



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA
INSTITUTO TECNOLÓGICO - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL - PPGNAV**

**SISTEMA DE FILTRAGEM COMPACTO SIMPLES DE ÁGUAS BRUTAS EM
FERRY-BOAT - TRAVESSIA ICOARACI - CAMARÁ (AMAZÔNIA
ORIENTAL/BRASIL)**

BRUNO FARIAS DA SILVA

Belém - PA

Dezembro/2025



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO TECNOLÓGICO - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL - PPGNAV**

**SISTEMA DE FILTRAGEM COMPACTO SIMPLES DE ÁGUAS BRUTAS EM
FERRY-BOAT - TRAVESSIA ICOARACI - CAMARÁ (AMAZÔNIA
ORIENTAL/BRASIL)**

BRUNO FARIAS DA SILVA

Dissertação de Mestrado Submetida ao
Corpo Docente do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Naval da
Universidade Federal do Pará como
requisito final para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Naval.

Área de Concentração: Transporte
Aquaviário.

Orientador: Prof. Dr. Maâmar El Robrini.

Belém - PA

Dezembro/2025

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)

F224s Farias Da Silva, Bruno.
SISTEMA DE FILTRAGEM COMPACTO SIMPLES DE
ÁGUAS BRUTAS EM FERRY-BOAT - TRAVESSIA
ICOARACI - CAMARÁ (AMAZÔNIA ORIENTAL/BRASIL) /
Bruno Farias Da Silva. — 2025.
143 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Maâmar El Robrini
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Naval, Belém, 2025.

1. Qualidade da água. 2. Sistema de filtragem. 3.
Sustentabilidade hídrica. 4. Transporte fluvial.. I. Título.

CDD 623.87



Serviço Público Federal
Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ REALIZADA NO DIA 16 DE DEZEMBRO DE 2025.

Aos dezesseis (16) dias do mês de dezembro do ano dois mil e vinte e cinco, às onze horas, reuniram-se, em sessão pública no formato remoto, os professores doutores Maamar El Robrini, Hito Braga de Moraes, Rita de Cassia Monteiro de Moraes– estes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval– e Maria de Lourdes Souza Santos– esta da Universidade Federal Rural da Amazônia– para formarem a banca examinadora da defesa de dissertação do (a) mestrando (a) Bruno Farias da Silva, cujo trabalho intitulado “EXPERIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAGEM COMPACTO SIMPLES DE ÁGUAS BRUTAS EM FERRY-BOAT - TRAVESSIA ICOARACI - CAMARÁ (AMAZÔNIA ORIENTAL/BRASIL)”, foi orientado (a) pelo (a) professor(a) Maamar El Robrini, que iniciou a reunião, descrevendo sumariamente o ritual desta; apresentou os avaliadores e o (a) autor (a) do trabalho, a quem foi dado um período de aproximadamente quarenta e cinco minutos para desenvolver sua defesa de dissertação. Encerrada a defesa, o (a) discente foi arguido (a) oralmente pelos examinadores. Foi concedida a oportunidade aos presentes para se pronunciarem. Em seguida, a banca reuniu-se em caráter sigiloso para decidir o resultado do exame, ato que deliberou a **APROVAÇÃO** do trabalho. Observados as alterações sugeridas, o (a) discente foi orientado (a) a apresentar a versão final de sua dissertação no prazo de trinta dias, a contar desta data. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada, lavrando-se dela a presente ata, que uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da banca examinadora e pelo (a) autor (a) do trabalho. Belém do Pará, três de janeiro de dois mil e vinte e cinco.

Documento assinado digitalmente
 **MAAMAR EL ROBRINI**
Data: 18/12/2025 14:23:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maamar El Robrini
Presidente Orientador

Documento assinado digitalmente
 **RITA DE CASSIA MONTEIRO DE MORAES**
Data: 17/12/2025 23:14:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rita de Cassia M. de Moraes
Membro Interno

Documento assinado digitalmente
 **HITO BRAGA DE MORAES**
Data: 18/12/2025 01:07:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Hito Braga de Moraes
Membro Interno

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS**
Data: 18/12/2025 08:50:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maria de Lourdes Souza Santos
Membro Externo à Instituição

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO FARIAS DA SILVA**
Data: 18/12/2025 10:23:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Bruno Farias da Silva
Autor (a) do trabalho



BRUNO FARIAS DA SILVA

**SISTEMA DE FILTRAGEM COMPACTO SIMPLES DE ÁGUAS BRUTAS EM
FERRY-BOAT TRAVESSIA ICOARACI - CAMARÁ (AMAZÔNIA
ORIENTAL/BRASIL)**

Dissertação de mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Engenharia Naval.

Belém-PA, ____ de _____ de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Maâmar El-Robrini
(Orientador-PPGENAV/GEMC/UFPA)

Membro: Prof. Dr. Hito Braga de Moraes
(Membro Interno - PPGENAV/ITEC/UFPA)

Membro: Profa. Dra. Rita de Cássia Monteiro de Moraes
(Membro Interno - PPGENAV/UFPA)

Membro: Prof.^a Dra. Maria de Lourdes S. Santos
(Membro Externo UFPA)

DEDICATÓRIA

Mais uma etapa importante da minha vida foi concluída, e com imensa gratidão reconheço que nenhuma conquista é alcançada sem fé, apoio e amor. Primeiramente, agradecendo ao papai do Céu, pois sem ele nada somos. Somente Deus conhece os momentos certos para cada vitória, e foi pela sua vontade que pude chegar até aqui.

Dedico esta conquista à memória do meu pai, Raimundo Alberto, que, ao lado do nosso Pai Celestial, certamente continua a se orgulhar de cada passo que dou. Sua lembrança me inspira todos os dias a seguir com coragem e determinação.

À minha amada mãe, Ednamar, exemplo incansável de força, dedicação e fé. Com sua perseverança, ensinou-me que jamais devemos desistir dos nossos sonhos, por maiores que sejam os obstáculos.

Aos meus irmãos, Breno, Bruna, Beatriz e Melky, minha base afetiva e inspiração contínua. Cada um de vocês é motivo de orgulho e alegria, e sou grato por termos crescido unidos, apoiando-nos mutuamente a cada nova etapa da vida. Ao meu querido sobrinho João, cuja inteligência, doçura e carinho enchem nossos dias de luz, deixo um agradecimento especial.

À minha esposa, Celice, minha companheira de jornada, agradeço pelo amor incondicional, pelo incentivo constante e por estar ao meu lado nos momentos mais desafiadores. Sua presença é bênção e força. Agradeço também aos seus pais, que sempre me acolheram com carinho e torcem pelo meu sucesso com sinceridade e generosidade.

Ao presente mais precioso que Deus me concedeu, minha filha Letícia, o eterno amor do papai. Sua chegada trouxe ainda mais sentido à minha vida, enchendo nossos dias de ternura, alegria e esperança com seu jeitinho meigo e encantador.

Por fim, expresso minha profunda gratidão ao Prof. Dr. Maâmar El Robrini, por sua dedicação, paciência e por todo o conhecimento compartilhado ao longo da orientação desta dissertação. Seu apoio foi fundamental para que este trabalho se concretizasse com qualidade e responsabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, fonte inesgotável de força, sabedoria e coragem. Todas as conquistas que alcancei até hoje são resultado da fé que me sustenta e da certeza de que, mesmo diante das dificuldades, Ele nos guia com mãos firmes e amorosas. Sei o quanto é desafiador trilhar o caminho até nossos objetivos, mas seguimos em frente, fortalecidos diariamente por essa graça divina.

Ao meu pai, Raimundo Alberto, minha eterna referência de caráter e dignidade, que, onde quer que esteja, sei que está orgulhoso por ver seus filhos chegarem até aqui com honestidade, humildade e sem jamais precisarmos passar por cima de ninguém. Seu exemplo vive em cada uma das nossas conquistas. Aos meus irmãos, Beatriz, Breno, Bruna e Melky, que caminharam ao meu lado nessa longa jornada. Só nós sabemos quantas renúncias foram necessárias, quantas batalhas silenciosas enfrentamos e quantos sacrifícios fizemos juntos para que esse sonho se tornasse realidade. Essa vitória também é de vocês.

À minha esposa, Celice, meu porto seguro, agradeço o amor, paciência e companheirismo nos momentos bons e difíceis. Sua presença diária, assim como a de nossos pais e de nossa filha Letícia, foi essencial para que eu me mantivesse firme, mesmo diante das adversidades. À Letícia, minha filha amada, razão maior da minha dedicação e esperança constante de dias melhores, você é, sem dúvida, a inspiração mais doce da minha vida. Aos meus sogros, que sempre me acolheram com carinho, respeito e palavras de apoio, agradeço por fazerem parte da minha caminhada e torcerem pelo meu sucesso com tanto entusiasmo e sinceridade.

Ao Prof. Dr. Maâmar El Robrini, meu orientador, registro minha profunda gratidão pela paciência, dedicação e comprometimento com minha formação. Sua orientação criteriosa foi essencial para que este trabalho atingisse um nível de qualidade e responsabilidade científica. Ao meu tio Rey, cujo apoio foi fundamental para o desenvolvimento desta dissertação, especialmente no processo de pesquisa, coleta de dados e interpretação dos resultados. Sua ajuda foi um pilar essencial para o sucesso desta etapa.

RESUMO

A região estuarina do estado do Pará, inserida no contexto amazônico, apresenta uma vasta e complexa rede hidrográfica que sustenta o transporte fluvial como principal meio de deslocamento e integração regional. Nesse cenário, os *ferry-boats* têm papel essencial no transporte de passageiros e cargas, conectando áreas urbanas e comunidades insulares. A travessia Icoaraci (Belém) – Camará (Salvaterra), na Ilha do Marajó, é uma das mais representativas, atendendo mais de mil passageiros por dia e cerca de cem mil por mês. Nesse contexto, esta dissertação avaliou a eficiência de um sistema compacto de filtragem de águas brutas implantado no ferry-boat São Gabriel, com o objetivo de propor uma solução prática, sustentável e economicamente viável para o tratamento de água a bordo. A qualidade da água foi avaliada antes (17/09/2022) e após (13/03/2025) a implantação do sistema, por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os parâmetros físicos analisados foram pH, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, dureza e alcalinidade/acidez. Os parâmetros químicos analisados foram: ferro, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, cloretos, sulfatos, surfactantes e óleos e graxas; e os parâmetros biológicos corresponderam aos coliformes totais e termotolerantes. Os resultados indicaram estabilidade dos parâmetros físicos (pH entre 6,0 e 6,6; temperatura entre 23 e 30 °C) e melhoria significativa dos parâmetros químicos e biológicos após a filtragem, com redução dos principais contaminantes e atendimento aos padrões para águas doces de Classe 1. Durante uma semana de operação, o sistema filtrou, em média, 5.000 litros de água por viagem, volume suficiente para atender aproximadamente 520 passageiros. A facilidade de operação e manutenção demonstrou a viabilidade técnica e econômica do sistema, permitindo o reaproveitamento seguro da água em atividades de bordo. Assim, o sistema de filtragem implantado configura-se como uma tecnologia eficiente e sustentável, reforçando a importância de políticas públicas voltadas à sustentabilidade hídrica e à inovação tecnológica no setor naval.

Palavras-chaves: Qualidade da água; sistema de filtragem; sustentabilidade hídrica; transporte fluvial.

ABSTRACT

The estuarine region of the state of Pará, within the Amazonian context, presents a vast and complex hydrographic network that supports river transport as the main means of mobility and regional integration. In this setting, ferry boats play an essential role in the transportation of passengers and cargo, connecting urban areas and island communities. The Icoaraci (Belém)–Camará (Salvaterra) crossing, on Marajó Island, is one of the most representative routes, serving more than one thousand passengers per day and approximately one hundred thousand per month. Within this context, this dissertation evaluated the efficiency of a compact raw-water filtration system implemented on the ferry boat São Gabriel, with the aim of proposing a practical, sustainable, and economically viable solution for onboard water treatment. Water quality was assessed before (17/09/2022) and after (13/03/2025) the implementation of the system through the analysis of physical, chemical, and biological parameters. The physical parameters analyzed were pH, temperature, electrical conductivity, total dissolved solids, turbidity, hardness, and alkalinity/acidity. The chemical parameters included iron, biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, ammoniacal nitrogen, chlorides, sulfates, surfactants, and oils and greases; the biological parameters comprised total and thermotolerant coliforms. The results indicated stability in physical parameters (pH between 6.0 and 6.6; temperature between 23 and 30 °C) and a significant improvement in chemical and biological parameters after filtration, with reductions in major contaminants and compliance with Class 1 freshwater standards. During one week of operation, the system filtered an average of 5,000 liters of water per trip, a volume sufficient to meet the needs of approximately 520 passengers. The ease of operation and maintenance demonstrated the technical and economic feasibility of the system, enabling the safe reuse of water for onboard activities. Thus, the implemented filtration system constitutes an efficient and sustainable technology, reinforcing the importance of public policies focused on water sustainability and technological innovation in the naval sector.

Keywords: Water quality; filtration system; water sustainability; river transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Layout do casco de ferry-boat	22
Figura 2 - Localização dos pontos de coleta da água	33
Figura 3 - Distância do Porto da Henvil em Icoaraci, até o Porto de Camará em Salvaterra.....	33
Figura 4 - Registro do Material de Coleta da água, (P01) Poço da Empresa; (P02) Baía do Guajará e (P03) Popa da Embarcação.	33
Figura 5 – Vista frontal e vista da popa do Ferry-Boat São Gabriel.....	35
Figura 6 – Vista superior do convés principal do Ferry-boat São Gabriel.....	35
Figura 7 - Vista superior do convés do passadiço do Ferry-boat São Gabriel.	36
Figura 8- Vista superior do convés superior do Ferry-Boat São Gabriel.....	36
Figura 9 - Vista superior do convés do mezanino do <i>Ferry-Boat</i> São Gabriel.	37
Figura 10 - Vista superior do convés Tijupá e Sistema de Filtragem.....	37
Figura 11 - Processo de instalação do sistema de filtragem no convés Tijupá do Ferry-boat São Gabriel.	38
Figura 12 - Vista frontal do sistema de filtragem completo instalado no convés tijupá da embarcação.	39
Figura 13 - Detalhamento dos filtros (1) Filtro para metais pesados, (2) Filtro de camadas múltiplas, (3) Filtro Big 20 e (4) Filtro com carvão ativado.	40
Figura 14 – Comparativo dos parâmetros pré(cor preta) e pós(Cor cinza) (pH, T°C, ALCA, CE, STD, TURB, DUR, ACID).	45
Figura 15 – Comparativo dos parâmetros pré(cor preta) e pós(Cor cinza) (Fe, DBO, OD, NH3-H, NH3, Cl ⁻ , SO ₄ , SURFA).....	49
Figura 16 – Comparativo dos parâmetros pré(cor preta) e pós(Cor cinza) (CTT e CT).	51
Figura 17 - Área de estudo Henvil Navegação e pontos de coleta (P01) Poço do Porto Henvil, (P02) Baía do Guajará, (P03) Popa do Ferry-boat São Gabriel.....	112

