jan. 2026.

SOARES, Ruan Matheus Teixeira. **Caracterização da comunidade de larvas de peixes, sob variáveis físicas e químicas, durante um ciclo nictemeral, nos períodos de chuva e estiagem no Complexo Estuarino da Raposa-MA, Brasil**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/8620/1/RUAN%20MATHEUS%20TEIXEIRA%20SOARES.pdf> Acesso em: jan 2026

TAGLIARI, Lorenzo Ruhling. **Aplicação do IQA adaptado pela CETESB ao Arroio Dilúvio de Porto Alegre-RS**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/240198> Acesso em: jan 2026.

TOLEDO, Lucas Queiroz Lopes Loures *et al.* Diagnóstico preliminar da qualidade e da quantidade de água do Ribeirão das Rosas em Juiz de Fora–Mg, 2018. In: Simpósio De Recursos Hídricos Da Bacia Do Rio Paraíba Do Sul, 3. **Anais[...]**. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/76/A0027.pdf> Acesso em: jan 2026.

TERRA, Vilma R.; PRATTE-SANTOS, Rodrigo; ALIPRANDI, Robert B.; BARCELOS, Fernando F.; AZEVEDO JR., Romildo R.; BARBIÉRI, Roberto S. Avaliação microbiológica das águas superficiais do rio Jucu Braço Sul, ES, **Brasil. Natureza Online**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 48–52, 2008. Disponível em: <https://www.naturezaonline.com.br/revista/article/view/409>. Acesso em: jan. 2026.

VALENTIM, Micaela Machado *et al.* **Relação da salinidade e turbidez nos limites de um estuário amazônico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/bitstream/prefix/986/3/TCC_RelacaoSalinidadeTurbidez.pdf Acesso em: jan 2026.

VARELA, A. W. P. *et al.* Qualidade da água e índice de estado trófico no rio Guamá, município de Belém (Pará, Brasil). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 695-715, out./dez. 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8395 Acesso em: nov 2025

VASCO, Anderson Nascimento do et al. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92817183010.pdf> Acesso em: jan 2026

VASCONCELOS, Francisca Dalila Menezes. et al. Índice de qualidade das Áreas de Preservação Permanente dos recursos hídricos urbanos: **APPHidro. Ambiente & Água**, v. 16, n. 1, e2471, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2589> Acesso em: fev 2026

VIANA, C. M. et al. Avaliação da qualidade da água através da análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e do índice de violação: estudo de caso do rio Arroio Grande e da Praia do Pontal – RS. **Revista Ambientale**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 30-39, jan./abr. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370054109_Avaliacao_da_qualidade_da_agua_atraves_da_analise_de_parametros_fisico-quimicos_e_microbiologicos_e_do_indice_de_violacao_estudo_de_caso_do_rio_Aroio_Grande_e_da_Praia_do_Pontal_-_RS Acesso em: dez 2025

VIEIRA, Paulo de Castro. **Avaliação das condições da qualidade da água em tempo seco e durante eventos de chuvas em uma microbacia urbanizada no município de Belo Horizonte**. 2008. Dissertação (Mestrado). Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-7LTJ45> Acesso em: jan 2026

VITELLI, A. C.; EL-ROBRINI, M. Aplicação de drones na análise da morfodinâmica da praia estuarina de Caripi, Barcarena/Pará. **Caderno de Geografia**, [S. l.], v. 34, n. 79, p. 1391-1420, 2024. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/33106> Acesso em: out 2025.