Figura 18 – Ferry-Boat São Gabriel.....	113
Figura 19 - Rota realizada pelo Ferry-Boat São Gabriel.....	115
Figura 20 - Vista frontal do sistema de filtragem instalado a bordo do Ferry-Boat São Gabriel no convés Tijupá.....	117
Figura 21 - Esquematização do Sistema de Filtragem e seus componentes.....	119
Figura 22 - Organograma dos elementos filtrantes do sistema de tratamento da água.	121
Figura 23 - Gráficos gerados a partir dos resultados pré (cor preta) e pós-instalação (cor cinza) do sistema de filtragem a bordo do <i>Ferry-boat</i> , dos parâmetros físicos: pH, T°C, ALCA, CE, STD, TURB, DUR e ACID.....	124
Figura 24 - Gráficos gerados a partir dos resultados pré (cor preta) e pós-instalação (cor cinza) do sistema de filtragem à bordo do Ferry-Boat São Gabriel, parâmetros químicos: Fe, DBO, OD, NH ₃ -H, NH ₃ , Cl-, SO ₄ -2 , SURFA.....	124
Figura 25 – Gráficos gerados a partir dos resultados pré (cor preta) e pós-instalação (cor cinza) do sistema de filtragem a bordo do Ferry-Boat São Gabriel, parâmetros bacteriológicos: CTT e CT.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos dos materiais do sistema de filtragem	41
Tabela 2 - Tabela dos parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados.....	42
Tabela 3 - Resultado dos processos físicos da água antes e após a instalação do sistema de filtragem, conforme a Resolução CONAMA nº357/2005 e nº430/2011...	44
Tabela 4 - Resultado dos processos químicos da água, antes e após o processo de filtragem, conforme a Resolução CONAMA nº357/2005 e nº430/2011.	48
Tabela 5 - Resultado dos processos biológicos da água antes e após o processo de filtragem, conforme a Resolução CONAMA nº357/2005.	50
Tabela 6 - Resultados das amostras de água coletada no pré e pós-implantação do sistema de filtragem, parâmetros físicos.	123
Tabela 7 - Resultados das amostras de água coletada no pré e pós-implantação do sistema de filtragem, parâmetros químicos.....	127
Tabela 8 - Resultados das amostras de água coletada no pré e pós-implantação do sistema de filtragem, parâmetros químicos.....	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente;

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio;

IMO: International Maritime Organization (Organização Marítima Internacional);

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

ISPS: Código Internacional para a Proteção de Navios e Instalações Portuárias;

MARPOL: Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios;

mg. L⁻¹: Miligrama por Litro;

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora;

OD: Oxigênio Dissolvido;

pH: Potencial Hidrogeniônico;

SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil;

SOLAS: Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar;

STD: Sólidos Totais Dissolvidos;

STS: Sólidos Totais em Suspensão.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivo geral.....	17
1.3	Objetivos específicos.....	17
1.4	Hipótese de trabalho	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Estudos relacionados ao tema	18
2.2	Contexto Naval e a gestão da água a Bordo	18
2.2.1	Cenário da navegação fluvial e marítima na região amazônica	19
2.3	Embarcação do tipo <i>ferry-Boat</i>	21
2.4	Qualidade da água.....	22
2.5	Águas cinzas.....	24
2.6	Legislação aplicada a área naval e qualidade da água	26
2.7	Tecnologias de tratamento de água em pequena escala e aplicações navais	29
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.1	Hidrografia.....	30
3.2	Clima	31
3.3	Condições oceanográficas	31
4	METODOLOGIA	32
4.1	Pesquisa bibliográfica	32
4.2	Coleta de amostras de água.....	32
4.3	Caracterização do <i>Ferry-boat</i> São Gabriel	34
4.4	Instalação do sistema de filtragem	37
4.5	Análise das amostras de água.....	42
4.6	Processamento de dados e tratamento estatístico.....	43

5	RESULTADOS.....	43
5.1	Parâmetros físicos	43
5.2	Parâmetros químicos	46
5.3	Parâmetros biológicos.....	50
6	COMPARAÇÃO COM OUTROS RESULTADOS.....	51
6.1	Parâmetros físicos.....	51
6.2	Parâmetros químicos	53
6.3	Parâmetros biológicos.....	55
6.4	O que mudou antes e depois do filtro?	57
6.5	Viabilidade ambiental e efeito da instalação do sistema de filtragem.....	58
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
	ANEXO 1: Laudos laboratoriais de análise da qualidade da água pré-implantação do sistema de filtragem.....	72
	ANEXO 2: Laudos laboratoriais de análise da qualidade da água pós-implantação do sistema de filtragem.....	79
	ANEXO 3 - Artigo: Avaliação da qualidade da água em <i>Ferry-Boats</i> na travessia Icoaraci – Camará: Riscos sanitários e impactos ambientais nos estuários paraenses.....	86

1 INTRODUÇÃO

A navegação de passageiros no Brasil, especialmente na Amazônia, tem sido um setor em rápido crescimento nos últimos anos. Em 2022, estima-se que aproximadamente 15 milhões de passageiros viajaram pelos rios do Brasil, um aumento de 5% em relação ao ano anterior. A Amazônia, sendo a espinha dorsal do sistema de transporte fluvial do país, respondeu por cerca de 60% dessas viagens, com uma proporção significativa ocorrendo no estado do Pará (BARROS *et al.*, 2023).

A Ilha do Marajó, situada no extremo norte do Estado do Pará, possui uma configuração territorial onde o transporte hidroviário desempenha um papel essencial na integração entre os 12 núcleos urbanos que a compõem e a região metropolitana de Belém. Nesse contexto, a travessia Belém-Marajó se destaca como representativa de diversas rotas hidroviárias da região amazônica, sendo frequentemente a única alternativa de acesso para muitas localidades. Barcos, lanchas e *ferry boats* integram a malha de transporte e fazem parte do cotidiano da população, viabilizando não apenas o deslocamento de pessoas, mas também o escoamento de produtos e a manutenção de atividades econômicas e sociais na região (TOBIAS *et al.*, 2024).

Entre Belém e a ilha do Marajó, estima-se que mais de 500.000 passageiros fizeram a viagem em 2024. Esta rota é servida principalmente por navios maiores, capazes de transportar entre 100 e 200 passageiros/viagem. Essas embarcações são equipadas com cabines para pernoite, cozinhas e áreas de lazer, proporcionando uma viagem confortável para os passageiros (AGÊNCIA PARÁ, 2024).

LOUREIRO *et al.* (2023) evidenciam que a acessibilidade por via fluvial é, muitas vezes, a única disponível para boa parte da população marajoara, tornando o sistema hidroviário um elemento estrutural fundamental para o desenvolvimento regional. Essa dependência ressalta a necessidade de planejamento e gestão adequados desse modo de transporte, sobretudo diante das alterações nos padrões de demanda observadas após a pandemia de COVID-19. A qualidade do serviço, a frequência das viagens e os custos envolvidos passaram a ser fatores ainda mais críticos para garantir a conectividade e a sustentabilidade social e econômica das comunidades da ilha do Marajó.

Nesse contexto, os rios desempenham um papel vital no ecossistema global. Eles são os principais condutores de água no ciclo hidrológico, transportando nutrientes e minerais essenciais das terras altas para os oceanos, e fornecendo

habitat para uma miríade de espécies aquáticas e terrestres. A poluição aquaviária por embarcações é um fenômeno dinâmico com aspectos infinitamente invariáveis. As suas manifestações dependem da natureza dos produtos poluentes e do poder que as águas receptoras têm para os modificar, diluir e auto depurar (REDE BIM - MARINHA DO BRASIL, 2015).

A poluição é um dos problemas mais prementes, com substâncias químicas, resíduos industriais e agrícolas e esgotos domésticos sendo lançados nos rios, alterando sua química e degradando os ecossistemas que eles sustentam. Um dos principais contribuintes para a poluição dos rios é o despejo de água bruta por embarcações de grande porte. As embarcações de grande porte são definidas como navios projetados para transportar grandes volumes de carga ou muitas pessoas. Eles variam de navios de carga e petroleiros a navios de cruzeiro e balsas, um aumento da poluição através de resíduos sólidos que são descartados propositalmente ou não no mar pelos usuários e funcionários desses empreendimentos (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2017).

Segundo LOUREIRO *et al.* (2023), estima-se que, em média, cada passageiro consoma cerca de 50 litros de água/dia durante viagens longas, considerando atividades como beber, cozinhar, higienizar e utilizar o banheiro. Assim, em uma travessia típica entre Belém e Salvaterra, na Ilha do Marajó, um navio com 100 passageiros pode demandar aproximadamente 5.000 litros de água/dia.

A poluição dos rios tem implicações sérias para a saúde e o bem-estar das comunidades locais. Esse fenômeno pode levar a uma diminuição na disponibilidade de peixes e outros recursos aquáticos, ameaçando a segurança alimentar das comunidades dependentes dessas fontes de alimento. Além disso, a degradação dos rios também pode ter impactos diretos na saúde humana. MOURA *et al.* (2016) mostram que a exposição às águas poluídas pode levar a uma série de problemas de saúde, incluindo doenças diarreicas, infecções de pele e doenças transmitidas pela água.

É vital melhorar o tratamento de águas a bordo das embarcações. O uso de tecnologias avançadas de tratamento pode reduzir significativamente a carga de poluentes e patógenos nessas águas antes de serem descartadas (COUTO, 2015). O tratamento de água a bordo também deve ser complementado por instalações e sistemas destes, em terra, para garantir que as águas descartadas sejam tratadas

adequadamente antes de serem liberadas no ambiente (NOURY e BERTRAND, 2018).

É importante ainda enfatizar a responsabilidade do setor de transporte hidroviário em adotar práticas mais sustentáveis. A indústria tem um papel fundamental a desempenhar na mitigação dos impactos ambientais de suas operações, seja através da adoção de práticas de gestão de resíduos mais eficazes, da implementação de tecnologias de tratamento de água mais avançadas ou da conformidade com regulamentos e diretrizes ambientais (SILVA *et al.*, 2016).

A visão de rios saudáveis e ecossistemas aquáticos prósperos não é inatingível. No entanto, para tornar essa visão uma realidade, é necessário um compromisso generalizado com a sustentabilidade e uma disposição para enfrentar os desafios que a poluição dos rios por embarcações de grande porte apresenta. A saúde dos rios, e do planeta, depende da capacidade de enfrentar esses desafios.

1.1 Justificativa

A presente dissertação de mestrado justifica-se pela necessidade de aprimorar a qualidade da água utilizada a bordo de embarcações de grande porte que operam na Amazônia, considerando os riscos à saúde pública e os desafios associados à captação e ao uso desse recurso em ambientes fluviais e estuarinos. O estudo insere-se no contexto da travessia fluvial Icoaraci–Camará, na Ilha do Marajó, rota caracterizada por elevado fluxo de passageiros, na qual a disponibilidade e a qualidade da água de bordo são fatores determinantes para a segurança sanitária e o conforto dos usuários. O uso e o contato com água de qualidade inadequada podem representar riscos à saúde, incluindo a transmissão de doenças de veiculação hídrica, o que reforça a relevância social e ambiental da pesquisa.

A pesquisa contribui para a área ao avaliar a eficácia de um sistema compacto, simples e acessível de filtração de água bruta destinada ao uso a bordo, configurando-se como uma solução prática diante das limitações operacionais e estruturais típicas de embarcações que atuam em regiões remotas. A eficiência do sistema foi avaliada por meio de análises laboratoriais de parâmetros físicos, químicos e biológicos, bem como pela análise dos custos associados à sua implantação e manutenção. O sistema de filtração, composto por camadas de materiais porosos, atua na retenção de impurezas e no excesso de substâncias indesejáveis, promovendo a melhoria das características físicas, químicas e microbiológicas da

água de bordo. Essa abordagem contribui para o uso mais seguro da água nas atividades embarcadas, fortalece a segurança sanitária e auxilia na preservação da qualidade ambiental dos corpos hídricos amazônicos, alinhando-se aos princípios do uso sustentável dos recursos hídricos na região.

1.2 Objetivo geral

Analisar os efeitos da implantação de um sistema de filtragem compacto sobre a qualidade da água utilizada no *ferry boat* na travessia entre Icoaraci, Belém (PA) – Camará, Salvaterra (PA).

1.3 Objetivos específicos

- Implantar um sistema de filtragem para o tratamento da água utilizada nas pias, torneiras e chuveiros do ferry boat *São Gabriel*, após o seu uso a bordo.
- Analisar os parâmetros: físicos, químicos e biológicos da água em três pontos: (P1) Poço do porto da empresa Henvil Transportes, (P2) Baía do Guajará e (P3) *Ferry-boat* São Gabriel (canalização que lança a água a partir da saída na popa a boreste da embarcação), antes e após a implantação do sistema de filtragem no *Ferry Boat* São Gabriel.
- Realizar um comparativo dos resultados das coletas antes e após o processo de filtragem, identificando a eficiência do sistema implantado.

1.4 Hipótese de trabalho

A hipótese deste trabalho sustenta que as diferentes camadas filtrantes, seixo rolado, areia de quartzo, zeólita, carvão ativado e filtros específicos para metais, atuam de forma complementar na remoção de partículas, matéria orgânica, surfactantes, metais pesados e microrganismos presentes na água utilizada a bordo na embarcação. Presume-se que a passagem sequencial por esses materiais melhore significativamente os parâmetros físico-químicos e biológicos, resultando em água mais limpa, estável e segura para tripulação e passageiros, conforme a configuração do sistema descrito no documento-base.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estudos relacionados ao tema

A qualidade da água em sistemas de abastecimento de *ferry boats* é um tema de crescente preocupação, com a literatura acadêmica destacando sua importância para a saúde pública e a preservação ambiental. A falta de monitoramento sistemático e a ausência de parâmetros regulatórios claros são apontadas como problemas críticos, conforme ressaltado por GIRARDI, PINHEIRO E VENZON (2019). Nesse cenário, o uso sem a filtragem, representa riscos elevados, um problema destacado por CONCEIÇÃO et al. (2018), que sugerem inspeções mais rigorosas para prevenir a poluição.

Pesquisadores como SALES E MARTINEZ (2016) e NIEMEYER (2020) reforçam a urgência em aprimorar os sistemas de tratamento em navios para prevenir a poluição marinha, com NIEMEYER (2020) alertando que muitas embarcações operam em desacordo com a legislação ambiental brasileira. A vulnerabilidade de ecossistemas específicos, como a Baía do Guajará, é documentada por VARELA (2019) e MARINHO (2019), que sublinham a influência de fatores antrópicos na qualidade da água. A má qualidade da água oferecida aos passageiros em embarcações fluviais da Amazônia e a falta de tratamento adequado são confirmadas por PAULA et al. (2019), que identificaram riscos significativos à saúde. Por fim, a pesquisa de LEÃO et al. (2014) aponta a participação de comunidades locais como um elemento-chave para a sustentabilidade e a conservação dos recursos hídricos.

2.2 Contexto Naval e a gestão da água a Bordo

A gestão da qualidade da água a bordo de embarcações fluviais é amplamente discutida na literatura científica, dada sua relevância para a saúde pública e a preservação ambiental. Diversos estudos realizados na região amazônica evidenciam que a água disponibilizada em embarcações frequentemente apresenta padrões de potabilidade insatisfatórios, o que representa um risco iminente à saúde de passageiros e tripulantes. Estudos revelam níveis elevados de contaminação microbiológica em amostras coletadas em diferentes embarcações, com destaque para a presença de *Escherichia coli*, indicadora de contaminação fecal (PAULA et al., 2019).

O descarte inadequado de água utilizada a bordo por embarcações contribui significativamente para a degradação de ecossistemas aquáticos frágeis. Essa prática intensifica a pressão sobre os corpos hídricos, sobretudo em áreas próximas a grandes centros urbanos, onde a água de bordo é frequentemente lançada diretamente nos rios, resultando em sobrecarga da qualidade ambiental local (VARELA, 2019; MARINHO, 2019).

Embora existam regulamentações internacionais e nacionais, como a CONVENÇÃO MARPOL 73/78 e as diretrizes brasileiras NORMAM e CONAMA 357/2005, a literatura destaca a baixa efetividade na fiscalização e aplicação dessas normas, sobretudo em embarcações de menor porte. GIRARDI, PINHEIRO e VENZON (2019) apontam a ausência de parâmetros específicos e sistemáticos para monitorar a qualidade da água em operação, enquanto NIEMEYER (2020) reforça que essa lacuna permite que muitas embarcações operem em desacordo com a legislação ambiental vigente.

Assim, medidas mitigadoras de prevenção e correção demandam a participação articulada de diferentes atores, incluindo órgãos de fiscalização, empresas de navegação e comunidades locais. A integração e participação destes atores torna-se essencial para a redução dos impactos negativos oriundos da movimentação de embarcações, visto que afeta diretamente a saúde humana e os ecossistemas aquáticos (LEÃO *et al.*, 2014).

Nesse sentido, a literatura converge para a necessidade de estratégias eficazes de monitoramento, tratamento e gestão da água a bordo, visando não apenas à conformidade legal, mas também à mitigação de riscos ambientais, em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), neste caso o ODS nº 6 que trata da água potável e saneamento e nº 14 Vida na água, promulgado através da Agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas (ONU) e a promoção do uso sustentável dos recursos hídricos (ONU, 2015).

2.2.1 Cenário da navegação fluvial e marítima na região amazônica

A abundância de rios e a busca pela integração nacional com o restante do país é de suma importância, uma vez que favorece o desenvolvimento econômico de uma dada região. No contexto atual, em que modais como rodoviário e ferroviário, que apresentam infraestrutura deficitária, a navegação fluvial surge como um importante elemento seja como principal meio de transporte, seja para a mobilidade de

comunidades ribeirinhas, em especial na região norte que necessita deste recurso e, principalmente para o consumo e realização de atividades domésticas (VELASQUEZ, 2021).

A importância da manutenção contínua das hidrovias, garante a segurança e eficiência do transporte aquaviário. A ausência de investimentos em dragagem e sinalização adequadas compromete a navegabilidade e aumenta os custos operacionais. Assim, estas regiões que necessitam constantemente dos rios carecem de uma gestão integrada e planejamento estratégico para superar as deficiências estruturais e promover o desenvolvimento sustentável da infraestrutura aquaviária no Brasil (GONÇALVES, 2024).

Na região Norte do Brasil, especialmente na Amazônia, a navegação fluvial é essencial para a mobilidade e o escoamento de mercadorias. A vasta rede hidrográfica, composta por rios como o Amazonas, Negro e Madeira, é utilizada como principal meio de transporte, conectando áreas remotas e facilitando o comércio local. Entretanto, a sazonalidade das chuvas e a falta de investimentos em infraestrutura adequadas impactam negativamente a confiabilidade e a segurança das operações (SANTOS, 2019)

Além dessa ausência de investimentos e infraestrutura, outro entrave que dificulta a expansão de mercado e desenvolvimento são as barreiras burocráticas que comprometem as modalidades da navegação, dentre elas a cabotagem. Surgem como obstáculos, de ordem administrativa e fiscal que restringem seu pleno desenvolvimento. Nesse contexto, a busca pela desburocratização de processos regulatórios, são medidas fundamentais para otimizar a operação da cabotagem, aumentando sua competitividade e contribuindo para a expansão sustentável do setor (ALDERY, 2024).

A navegação fluvial e marítima no Brasil enfrenta desafios ambientais significativos. SILVA (2019), aponta que as atividades de transporte aquaviário contribuem para a degradação ambiental, incluindo a poluição dos corpos hídricos, por meio do lançamento das águas utilizadas a bordo sem o devido tratamento, e a ameaça à biodiversidade local. A implementação de práticas sustentáveis e a adoção de tecnologias mais limpas são essenciais para mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor.

Diante deste contexto, torna-se essencial o fortalecimento da fiscalização e o cumprimento das normas ambientais por parte das autoridades competentes.

Ademais, a conscientização da população em relação à importância da preservação dos recursos hídrico é fundamental para promover mudanças de comportamento e garantir a sua sustentabilidade (LIU *et al.*, 2023).

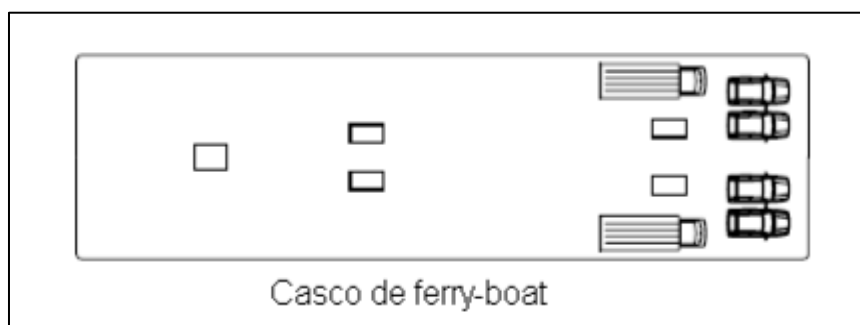
Intervenções para reduzir os impactos da poluição nos rios causada por embarcações têm se tornado uma preocupação crescente devido aos efeitos negativos na qualidade da água e nos ecossistemas aquáticos. Neste contexto, a adoção de medidas efetivas que minimizem o impacto da poluição por efluentes provenientes das atividades da navegação é necessária e fundamental (ALVES, 2020).

2.3 Embarcação do tipo *ferry-Boat*

MORETTO (2016) diz que a embarcação do tipo *ferry-boat*, também chamada de balsa, utilizada para transporte de veículos e passageiros possui fundo chato e pequeno calado opera em águas rasas e próximas às margens. A distribuição de água em embarcações de grande porte, como *ferry-boats*, é um processo complexo que requer cuidados específicos para garantir o abastecimento adequado de água potável aos passageiros e tripulantes, conforme a figura 1 que apresenta o layout da embarcação.

Conhecidos como *ferry-boats* na Região Amazônica possuem em sua estrutura cascos com formatos quadrados e simples semelhantes ao casco estrutural de balsas. O que torna o processo de construção facilitado e rápido, uma vez que detém um número maior de chapas planas, com convés maior com o objetivo de portar casarias, passageiros, cargas e automóveis. Além do espaço, conta com rampas de acesso para embarque e desembarque, geralmente localizados na proa, na navegação mesmo com mais um convés superior estas embarcações acabam por ficar limitadas em relação ao número de passageiros devido aos critérios de estabilidade, e a boca mais larga presentes neste tipo de embarcação torna-se mais resistente ao avanço o que acarreta menor velocidade destes tipos de embarcação (MORETTO, 2016).

Figura 1 – Layout do casco de ferry-boat



Fonte: MORETTO, 2016.

Nas embarcações, a captação de água é realizada de diversas formas para garantir o suprimento necessário. Uma das principais formas é dada através da água doce proveniente de fontes terrestres, como rios e lagos. Quanto a estrutura obrigatória para a NR 30, que trata sobre a segurança e saúde no trabalho aquaviário, especificamente em seu tópico 30.8.1, determina ser obrigatório que as embarcações possuam água potável suficiente para atender às necessidades de todos os passageiros e tripulantes a bordo (BRASIL, 2002).

Toda embarcação comercial deve ter a bordo o aprovisionamento de víveres e água potável, observados:

- a) a duração e a natureza da viagem;
- b) o número de tripulantes;
- c) Emergências (BRASIL, 2002).

2.4 Qualidade da água

Diante do exposto, o recurso essencial para a navegação e para as populações que utilizam para diversos fins é a água. Entender a importância da garantia deste meio é primordial para uso consciente e sustentável.

A água Classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, é essencial para abastecimento humano, recreação de contato secundário e dessedentação de animais. No Brasil, onde terminais hidroviários e rotas fluviais sustentam transporte de passageiros e cargas, a relação entre qualidade do manancial e potabilidade a bordo é estratégica. Em rios amazônicos e estuarinos, a captação de água Classe 2 exige tratamento rigoroso e monitoramento constante. Na ausência de enquadramento oficial, águas doces são consideradas Classe 2, reforçando a

necessidade de vigilância contínua e aplicação de barreiras múltiplas para prevenir contaminação (BRASIL, 2005).

Elementos como fósforo, potássio e nitrogênio são resultados da decomposição orgânica que ocorre em lagos, rios e lençóis freáticos. Tais substâncias são fontes de nutrientes para vegetação em geral quando usados para irrigação. Além disso, tal recurso consegue ser reutilizado em áreas de paisagismo, onde construtores e planejadores utilizam para efetuar o tratamento de águas cinzas *in situ*.

Relatórios estaduais indicam que os parâmetros como oxigênio dissolvido, nutrientes e indicadores microbiológicos figuram entre as desconformidades mais frequentes, especialmente em períodos de cheia, quando a carga difusa de poluentes aumenta (CETESB, 2023). A Agência Nacional de Águas(ANA) reforça que o enquadramento assegura qualidade compatível com os usos mais exigentes e reduz custos de combate à poluição por meio de ações preventivas alinhadas à realidade portuária e da navegação interior.

Em embarcações, riscos adicionais incluem perda do residual de desinfetante, pH inadequado, formação de biofilmes e recontaminação em bebedouros e pias. Estudos apontam presença de coliformes e *Escherichia coli* a bordo, tornando essenciais planos de amostragem periódicos, manutenção preventiva e registros atualizados de potabilidade (SILVA *et al.*, 2022). Diretrizes nacionais, como as do Ministério da Saúde (2024) e a RDC nº 664/2022 da ANVISA, definem parâmetros, métodos e exigências documentais aplicáveis a operações de bordo. Normas abrangem padronização de processos, *checklists* e laudos técnicos, garantindo rastreabilidade e conformidade sanitária.

A ANVISA reforça o controle em portos e embarcações, incluindo certificações para “água potável a bordo”. Essas medidas fortalecem a governança que integra qualidade do corpo hídrico, eficiência do tratamento e segurança sanitária na armazenagem e distribuição. Garantir padrões Classe 2 na origem e potabilidade no destino exige articulação entre gestão hídrica, vigilância e boas práticas, especialmente nas rotas amazônicas, vitais à mobilidade e saúde pública.

Apesar disso, é importante que essa iniciativa seja complementada por políticas públicas mais amplas, conforme apontado por SILVA *et al.* (2022), para combater as fontes de poluição, incluindo mineração ilegal, agricultura intensiva e urbanização descontrolada. A melhoria da qualidade da água e a proteção da biodiversidade são

essenciais para o desenvolvimento sustentável da região e para a subsistência das comunidades que dependem dos rios (BATISTA *et al.*, 2021).

O lançamento da água a bordo sem o tratamento adequado, culmina em alterações na qualidade da água, afetando a fauna aquática e comprometendo a saúde humana (SILVA *et al.*, 2022). Além disso, SANTOS *et al.* (2018) destacam a importância do tratamento da água bruta para minimizar os impactos negativos. Os efeitos da poluição também refletem na saúde humana de modo significativo, uma vez que ao utilizar a água para abastecimento e consumo sem o devido tratamento da água, a presença de patógenos e substâncias químicas nocivas causa doenças como gastroenterites e infecções (SANTOS, 2019).

2.5 Águas cinzas

As águas cinzas de embarcações correspondem às correntes de drenagem geradas por atividades domésticas a bordo, como pias e cubas de cozinha, lavatórios, chuveiros, banheiras, lavanderias e máquinas de lavar louça, excluindo-se os efluentes sanitários oriundos de vasos sanitários e mictórios (conhecidos como “águas negras” ou esgoto). Em termos regulatórios e operacionais, essa distinção é central, pois “águas cinzas” não são consideradas esgoto, salvo quando misturadas a ele. Definições recentes reproduzidas por entidades do setor e autoridades marítimas alinham-se ao entendimento da IMO (BIMCO, 2025; BAHAMAS MARITIME AUTHORITY, 2022).

No contexto náutico, as fontes de água cinza variam conforme o tipo e o perfil operacional da embarcação. Em cruzeiros e balsas de passageiros, a contribuição da cozinha e da hotelaria de bordo tende a elevar cargas de sólidos, nutrientes (nitrogênio e fósforo), surfactantes e graxas/óleos, enquanto em embarcações de carga destacam-se drenagens de lavatórios e chuveiros da tripulação. Inventários regionais recentes mostram que a magnitude dos despejos vem crescendo com a retomada e expansão da frota de cruzeiros, o que amplia a relevância ambiental desse fluxo no tráfego marítimo contemporâneo (HELCOM, 2024; EMSA, 2025).

Quanto à composição, águas cinzas podem conter sólidos suspensos, matéria orgânica (MO) biodegradável, nutrientes, surfactantes e traços de metais e microrganismos, especialmente nos efluentes de cozinha e lavanderia. Estudos técnicos e guias de gerenciamento em áreas sensíveis (como o Báltico e o Alasca)

documentam a variabilidade dessas cargas conforme a fonte a bordo e a ocupação do navio, reforçando a necessidade de tratamento ou retenção adequada antes do descarte. Relatos recentes também destacam o papel das microfibras têxteis oriundas da lavanderia como vetor de microplásticos no meio marinho (OCEAN CONSERVANCY, 2021).

Do ponto de vista de gestão e conformidade, algumas jurisdições vêm adotando medidas específicas para águas cinzas, sobretudo para navios de cruzeiro como proibições de lançamento próximo à costa e exigência de tratamento avançado ou armazenamento até condições apropriadas de descarte. Exemplos recentes incluem ordens e boletins de segurança marítima no Canadá, que restringem o lançamento de águas cinzas a determinadas distâncias da costa e sob condições operacionais definidas, refletindo uma tendência regulatória de maior controle desse efluente (TRANSPORT CANADA, 2025; TRANSPORT CANADA, 2024).

Com isso, as avaliações e auditorias ambientais na União Europeia e relatórios técnicos regionais indicam que o despejo de águas cinzas integra o conjunto de pressões antrópicas sobre a qualidade da água, demandando integração com políticas de porto-receptor, tratamento a bordo, quando tecnicamente disponível e monitoramento. Em paralelo, a literatura recente vem propondo estratégias de amostragem e caracterização específicas para águas cinzas, com vistas a padronizar métodos e apoiar decisões de engenharia e regulação (EUROPEAN COURT OF AUDITORS, 2025; MARINE POLLUTION BULLETIN, 2024).

A falta de tratamento da água a bordo, prejudica a fauna local e a saúde humana, uma vez que funciona como vetor principal para doenças parasitárias e infecciosas em humanos, gera processos como a eutrofização que impacta diretamente a ictiofauna. Através do aumento de MO que diminuiu consideravelmente a quantidade de oxigênio dissolvido na água, ocasionando na morte de peixes. Além da possibilidade de eutrofização pela presença de nutrientes, provoca o crescimento acelerado de algas que conferem odor, gosto e biotoxinas à água, tendo consequências catastróficas para quase todos os organismos vivos que povoam a zona nerítica, suficiente para deteriorar e até mesmo destruir totalmente o mundo subaquático (YTREBERG, SMITH e JONES, 2020).

2.6 Legislação aplicada a área naval e qualidade da água

Embarcações de grande porte, utilizadas para o transporte de passageiros, devem seguir rigorosos requisitos normativos e legislativos para garantir tanto a segurança quanto o conforto a bordo. Além disso, a produção e o descarte adequado de resíduos e águas cinzas são essenciais para uma operação sustentável em conformidade com as legislações ambientais (GASPAR *et al.*, 2021).

No que concerne à estrutura das embarcações é imprescindível considerar as normas e legislações vigentes. De acordo com SMITH (2018), a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), estabelecida pela Organização Marítima Internacional (IMO), é uma das principais regulamentações aplicáveis a essas embarcações. A SOLAS define padrões técnicos e operacionais para garantir a segurança dos passageiros, abordando desde a estabilidade estrutural do navio até as medidas de prevenção e combate a incêndios.

Além da SOLAS, outras normas e legislações específicas também devem ser observadas. Segundo JONES (2020), a Resolução A.1073(28) da IMO é relevante para os navios de passageiros que operam em rotas não internacionais. Essa resolução estabelece diretrizes para garantir a segurança dos passageiros, abrangendo requisitos de estabilidade, compartimentação, sistemas de combate a incêndios e procedimentos de evacuação.

No que diz respeito à produção e descarte de lixo e água cinza, é essencial que as embarcações de grande porte adotem medidas apropriadas para minimizar o impacto ambiental. Conforme apontado por PAULA *et al.* (2019), a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, conhecida como Convenção MARPOL, é o principal instrumento regulatório nesse sentido. A MARPOL estabelece diretrizes para o controle da poluição proveniente das embarcações, incluindo disposições específicas para o descarte de resíduos e água cinza.

O descarte de água cinza em embarcações de grande porte é regulamentado pela MARPOL, que estabelece normas para a prevenção da poluição por esgoto proveniente de navios. No entanto, é importante ressaltar que mesmo a água cinza, considerada menos poluente que o esgoto sanitário, pode conter substâncias que afetam a qualidade da água e os ecossistemas marinhos. De acordo com JOHNSON *et al.* (2017), a presença de detergentes, produtos químicos de limpeza e resíduos

orgânicos pode contribuir para a eutrofização das águas, causando desequilíbrios nos ecossistemas costeiros e levando à proliferação de algas nocivas.

Diante desses riscos ambientais, é fundamental que as embarcações adotem medidas para minimizar a geração de água cinza e tratar adequadamente aquela que é produzida. Isso pode ser feito por meio da instalação de sistemas de filtragem e tratamento, que removam as impurezas e substâncias indesejáveis antes do descarte. Adicionalmente, é importante promover a conscientização entre os passageiros e tripulantes sobre a preservação dos recursos hídricos e do correto manejo da água a bordo (ALVES, PAGLIOSA, 2017).

No caso da água cinza, que engloba as águas residuais provenientes de banheiros, chuveiros e lavatórios, é necessário seguir diretrizes específicas para o seu tratamento e descarte adequado. De acordo com JOHNSON (2021), a MARPOL estabelece que a água cinza deve passar por um sistema de tratamento a bordo da embarcação antes de ser descarregada no mar. Esse sistema de tratamento visa remover sólidos suspensos, óleos e substâncias químicas para garantir que a água cinza atenda aos padrões de qualidade ambiental estabelecidos.

Além das regulamentações internacionais, é importante considerar as legislações nacionais e regionais aplicáveis. Internacionalmente, a notar a União Europeia, a Diretiva 2000/59/CE estabelece medidas para prevenir a poluição por navios e melhorar a gestão de resíduos marítimos, incluindo a coleta e o tratamento adequado de resíduos gerados a bordo de navios de passageiros.

No Brasil, a legislação ambiental estabelece normas e diretrizes para o controle e o tratamento de águas cinzas provenientes de embarcações. A Resolução CONAMA nº 430/2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Essa norma estabelece limites para a carga orgânica, a presença de coliformes fecais e outros parâmetros que devem ser observados pelas embarcações, visando à preservação da qualidade dos corpos d'água. Em relação ao armazenamento é comum a utilização de tanques os quais são projetados para garantir a preservação da qualidade da água e a sua disponibilidade ao longo da viagem (PAULA *et al.*, 2019). Os sistemas de armazenamento obedecem a normas e padrões, pois são construídos com materiais atóxicos e resistentes à corrosão; além da limpeza e a desinfecção periódica desses reservatórios são essenciais para evitar a contaminação da água. Normas como a NBR 5626/1998 da ABNT estabelecem os requisitos para a instalação de reservatórios e sistemas de abastecimento de água.

Além disso, a Organização Marítima Internacional (OMI), assegurada pela Resolução A.753(18) da OMI, determina que a limpeza e desinfecção dos tanques devem ser realizadas regularmente, a fim de evitar a contaminação microbiológica da água.

Dentro de embarcações a água disponibilizada aos passageiros e tripulantes deve atender a padrões da qualidade da água para garantir acesso seguro. Isso requer a instalação de um sistema de tubulações que conecte os tanques de armazenamento aos pontos de consumo, como banheiros, cozinhas e áreas comuns. JOHNSON (2017) destaca a importância de sistemas de tubulação adequados, com dimensionamento correto e manutenção regular para evitar vazamentos e garantir a pressão adequada em todas as áreas da embarcação. Essas tubulações devem ser projetadas e construídas de acordo com as normas técnicas aplicáveis, a fim de evitar vazamentos e contaminações.

Além das normas e legislações, é fundamental que as embarcações adotem práticas de gestão ambiental responsável. A implementação de sistemas de tratamento de águas cinzas e negras a bordo, como filtros biológicos e estações de tratamento, é uma medida eficaz para minimizar a poluição dos rios. Esses sistemas são capazes de remover contaminantes e reduzir a carga orgânica antes do descarte (COMER, GEORGEFF, OSIPOVA, 2020). A Resolução CONAMA nº 430 de 30 de maio de 2011, define efluentes como todo e qualquer despejo líquido proveniente de diversas atividades ou processos. Define ainda esgoto sanitário como uma denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora que podem conter certa quantidade de efluentes industriais e efluentes não domésticos (BRASIL, 2011).

Por definição, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) o esgoto é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. Compõe essencialmente a água de banho, urina, fezes, restos de comida, detergentes e águas de lavagem, gerados a partir da água de abastecimento e, portanto, sua medida resulta da quantidade de água consumida. São constituídos, aproximadamente, de 99,9% de líquido e 0,1% de sólido (ABNT, 1986).

2.7 Tecnologias de tratamento de água em pequena escala e aplicações navais

A implementação de sistemas de filtragem compactos simples de águas brutas em embarcações representa um avanço significativo no tratamento de água para atender às demandas de qualidade e segurança necessárias, principalmente em ambientes de consumo humano (MACIEL, OLIVEIRA e SILVA., 2021). Esses sistemas são compostos por diversas camadas de elementos filtrantes, cada um desempenhando um papel crucial no processo de purificação da água. SILVA (2019) e SOUZA (2020) destacam a importância desses sistemas para a garantia da potabilidade da água em embarcações, ressaltando sua eficiência na remoção de partículas, sedimentos, lama e sólidos em suspensão, tornando-os ideais para a filtragem doméstica de água devido ao nível de dureza e tenacidade.

O sistema de filtragem compacto adota diversas camadas de elementos filtrantes, cada um desempenhando um papel específico na purificação da água. O carvão ativado, por exemplo, possui alta porosidade e capacidade de coletar gases, líquidos e impurezas, sendo eficiente na clarificação, retirada de odores e purificação de líquidos e gases. Já o carvão antracitoso, isento de impurezas e mecanicamente resistente, é destinado ao tratamento de água potável e efluentes industriais via processo de filtração (SOUZA, 2020).

A Zeólita é eficaz na remoção de compostos orgânicos e diversos elementos indesejados da água, como ferro, manganês, amônia e cloro, proporcionando melhorias na turbidez e no sabor da água. O quartzo, devido à sua estrutura cristalina e granulometria específica, é capaz de reter impurezas em diferentes fases do processo de filtragem, sendo fundamental para a remoção de sólidos e impurezas presentes na água enquanto o quartzo, devido à sua estrutura cristalina e granulometria específica, é capaz de reter impurezas em diferentes fases do processo de filtragem. A zeólita. (MACIEL, OLIVEIRA e SILVA, 2021).

A areia, com sua capacidade de filtração física das partículas sólidas, e o seixo rolado, que elimina impurezas sólidas, também desempenham papéis fundamentais nesse sistema (SILVA, 2019). Além disso, a utilização do filtro a bordo do *ferry boat*, juntamente com o processo de filtração ascendente, representa uma mudança significativa na qualidade da água produzida, alinhando-se com as diretrizes da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Essa portaria estabelece

normas sobre as redes do Sistema Único de Saúde, visando a garantia da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2017).

A areia é essencial para a filtração física das partículas sólidas, removendo turbidez, partículas e materiais em estado de emulsão, melhorando significativamente a cor e o sabor da água. Já o seixo rolado, também conhecido como pedregulho, é capaz de eliminar impurezas sólidas da água, desempenhando um papel importante no processo de filtração física (GOVARDHAN, NARAYANA e KUMAR., 2018).

A substituição das camadas de elemento filtrante é recomendada a cada 18 meses, garantindo a eficiência contínua do sistema. O carvão ativado, por exemplo, é amplamente utilizado em filtros domésticos e industriais, sendo capaz de eliminar o cloro e outras impurezas da água. Já o carvão antracitoso oferece uma alta vazão de filtragem, o que reduz a necessidade de retrolavagens e proporciona um melhor desempenho no tratamento de água (SOUZA, 2020).

Os benefícios advindos do sistema de filtragem compacto são inúmeros e abrangentes. Além de remover o cloro, o gosto e o odor da água, esse sistema proporciona um processo de filtragem 100% natural e sem ações mecanizadas, o que contribui para a preservação do meio ambiente. Sua facilidade de instalação e manutenção torna-o uma opção viável em diferentes contextos, enquanto a retenção de partículas sólidas em suspensão, como areia, argila e ferrugem, garante a qualidade da água produzida (SOUZA, 2020).

Além dos benefícios em manter a qualidade da água e à proteção ambiental, a instalação do sistema de filtragem em balsas e em outros tipos de embarcações, é uma solução viável para combater a poluição dos rios, na ilha do Marajó e Baía do Guajará (CAMPOS *et al.*, 2022). Essa medida contribui para a sustentabilidade da região e gera impactos econômicos positivos, como o aumento da produtividade na pesca e na agricultura, proporcionando uma fonte de renda mais estável para as comunidades locais (CARVALHO *et al.*, 2020).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Hidrografia

A bacia hidrográfica do Rio Guamá abrange uma área de 115.000 km². O Rio Guamá, seu principal curso d'água, possui 570 km de extensão. A Baía do Guajará é formada pela confluência dos rios Guamá e Acará, sendo influenciada por vazões

fluviais, marés, e processos sedimentares (SILVA, 2018). Segundo MARINHO (2019), na baía de Guajará deságuam os igarapés Val-de-Cães, Una, Bacuri e o furo do Maguari o qual separa a Ilha de Caratateua, em Outeiro, do continente. Os rios e lagos dessa região são utilizados para o abastecimento de água, pesca, transporte e lazer. O rio Guamá vem sendo utilizado para diversas atividades, como transporte de cargas, pesca, irrigação e abastecimento de água para as populações locais, desempenha ainda um papel essencial no fornecimento de água para Belém (CARNEIRO *et al.*, 2024). Durante a cheia, a descarga hídrica dos rios aumenta, elevando o nível da água e reduzindo a salinidade, enquanto na seca, a influência da maré se torna mais pronunciada.

3.2 Clima

A região de estudo localiza-se na Zona Climática Tórrida (muito quente), situada no paralelo 11°43'30", no subequador meridional. A temperatura média varia entre 22,5°C e 28,2°C, predominando o clima equatorial úmido, no subdomínio oriental. A precipitação anual atinge cerca de 2.001 mm, sendo o mês de março o mais chuvoso do ano (INMET, 2023). O período chuvoso ocorre de dezembro a maio, com índices entre 283,5 mm e 323,6 mm, enquanto o seco vai de agosto a novembro, com 120,1 mm a 128,7 mm (NOVAIS e MACHADO, 2023).

3.3 Condições oceanográficas

O regime de marés é semidiurno com variação de 2,1 m em preamar de quadratura, e 3,7 m em preamar de sizígia. Na Baía de Guajará, durante a sizígia, as correntes de maré se implantam inicialmente no Canal do Porto e, somente cerca de 35 a 45 minutos após, passam a dominar nos canais do Meio e da Ilha das Onças. As correntes de maré atingem velocidade de até 2 m/s e promovem o transporte de sedimentos, contribuindo para a formação de bancos de areia e modificações no fundo estuarino. (MENDES, 2013).

Segundo Oliveira (2019), o mecanismo de entrada da maré salina na Baía de Guajará se dá no período entre o final da vazante e o início da enchente, quando as águas provenientes dos rios Guamá e Guajará-Açu, com salinidade baixa (0,04- 0,12), ocupam todo o canal de vazante pela margem esquerda da baía. Por outro lado, no

canal de enchente, registram-se valores de salinidade variando entre 0,15-0,42, indicando a entrada das águas mais condutivas salobras e não fluviais.

4 METODOLOGIA

4.1 Pesquisa bibliográfica

Para fundamentar tecnicamente a dissertação de mestrado, realizou-se a pesquisa bibliográfica em bases nacionais e internacionais, com foco em artigos científicos, teses e documentos técnicos que abordam a aplicação de sistemas de filtragem para tratamento de águas brutas, com ênfase em ambientes embarcados.

A abordagem metodológica acerca do trabalho em questão foi realizada por meio de levantamento de pesquisa bibliográfica nas plataformas de pesquisa da CAPES e SciELO, com o objetivo de obter informações relevantes sobre as técnicas utilizadas para a coleta e análise da qualidade da água, artigos científicos e documentos oficiais, bem como por visitas in loco às áreas de estudo.

4.2 Coleta de amostras de água

As amostras de água foram coletadas em duas fases e em três pontos de amostragem (Figura 2), antes da implantação do sistema de filtragem (17/09/2022) e após a sua implantação (13/03/2025). Os pontos de coleta corresponderam a: (P1) poço do porto da empresa Henvil Transportes, no Distrito de Icoaraci (Belém-PA); (P2) Baía do Guajará; e (P3) Ferry-boat *São Gabriel* (canalização que lança a água a partir da saída na popa a boreste da embarcação). A Figura 3 apresenta a distância entre o porto de Icoaraci e o porto de Camará, conforme indicado na imagem em destaque, contextualizando espacialmente a área de estudo e a rota analisada.

Figura 2 - Localização dos pontos de coleta da água



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 3 - Distância do Porto da Henvil em Icoaraci, até o Porto de Camará em Salvaterra



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Figura 4 - Registro do Material de Coleta da água, (P01) Poço da Empresa; (P02) Baía do Guajará e (P03) Popa da Embarcação.



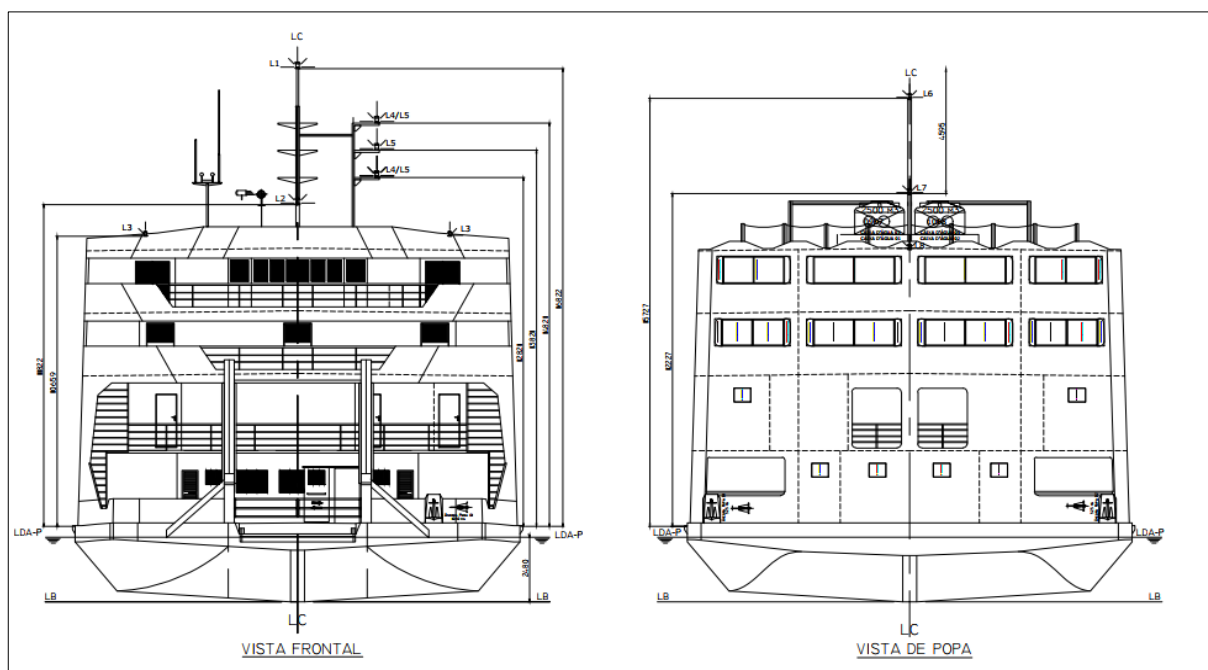
Fonte: Acervo próprio, 2024.

4.3 Caracterização do Ferry-boat São Gabriel

O *Ferry-boat* São Gabriel (Figura), é tipificado como embarcação de carga geral e de passageiros, com porte bruto de 1207,82 toneladas e arqueação bruta de 1.545, comprimento total de 83,70 m, boca 16,00m e calado de 2,38m. O material da sua estrutura (casco, conveses, anteparas e casarias) e superestruturas é constituído de aço. A compartimentagem é distribuída em: Convés Principal – Salão de Acessibilidade; Convés principal – Banheiro de Acessibilidade; Convés Principal – Banheiro de acessibilidade BE; Convés Principal – Paiol BB; Convés Principal – Paiol BE; Convés Principal – Acesso a Praça de Máquinas BB; Convés Principal – Acesso

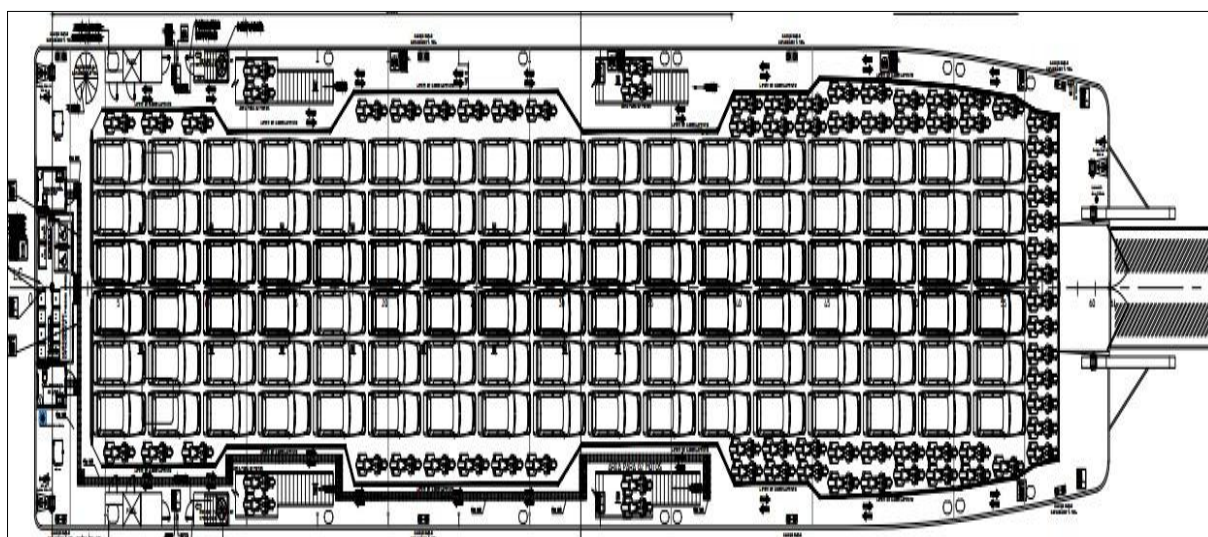
a Praça de Máquinas BE (Figura); Mezanino – Camarotes; Mezanino – Cozinha (Figura); Convés do Passadiço – Casaria (Figura) e Convés Superior – Casaria (Figura). A capacidade está estipulada para 8 tripulantes e 1.120 passageiros. Quanto a capacidade de armazenagem é seccionada em doze partes: 3 tanques sépticos (18,15m³); 2 tanques de óleo diesel (10,64m³); 1 tanque de água potável (28 m³); 4 Caixas d'água (10 m³) e 2 tanques de lastro (40,13 m³).

Figura 5 – Vista frontal e vista da popa do Ferry-Boat São Gabriel.



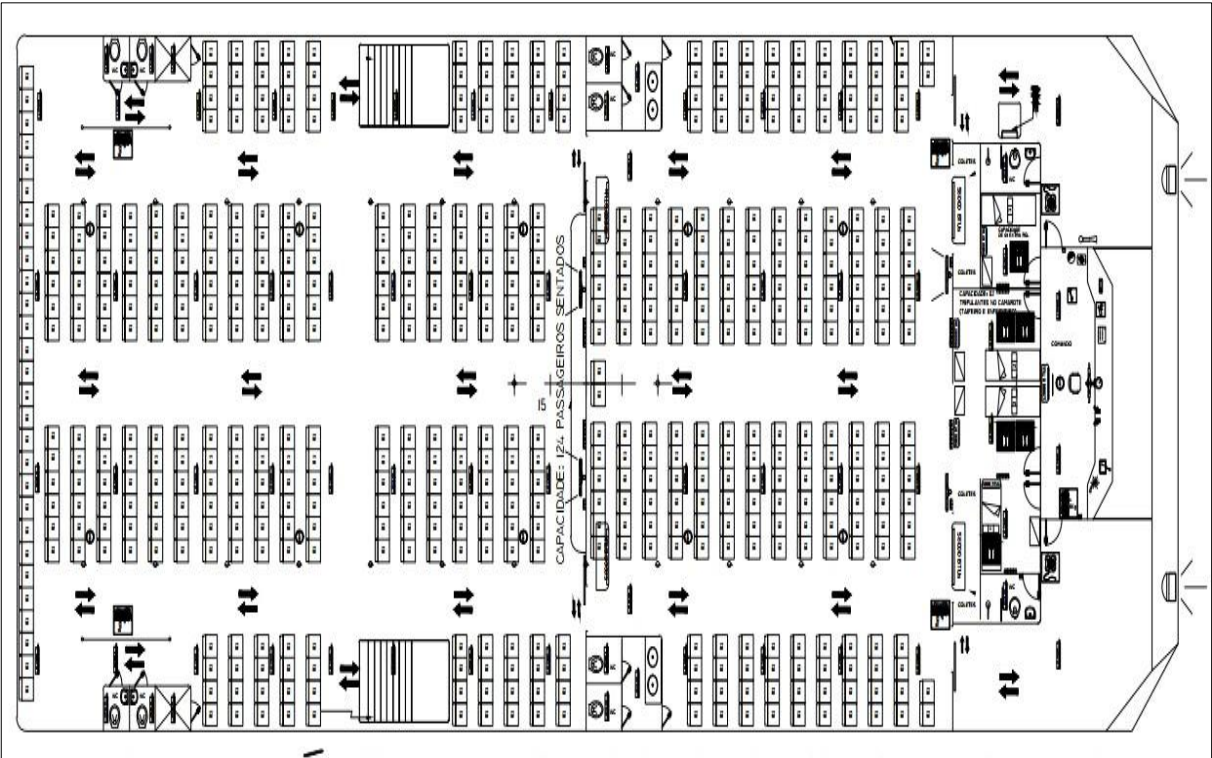
Fonte: HENVIL TRANSPORTES LTDA, 2024.

Figura 6 – Vista superior do convés principal do Ferry-boat São Gabriel.



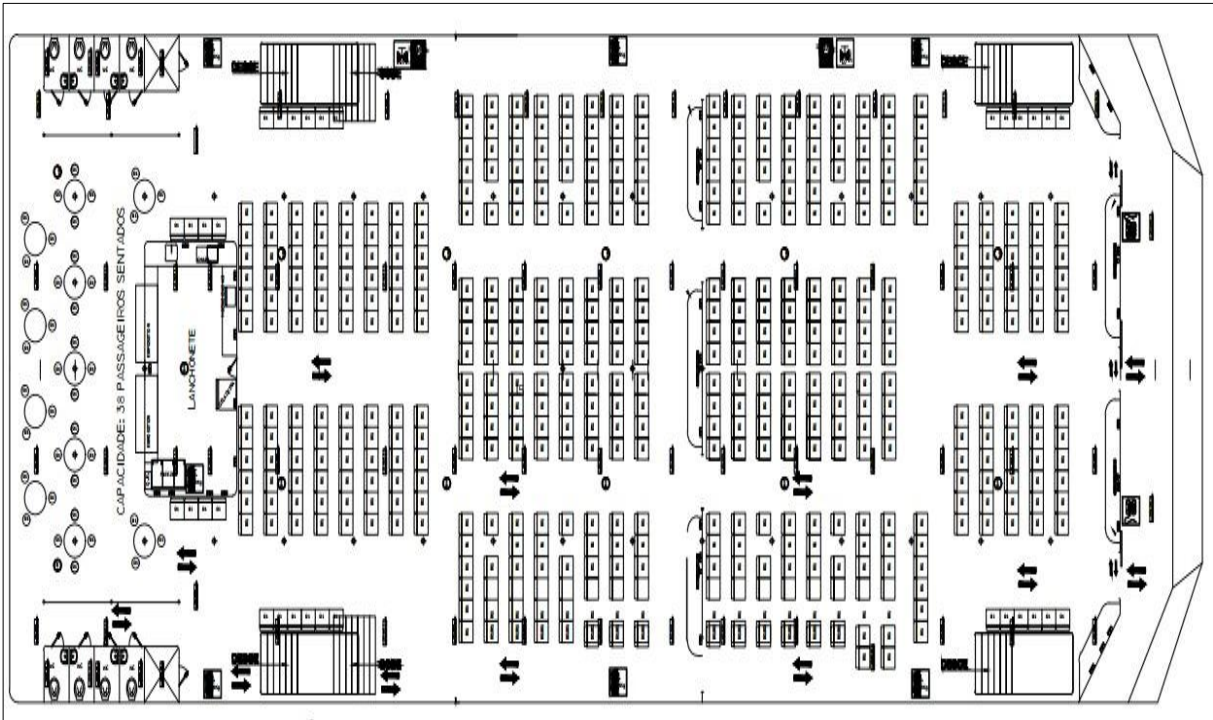
Fonte: HENVIL TRANSPORTES LTDA, 2024.

Figura 7 - Vista superior do convés do passadiço do Ferry-boat São Gabriel.



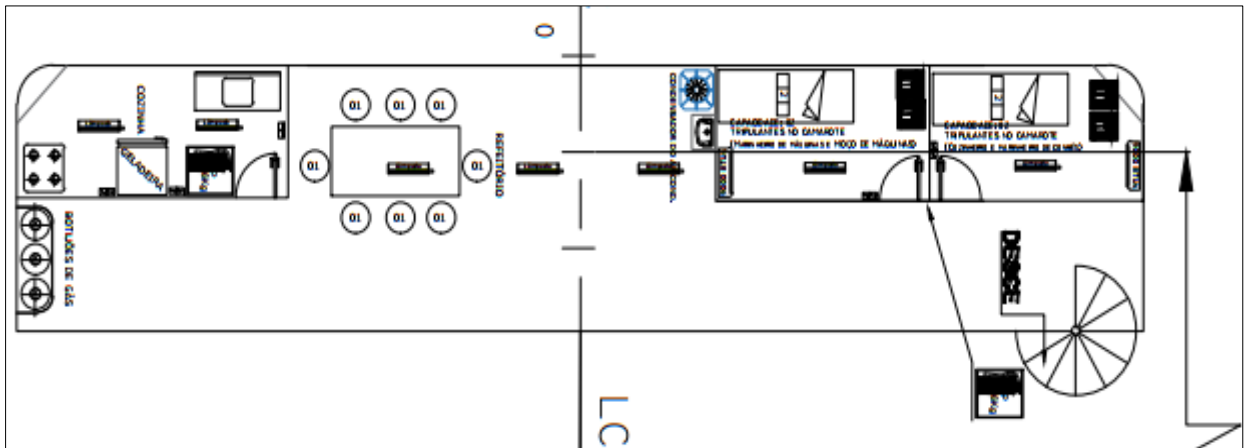
Fonte: HENVIL TRANSPORTES LTDA, 2024.

Figura 8- Vista superior do convés superior do Ferry-Boat São Gabriel.



Fonte: HENVIL TRANSPORTES LTDA, 2024.

Figura 9 - Vista superior do convés do mezanino do Ferry-Boat São Gabriel.

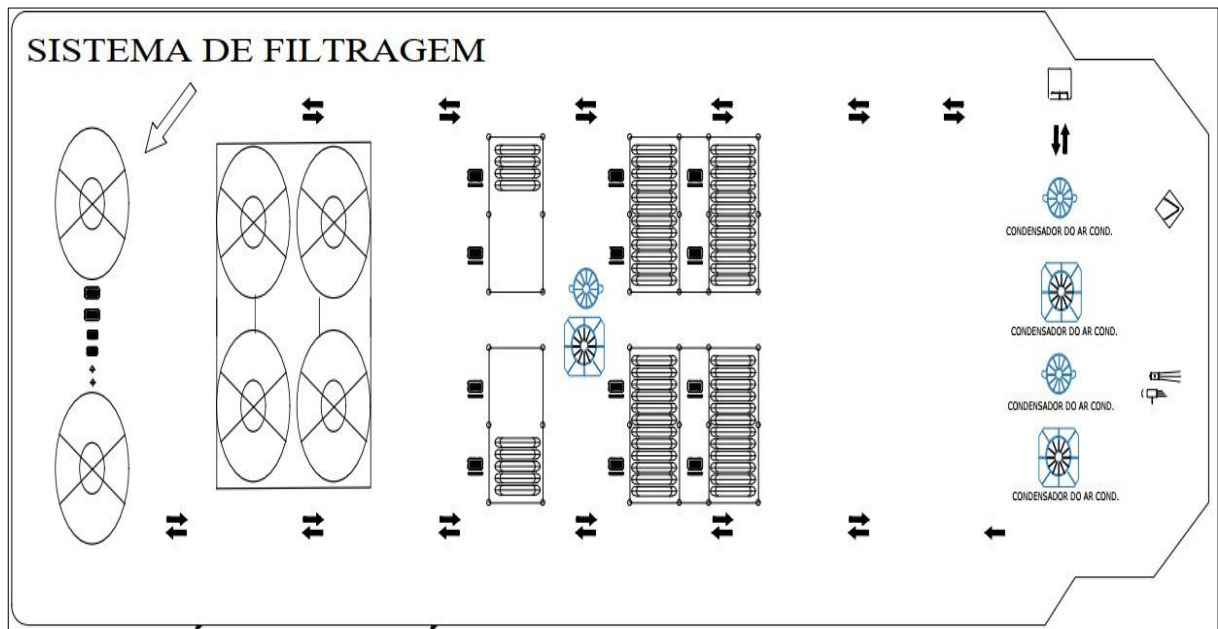


Fonte: HENVIL TRANSPORTES LTDA, 2024.

4.4 Instalação do sistema de filtragem

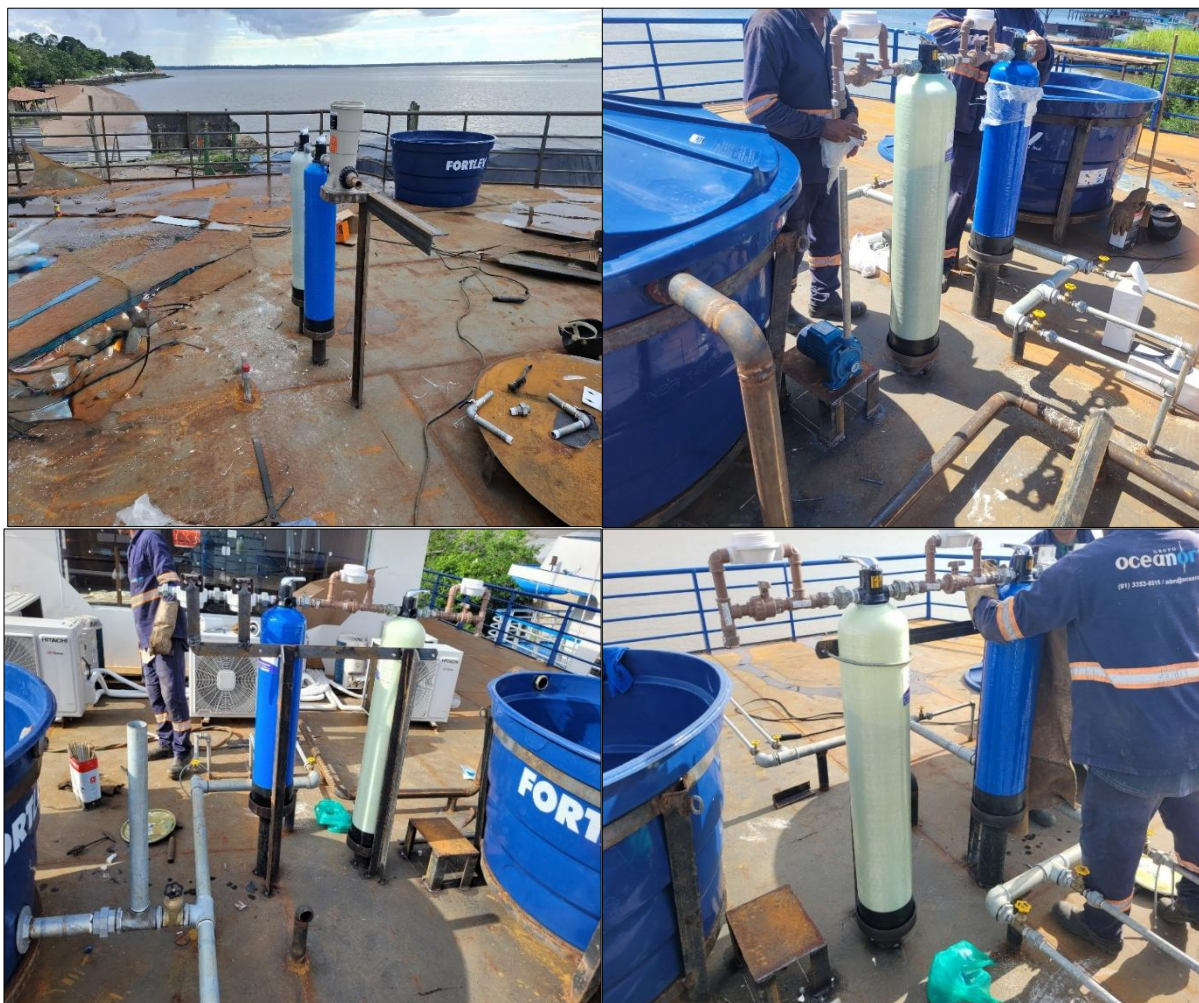
A estrutura do filtro foi instalada no convés tijupá (cobertura) do *Ferry-boat* São Gabriel (Figura) e ligada ao sistema hidráulico da embarcação que recebe os efluentes, neste caso as águas cinzas oriundas de pias e chuveiros presentes e encaminhadas ao reservatório.

Figura 10 - Vista superior do convés Tijupá e Sistema de Filtragem.



Fonte: HENVIL TRANSPORTES LTDA, 2024.

Figura 11 - Processo de instalação do sistema de filtragem no convés Tijupá do Ferry-boat São Gabriel.

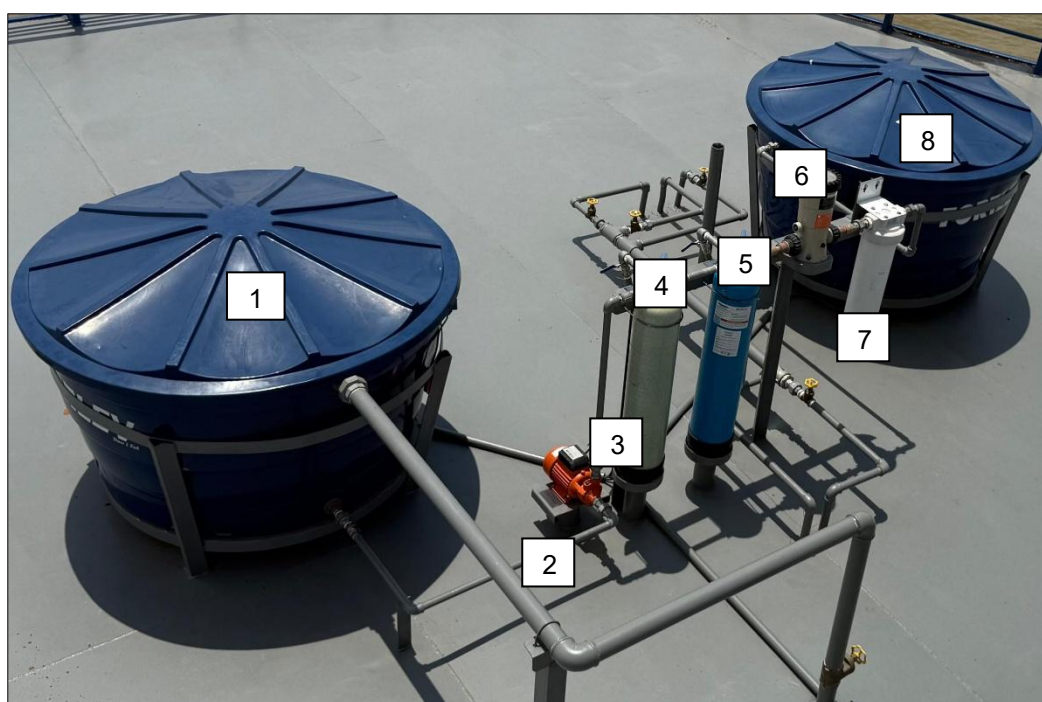


Fonte: Acervo próprio, 2025.

O sistema de filtragem está composto em oito (8) partes: (1) Reservatório de entrada, tanque de polietileno de alta densidade e com capacidade de 1m³ e recebe a água que será distribuída posteriormente para as instalações da embarcação; (2) Sistema de pressurização-bomba ou recalque, trata-se de conexões verticais centrais com registros e válvulas e possui a função de manter a distribuição da água adequada ao sistema; (3) Válvula de controle de fluxo, localizada entre o reservatório (1) e os filtros, sua função é controlar a vazão da água que adentra o sistema de filtragem, fundamental para o direcionamento e regulação do fluxo hidráulico conforme a demanda do sistema; (4) Filtro de camadas múltiplas, tem por função a remoção de partículas sólidas em suspensão, e seu funcionamento baseia-se na passagem da água por camadas filtrantes de carvão ativado, areia de quartzo fina (zeólita), areia de quartzo grossa, seixo médio (cascalho médio) e granilha dolomita, etapa crucial para clarificação inicial da água; (5) Filtro de metais pesados, localizado no centro do

sistema e atua na adsorção de compostos orgânicos, cloro residual e substâncias que conferem sabor e odor a água, trata-se de uma etapa de refinamento e contribui para melhoria de características físico-químicas da água; (6) Filtro Big 20 de alta vazão que remove sedimentos como barro, areia, lodo e outras partículas sólidas de maior volume; (7) Filtro de polipropileno-cartucho, nesta etapa ocorre o polimento do processo de filtração, e possui como elemento filtrante o polipropileno, capaz de reter partículas finas com diâmetro de 5μ , o que promove uma filtração mais precisa e segura e por fim o (8) Reservatório de água filtrada, material polietileno e capacidade de 1m^3 , localizado no final do sistema é destinado ao armazenamento de água já filtrada e pronta para uso (Figura .

Figura 12 - Vista frontal do sistema de filtragem completo instalado no convés tijupá da embarcação.



Fonte: Acervo próprio, 2025.

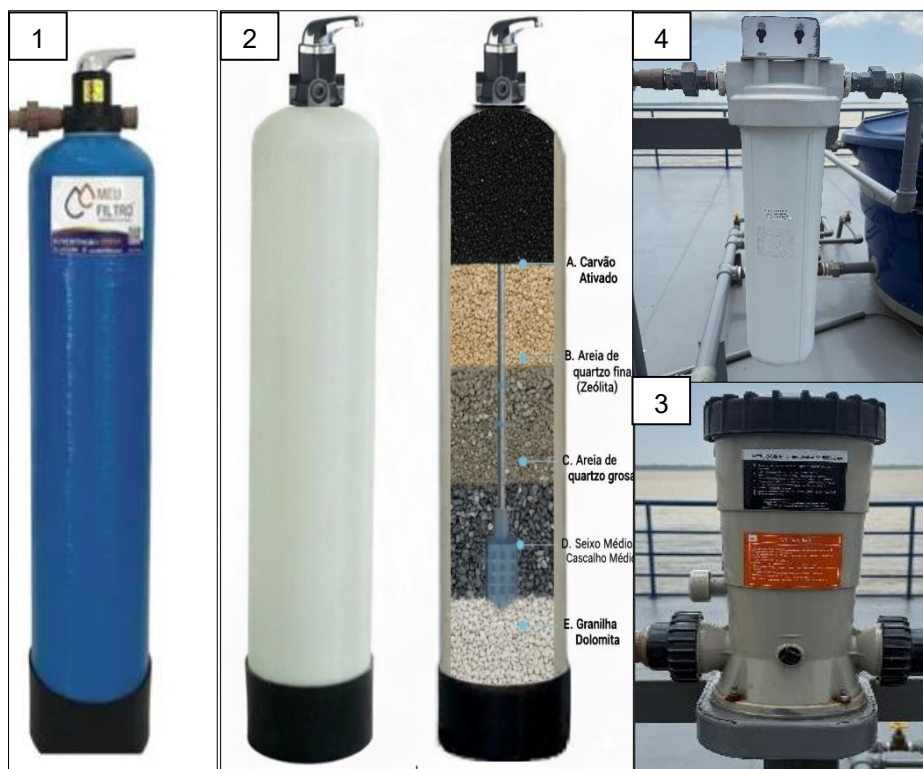
O processo de instalação do sistema teve duração de uma semana, no período de março de 2025, em que testes simples de uso foram realizados, para verificar o se o sistema conseguiria ser capaz de responder à vazão captada e o filtro permaneceu em funcionamento contínuo enquanto a embarcação realizava o seu trajeto usual de Icoaraci, Belém ao terminal hidroviário do Camará (Salvaterra, Ilha do Marajó). Assim, em cada viagem realizada pela empresa, com duração média de 2h30min o sistema filtrou cerca de 5m^3 de água, volume superior à demanda estimada de consumo para

higiene pessoal de 520 ocupantes da embarcação, o que inclui tripulantes e passageiros.

A água utilizada no Ferry-boat São Gabriel é proveniente de um poço profundo pertencente à empresa Henvil Transportes LTDA, localizado no terminal hidroviário de Icoaraci, constituindo a principal fonte de abastecimento hídrico da embarcação. O processo de abastecimento ocorre por meio de uma mangueira acoplada na extremidade inicial da embarcação, permitindo a transferência da água subterrânea para o sistema hidráulico de bordo. Após a captação, a água é conduzida por uma rede de tubulações que percorre longitudinalmente a embarcação até o tanque de armazenamento de água potável (TQ), instalado na praça de máquinas, conforme a compartimentagem e arranjo estrutural do ferry boat.

A partir desse reservatório, a água é transportada por um sistema de bombeamento e recalque até os reservatórios superiores, localizados no convés do passadiço, os quais garantem a pressão e a distribuição gravitacional da água para os diversos pontos de consumo da embarcação. Dessa forma, a água é disponibilizada para uso em pias, torneiras e chuveiros utilizados por passageiros e tripulação ao longo das viagens realizadas na travessia Icoaraci–Camará. Após a sua utilização, a água proveniente dessas atividades caracteriza-se como água residual oriunda principalmente de pias e chuveiros, sendo então direcionada ao sistema de filtragem compacto implantado a bordo. Esse sistema foi concebido e instalado com a finalidade de tratar a água utilizada, permitindo a avaliação dos efeitos do processo de filtragem sobre os parâmetros físicos, químicos e biológicos, conforme a metodologia proposta neste estudo.

Figura 13 - Detalhamento dos filtros (1) Filtro para metais pesados, (2) Filtro de camadas múltiplas, (3) Filtro Big 20 e (4) Filtro com carvão ativado.



Fonte: Imagens Ilustrativas do *google* e acervo próprio, 2025.

O custo dos materiais que compõem o sistema na embarcação envolveu os elementos filtrantes e as conexões hidráulicas, e os valores estão de acordo com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

Tabela 1 - Custos dos materiais do sistema de filtragem

Material	QTD	VLR UNIT (R\$)	VLR TOTAL (R\$)
Filtro para sedimentos	1	1.350,00	1.350,00
Filtro para ferro e metais pesados	1	2.590,00	2.590,00
Filtro com polipropileno	1	67,47	67,47
Filtro com carvão ativado	1	67,47	67,47
Bomba centrífuga periférica 1cv	1	361,11	361,11
Kit elementos para filtro residencial	1	195,62	195,62
Tubo em PVC 3/4"	2	29,64	57,96
Niple em PVC redução de 1" para 3/4"	6	5,70	34,20
Curva 90° em PVC 3/4"	6	3,55	21,00
Conexão com adaptador para caixa d'água em PVC	2	147,79	25,20
Custo Total			4.770,02

Fonte: Adaptado SINAPI, 2022.

4.5 Análise das amostras de água

As amostras de água foram coletadas ao laboratório particular., onde foram realizadas as análises dos parâmetros de pH, temperatura, coliformes totais e termotolerantes, acidez, alcalinidade, dureza, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, sulfatos, nitrato, ferro, amônia, nitrato, cloreto, sólidos totais dissolvidos, demanda bioquímica de oxigênio e óleos e graxas.

Tabela 2 - Tabela dos parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados

Parâmetro	Sigla/Símbolo	Método	Unidade
Potencial Hidrogeniônico	pH	NA	NA
Temperatura	TEMP	SWEWW, 23ª Edição, Método 2550	°C
Coliformes Termotolerantes	CTT	SWEWW, 23ª Edição, Método 9221B-G	NMP-100/mL
Coliformes Totais	CT	SWEWW, 23ª Edição, Método 9221B-G	NMP-100/mL
Acidez	ACID	SWEWW, 23ª Edição, Método 2310	mg/L
Alcalinidade	ALC	SWEWW, 23ª Edição, Método 2320	mg/L CaCO ₃
Dureza	DUR	SWEWW, 23ª Edição, Método 2340	mg/L
Cor Aparente	COR	SWEWW, 23ª Edição, Método 2120	uH
Turbidez	TUR	SWEWW, 23ª Edição, Método 2130	-
Condutividade Elétrica	CE	SWEWW, 23ª Edição, Método 2510 B	S/m
Sulfatos	SO ₄	SWEWW, 23ª Edição, Método 4110 B	mg/L
Nitrato	N-NO ₃	SWEWW, 23ª Edição, Método 4110 B	mg/L
Ferro Total	Fe	SWEWW, 23ª Edição, Método 3550	mg/L
Amônia	N-NH ₃	SWEWW, 23ª Edição, Método 4500	mg/L
Nitrato	NH ₃	SWEWW, 23ª Edição, Método 4500	mg/L
Sulfatos	SO ₄	SWEWW, 23ª Edição, Método 4500	mg/L

Cloreto	Cl^-	SWEWW, 23ª Edição, Método 4110 B	mg/L
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	SWEWW, 23ª Edição, Método 2510 A	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	SWEWW, 23ª Edição, Método 5210	mg/L
Óleos e graxas	OG	SWEWW, 23ª Edição, Método 5520	mg/L

Fonte: *Standard Methods for the Examination of water and Wastewater e United States Enviromental Protection Agency* (US EPA,2017)

4.6 Processamento de dados e tratamento estatístico

Após o recebimento dos resultados gerados pela análise laboratorial dos parâmetros supracitados, os dados foram tabulados em programa *Excel*, a fim de sistematizar as informações obtidas e realizar um comparativo com a legislação vigente que trata sobre a qualidade da água estabelecida pela Resolução CONAMA nº357 de 2005. Por fim, o percentual de redução de poluentes presentes em cada amostra foi calculado, além da geração de gráficos.

5 RESULTADOS

5.1 Parâmetros físicos

O pH manteve-se dentro da faixa recomendada pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (6,0 a 9,0), apresentando variações mínimas entre os períodos pré e pós-filtragem. No poço, uma leve redução de 6,50 para 6,39, no *ferry boat*, o valor passou de 6,29 para 6,12 e na Baía do Guajará, de 6,66 para 6,59. A T°C apresentou variações discretas entre os períodos analisados. No *ferry boat*, foi registrada uma redução de 30 °C para 23 °C, associada à substituição ou renovação da água após o processo de filtragem. Todas as amostras mantiveram-se dentro do limite de variação aceitável, de até 30 °C em relação à temperatura do corpo receptor.

Os valores de alcalinidade mantiveram-se estáveis, com pequena redução no poço (de 30,8 para 29,12 mg/L $CaCO_3$) e no *ferry boat* (de 35,1 para 28 mg/L $CaCO_3$), enquanto na Baía do Guajará permaneceram constantes (30 mg/L $CaCO_3$), indicando adequada capacidade tamponante da água. A condutividade elétrica apresentou leve aumento apenas na amostra do poço, passando de 286,3 para 296,41 $\mu S/cm$,

mantendo-se ausente nas amostras do ferry boat e da baía. Os sólidos totais dissolvidos variaram entre 140,6 e 150 mg/L, com tendência de redução após a filtragem, evidenciando a eficiência do sistema na retenção de partículas dissolvidas.

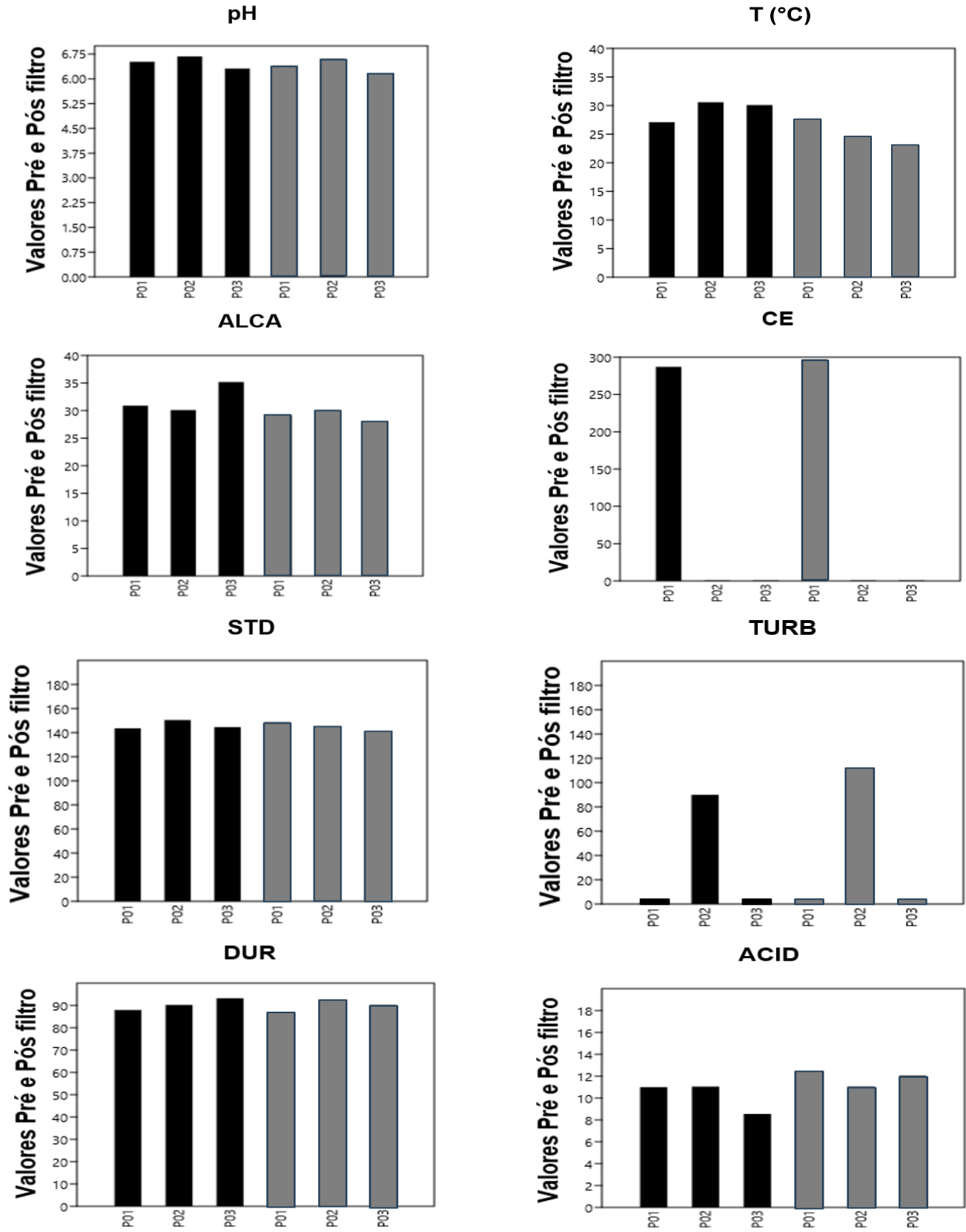
A TURB apresentou aumento no poço (de 0,81 para 1,22 NTU) e no *ferry boat* (de 0,90 para 1,10 NTU), embora ambos os valores permaneçam muito baixos e dentro dos padrões de potabilidade. Na Baía do Guajará, contudo, verificou-se elevação mais expressiva, passando de 89,40 NTU para 110,5 NTU, ultrapassando o limite de 100 NTU. Esse aumento pode estar relacionado a fatores externos ao sistema de filtragem, como influência de maré, ressuspensão de sedimentos ou atividades antrópicas na área de coleta. A DUR manteve-se estável, variando entre 86 e 93 mg/L, valores característicos de águas de dureza média e compatíveis com padrões aceitáveis de qualidade. Por fim, a acidez (ACID) apresentou pequenas variações. Na Baía do Guajará, o valor permaneceu constante em 11 mg/L. No *ferry boat*, observou-se aumento de 8,50 para 12 mg/L, e no poço, de 10,94 para 12,36 mg/L. Essas variações pontuais indicam estabilidade química geral da água, sem alterações significativas decorrentes do processo de filtragem.

Tabela 3 - Resultado dos processos físicos da água antes e após a instalação do sistema de filtragem, conforme a Resolução CONAMA nº357/2005 e nº430/2011.

Parâmetro	P1 (Poço Henvil)		P2 (Baía do Guajará)		P3 (Ferry-Boat)		Lim. CONAMA	Conformidade
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós		
pH	6,50	6,39	6,66	6,59	6,29	6,12	6,0 – 9,0	Conforme
T (°C)	27	27,6	30,5	24,5	30	23	≤ 3°C	Conforme
ALCA	30,8	29,12	30	30	35,1	28	-	Não normatizado
C.E	286,3	296,41	0	0	0	0	-	Não normatizado
STD	143,10	148,20	150	145	144,10	140,6	-	Não normatizado
TURB	0,81	1,22	89,40	110,5	0,90	1,1	≤ 100	Conforme
DUR	87,7	86,54	90	92	93,03	90	-	Não normatizado
ACID	10,94	12,36	11	11	8,50	12	-	Não normatizado

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 14 - Comparativo dos parâmetros pré (cor preta) e pós-tratamento (cor cinza) (pH, T(°C), ALCA, CE, STD, TURB, DUR, ACID).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5.2 Parâmetros químicos

O teor de Fe apresentou comportamento variável entre os pontos de coleta. Na Baía do Guajará, observou-se expressiva redução de 0,25 para 0,012 mg/L, enquanto no *ferry boat* o valor diminuiu de 0,35 para 0,20 mg/L, mantendo-se ambos abaixo do limite de 0,3 mg/L, conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005. No poço, entretanto, ocorreu elevação de 0,25 para 0,35 mg/L, ultrapassando o valor máximo permitido. Essa variação indica que o sistema de filtragem foi eficiente na remoção de ferro em águas superficiais, mas apresentou menor desempenho na amostra subterrânea, possivelmente devido à composição geológica local.

As concentrações de SO_4^{2-} tiveram variação entre 21 e 24 mg/L nos três pontos de amostragem. Esses valores estão bem abaixo do limite de 250 mg/L estabelecido para águas doces de classe 2, indicando ausência de contaminação significativa por compostos sulfurados e conformidade com os padrões de qualidade ambiental.

A DBO apresentou comportamento contrastante entre os pontos amostrados após a instalação do sistema de filtragem. No poço e no *ferry boat*, os valores iniciais eram idênticos (54,66 mg/L) e reduziram-se significativamente para 5,0 mg/L e 12,5 mg/L, respectivamente. Essa queda indica melhora na qualidade da água, com redução da carga orgânica biodegradável. No entanto, a bordo do *ferry boat*, o valor ainda supera o limite de 5 mg/L recomendado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos hídricos de classe 2. Na Baía do Guajará, observou-se tendência oposta, com aumento da DBO de 0,48 para 2,98 mg/L, embora o resultado permaneça dentro dos limites permitidos. Esse acréscimo pode estar associado à influência de material orgânico natural ou escoamento superficial, demonstrando que fatores externos impactam diretamente os resultados em ambientes abertos.

O OD apresentou pequenas oscilações entre os períodos avaliados. No *ferry boat*, o valor manteve-se constante em 6,08 mg/L, no poço, ocorreu redução de 5,3 para 4,5 mg/L e, na Baía do Guajará, o valor foi de 6,42 para 6,75 mg/L. Todos os valores permaneceram adequados à manutenção da vida aquática e acima do limite mínimo de 5 mg/L para águas doces de classe 2. A TURB apresentou variações em todos os pontos após a implantação do sistema de filtragem. As flutuações observadas foram compatíveis com alterações naturais ou operacionais, mantendo-se, contudo, dentro dos limites de qualidade ambiental previstos na legislação. A concentração $\text{NH}_3\text{--N}$) demonstrou redução após a instalação do sistema de filtragem.

No poço, o valor passou de 1,176 para 0,10 mg/L, no *ferry boat*, de 1,176 para 0,12 mg/L e na Baía do Guajará, de 0,868 para 0,169 mg/L. Todos os valores finais ficaram bem abaixo do limite de 3,7 mg/L definido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de classe 2. Essa redução significativa reflete a eficiência do sistema na remoção de compostos nitrogenados e na diminuição da matéria orgânica associada.

A NH_3 apresentou comportamento distinto entre os pontos de coleta. No poço, houve um aumento de 0,01 para 0,10 mg/L, no *ferry boat*, de 0,013 para 0,10 mg/L, enquanto na Baía do Guajará, verificou-se acentuada redução de 6,66 para 1,10 mg/L. Apesar das pequenas elevações nas amostras do poço e do *ferry boat*, todos os resultados permaneceram muito inferiores ao limite de 3,7 mg/L, indicando boa qualidade da água e ausência de risco à biota aquática.

Os teores de Cl^- diminuíram em todos os pontos de amostragem após a instalação do sistema de filtragem. No poço, houve redução de 17,89 para 16,98 mg/L, no *ferry boat*, de 100,00 para 50,00 mg/L e na Baía do Guajará, de 98,00 para 47,50 mg/L. Essa diminuição evidencia a eficiência do sistema na remoção de sais dissolvidos, especialmente íons cloreto, que em altas concentrações podem comprometer a potabilidade e a qualidade ambiental. Todos os resultados ficaram amplamente abaixo do limite de 250 mg/L previsto pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

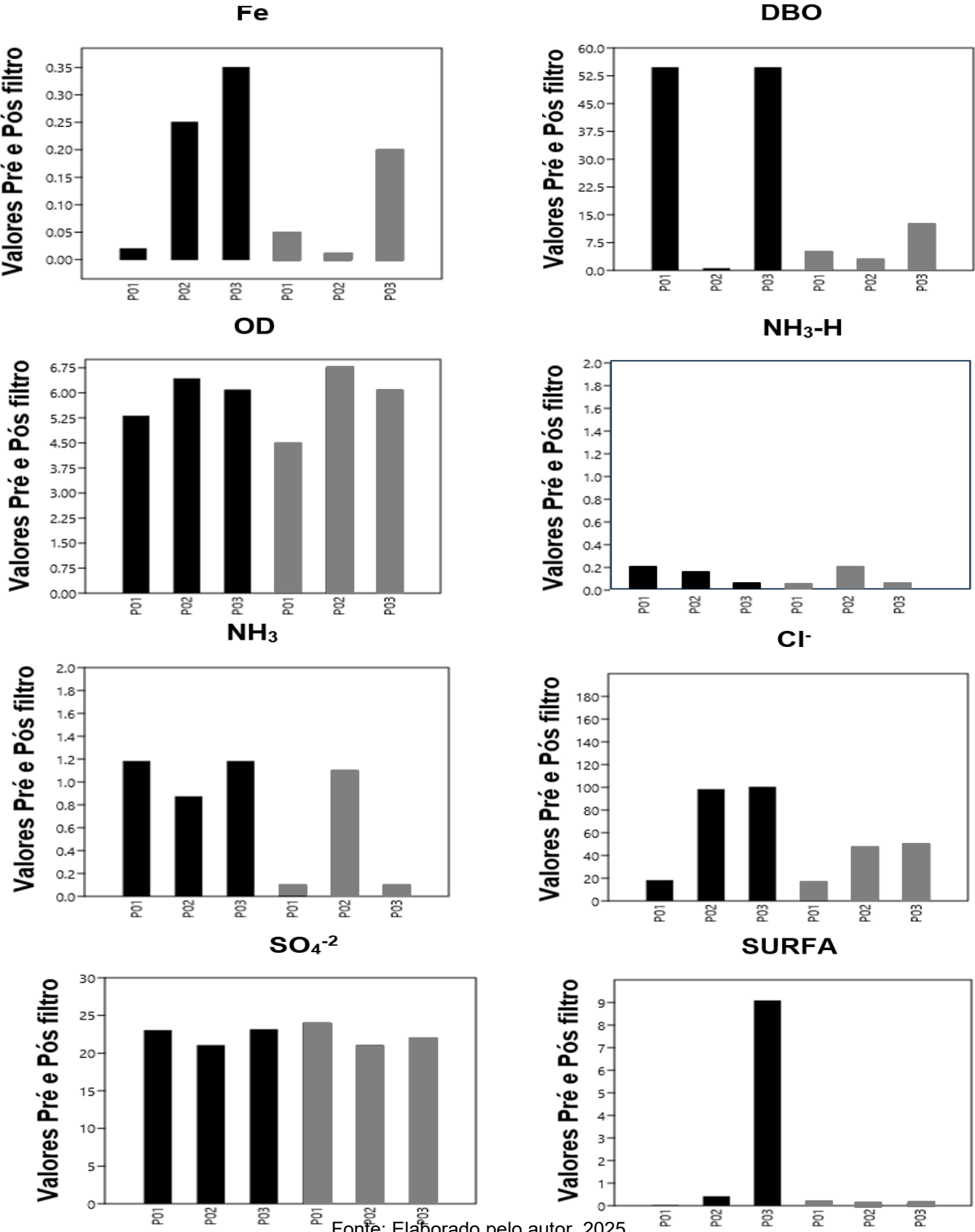
As concentrações de SO_4^{2-} mantiveram-se uniformes entre os pontos, com valores de 23,0 mg/L no poço, 23,1 mg/L no *ferry boat* e 21,0 mg/L na Baía do Guajará, todos bem abaixo do limite máximo de 250 mg/L. Essa estabilidade confirma a ausência de aporte significativo de poluentes sulfatados e a manutenção da conformidade com os padrões de qualidade de águas doces. A concentração de SURFA, apresentou expressiva redução após a implantação do sistema de filtragem. No *ferry boat*, os valores diminuíram de 9,07 para 0,10 mg/L, na Baía do Guajará, de 0,401 para 0,01 mg/L e no poço, permaneceram em 0 mg/L. Esses compostos, frequentemente associados a detergentes e produtos de limpeza, foram eficientemente removidos, mantendo os resultados abaixo do limite de 0,5 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 4 - Resultado dos processos químicos da água, antes e após o processo de filtragem, conforme a Resolução CONAMA nº357/2005 e nº430/2011.

Parâmetro	P1 (Poço Henvil)		P2 (Baía do Guajará)		P3 (ferry-boat)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
Fe (mg/L)	0,020	0,05	0,25	0,012	0,35	0,2
DBO (mg/L O ₂)	54,66	5	0,48	2,98	54,66	12,5
OD (mg/L O ₂)	5,3	4,5	6,42	6,75	6,08	6,08
NH ₃ -H	1,176	0,1	0,868	0,169	1,176	0,12
NH ₃ (mg/L)	0,01	0,1	6,66	1,1	0,013	0,1
Cl ⁻ (mg/L)	17,89	16,98	98	47,50	100	50
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	23	24	21	21	23,1	22
SURFA (mg/L)	0	0	0,40	0,01	9,07	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 15 - Comparativo dos parâmetros pré (cor preta) e pós-tratamento (cor cinza) (Fe, DBO, OD, NH3-H, NH3, Cl⁻, SO4S, SURFA).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5.3 Parâmetros biológicos

Os resultados microbiológicos apontaram redução significativa das concentrações de coliformes após a instalação do sistema de filtragem. No poço do porto (P1), os CT permaneceram ausentes antes e depois da instalação, indicando estabilidade e ausência de contaminação bacteriológica. Já no *ferry-boat* (P2), observou-se uma queda expressiva de 2.400.000 NMP/100 mL para 11.000 NMP/100 mL, enquanto na Baía do Guajará (P3) a redução foi ainda mais acentuada, de 11.000.000 NMP/100 mL para 12.000 NMP/100 mL. Esses resultados evidenciam a eficiência do sistema de filtragem na remoção de microrganismos indicadores de contaminação orgânica.

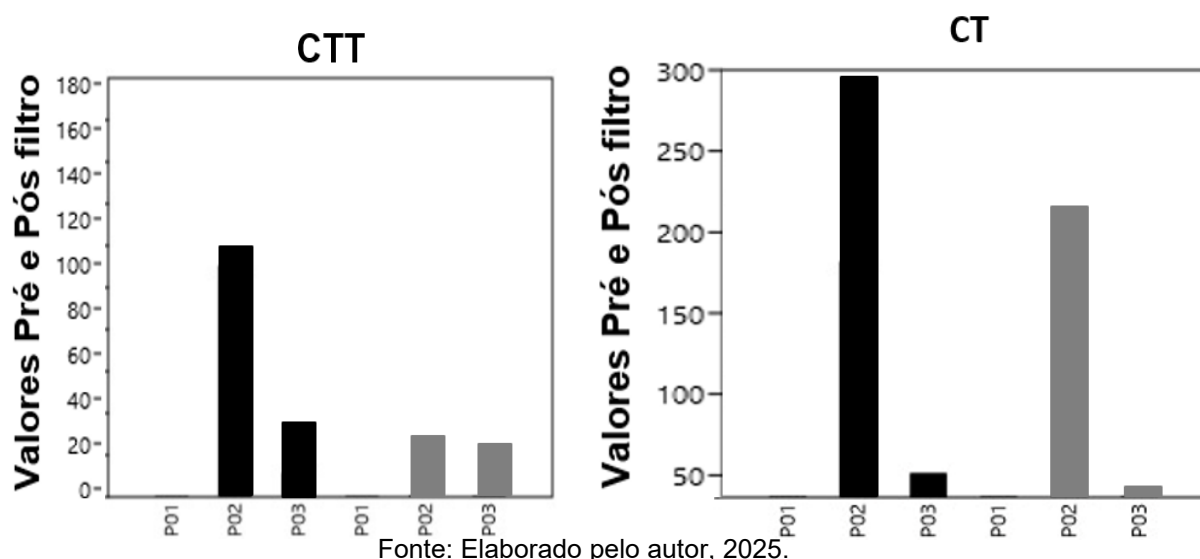
Quanto CTT, observou-se comportamento semelhante. No *ferry boat*, os valores diminuíram de 11.000 NMP/100 mL para ausentes após o processo de filtragem, enquanto na Baía do Guajará houve redução de 12.000 NMP/100 mL para ausentes. No poço, o parâmetro manteve-se sem detecção em ambos os períodos, refletindo boas condições microbiológicas. A instalação do sistema de filtragem resultou em melhoria expressiva na qualidade microbiológica da água nos ambientes avaliados, com reduções que ultrapassam 99% na concentração de CT e CTT nos pontos mais críticos.

Tabela 5 - Resultado dos processos biológicos da água antes e após o processo de filtragem, conforme a Resolução CONAMA nº357/2005.

Parâmetro	P1 (Poço Henvil)		P2 (Baía do Guajará)		P3 (<i>ferry-boat</i>)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
CTT	AUSENTE	AUSENTE	110.000	9.100	24.000	23.000
CT NMP/100	AUSENTE	AUSENTE	110.000.000	220.000	11.000.000	240

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 16 - Comparativo dos parâmetros biológicos, pré (cor preta) e pós-tratamento (cor cinza), (CTT e CT).



6 COMPARAÇÃO COM OUTROS RESULTADOS

6.1 Parâmetros físicos

A avaliação dos parâmetros físicos (pH, T°C, TURB, CE, STD, ALCA e DUR) permitiu verificar a eficiência do sistema de filtração compacto implantado na embarcação. Os resultados mostraram que, após a filtragem, todos os indicadores permaneceram dentro de faixas adequadas para operação naval e para posterior desinfecção, corroborando recomendações internacionais de saneamento embarcado. Esses achados estão em consonância com o *Guide to Ship Sanitation* (WHO, 2022), o *Manual of Naval Preventive Medicine-Water Quality Afloat* (U.S. Navy, 2019) e a legislação ambiental brasileira (CONAMA 357/2005), que reforçam a importância da estabilidade físico-química da água para prevenir riscos sanitários e estruturais a bordo.

O pH da água pós-filtragem apresentou valor médio de 6,12, situando-se próximo da neutralidade. Essa estabilidade é fundamental, pois valores elevados (pH > 8,5) reduzem drasticamente a eficácia da cloração, conforme apontado no *Manual of Naval Preventive Medicine – Water Quality Afloat* (U.S. Navy, 2019) e no *Guide to Ship Sanitation* (WHO, 2022). Além de favorecer a ação do cloro, a manutenção do pH próximo da neutralidade diminui a corrosão das tubulações e tanques, evitando a liberação de metais e garantindo maior integridade do sistema de distribuição.

Recomendações internacionais sugerem alcalinidade entre 0,6 e 1,0 mmol/L e teores controlados de cálcio para águas embarcadas, a fim de evitar deterioração dos componentes do navio (WHO, 2022).

Após o processo de filtragem e renovação, a T°C atingiu 23 °C, mantendo-se abaixo do limite crítico de 25 °C recomendado pela OMS. Segundo a agência internacional, o *Guide to Ship Sanitation* (WHO, 2022) e *Supplying Ships with Safe Drinking-Water* (WHO, 2011), temperaturas superiores a esse valor favorecem a proliferação de *Legionella spp.* e outros patógenos oportunistas em redes hidráulicas embarcadas. Assim, a manutenção da água abaixo de 25 °C constitui uma barreira física essencial que atua de forma sinérgica com a desinfecção química, reduzindo substancialmente o risco de surtos em ambientes confinados.

Os resultados obtidos nesta dissertação evidenciaram redução da turbidez, atingindo 1,10 NTU após a implantação do sistema de filtração por múltiplas camadas, o que demonstra a elevada eficiência do processo na remoção de partículas em suspensão. A literatura destaca que baixos valores de turbidez são fundamentais para a eficácia de processos de desinfecção, uma vez que partículas suspensas podem atuar como barreiras físicas à ação do desinfetante, protegendo microrganismos patogênicos. Nesse sentido, o *Guide to Ship Sanitation* (WHO, 2022) e os estudos clássicos de filtração lenta de Huisman e Wood (1974) indicam que valores de turbidez inferiores a 1–5 NTU são considerados ideais para assegurar eficiência sanitária. Considerando a elevada carga de sedimentos característica das águas amazônicas, o valor alcançado no presente estudo confirma a viabilidade tecnológica do sistema implantado e sua adequação às condições ambientais regionais.

No que se refere à condutividade elétrica (CE) e aos sólidos totais dissolvidos (STD), os resultados desta dissertação mostraram comportamento estável, com tendência de redução após a filtragem, corroborando achados da literatura. Oliveira (2014), ao avaliar a melhoria da qualidade da água por meio de filtros de areia modificados com biomassa, observou reduções significativas desses parâmetros, especialmente com o uso de carvão ativado de coco verde, alcançando diminuições de 19,4% na CE e 12,8% nos STD. Esses parâmetros estão diretamente relacionados à carga iônica da água e influenciam aspectos como sabor, corrosividade e formação de incrustações em sistemas hidráulicos. Estudos voltados ao saneamento em embarcações fluviais indicam que valores médios de STD de 47,67 mg/L em águas superficiais e 124,42 mg/L em águas de bordo estão em conformidade com os limites

estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Portaria nº 2.914/2011, reforçando que os resultados obtidos nesta dissertação se encontram dentro dos padrões normativos vigentes.

O guia norueguês Potable Water on Board Ship (NORWEGIAN MARITIME AUTHORITY, 2017) destaca que águas com condutividade muito baixa, especialmente quando dessalinizadas sem remineralização, podem tornar-se corrosivas. Embora a água amazônica seja naturalmente doce, o Manual of Naval Preventive Medicine (U.S. Navy, 2019) ressalta que águas quimicamente instáveis podem acelerar corrosão interna e liberar contaminantes. Assim, os resultados obtidos demonstram que o sistema de filtragem não introduziu íons indesejáveis e contribuiu para manter a água esteticamente aceitável e quimicamente estável.

O parâmetro DUR também apresentou redução considerável. Conforme o estudo “Produção e Uso de Filtros de Água com Carvão Ativado Derivado de Matérias Sustentáveis” (COSTA et al., 2022), o carvão ativado de bambu reduziu a dureza em 18,8%, resultado atribuído à elevada capacidade de adsorção de íons divalentes devido à microestrutura porosa resultante da pirólise. Reduções deste parâmetro, são importantes para prevenir incrustações em tubulações, reservatórios e equipamentos de bordo, aumentando sua vida útil e reduzindo custos de manutenção.

6.2 Parâmetros químicos

Os resultados de Fe, mostraram redução significativa dos teores de ferro no *ferry boat* (0,35 → 0,20 mg/L) e na Baía do Guajará (0,25 → 0,012 mg/L), evidenciando diminuição da influência da corrosão das tubulações e da presença de partículas metálicas típicas da água bruta amazônica. No cotidiano das embarcações, o ferro em excesso afeta o sabor da água, mancha superfícies e acelera a corrosão do sistema de distribuição. (NORWEGIAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2014), destaca que o ferro é um dos contaminantes mais comuns em embarcações devido ao desgaste dos sistemas internos, reforçando que a filtragem utilizada no estudo corrigiu um problema recorrente.

A redução observada no parâmetro dureza (DUR) nos resultados desta dissertação está em consonância com os achados reportados por Costa et al. (2022), que verificaram diminuição de 18,8% da dureza utilizando carvão ativado de bambu, atribuída à elevada capacidade de adsorção de íons divalentes proporcionada pela

microestrutura porosa do material após o processo de pirólise. De forma semelhante, o sistema de filtragem implantado no ferry boat *São Gabriel*, que incorpora materiais adsorventes naturais, demonstrou eficiência na atenuação da dureza da água, reforçando o papel desses meios filtrantes na melhoria da qualidade físico-química. A redução desse parâmetro é particularmente relevante no contexto embarcado, uma vez que contribui para a minimização de incrustações em tubulações, reservatórios e equipamentos de bordo, resultando em maior vida útil das estruturas e menor custo de manutenção operacional. Os valores de NH_3 apresentaram leve aumento no ferry boat ($0,01 \rightarrow 0,10 \text{ mg/L}$) e redução expressiva na Baía do Guajará ($6,66 \rightarrow 1,10 \text{ mg/L}$).

No contexto operacional, a amônia é influenciada por pH, temperatura e processos de decomposição de matéria orgânica. O documento *Water Quality Afloat* esclarece que pequenas oscilações em amônia são esperadas em sistemas embarcados, sobretudo em regiões tropicais, reforçando que os resultados da dissertação permanecem dentro de padrões seguros (U.S. Navy, 2019)

No artigo “Supplying Ships with Safe Drinking-Water” (Mulić; Jerončić Tomić, 2020), as autoras destacam que surtos de origem hídrica em navios geralmente estão associados a falhas no carregamento ou no sistema de distribuição de água potável, nos resultados apresentados na dissertação, houve redução no Cl^- em todos os pontos avaliados. O documento reforça que concentrações elevadas de cloretos são um dos principais indicadores de falha sanitária e corrosão acelerada em embarcações, corroborando a importância da redução obtida no estudo, no uso cotidiano, esse parâmetro é importante por sinalizar intrusão salina, contaminação por esgotos ou águas servidas e processos corrosivos em sistemas metálicos.

os SO_4^{2-} mantiveram estabilidade entre 21 e 24 mg/L, indicando baixa influência antropogênica e ausência de fontes industriais ou efluentes ricos em compostos sulfurados. No documento “Melhoria das Condições da Água Utilizando Filtro de Areia Modificada com Biomassa” (Oliveira, 2014), afirma que no cotidiano, níveis elevados podem gerar sabores indesejáveis e efeitos laxativos, mas normalmente não representam problema primário em sistemas embarcados, além disso, confirma que filtros de areia e carvão ativado exercem pouca influência sobre sulfatos.

Os SURFA mostraram a maior redução entre todos os parâmetros ($9,07 \rightarrow 0,10 \text{ mg/L}$), demonstrando eficiência do sistema de filtragem na remoção de resíduos provenientes de águas cinzas (sabões, detergentes, higiene pessoal). Na prática

embarcada, os surfactantes são fortemente associados à poluição química e servem como marcadores diretos de lançamento de águas servidas. O documento *Produção e Uso de Filtros com Carvão Ativado Derivado de Matérias Sustentáveis* apresenta elevada eficiência do carvão ativado na remoção desses compostos, alinhando-se aos resultados obtidos na dissertação. (COSTA et al., 2022).

6.3 Parâmetros biológicos

No que se refere aos parâmetros biológicos, os resultados desta dissertação evidenciaram, no período anterior à implantação do sistema de filtragem, elevado grau de contaminação microbiológica na água do ferry boat, representando um risco sanitário significativo para passageiros e tripulação. As altas concentrações de coliformes totais (CT) indicaram intensa contaminação orgânica e fecal, condição especialmente crítica em ambientes confinados, como embarcações de transporte de passageiros. Esse cenário reflete a vulnerabilidade estrutural dos sistemas de abastecimento de água embarcados na Amazônia, frequentemente associados à ausência de higienização periódica dos reservatórios, infiltrações e possíveis conexões cruzadas entre água potável e águas servidas.

Esses achados corroboram os resultados apresentados por Paula (2015) no estudo Saneamento em Embarcações Fluviais de Passageiros, no qual foram identificados níveis elevados de coliformes totais na rota Santarém–Belém. O autor atribui esse quadro à deficiência na gestão hídrica e às condições precárias de saneamento a bordo, fatores que contribuem para a degradação microbiológica da água. Dessa forma, a comparação entre os dados da literatura e os resultados obtidos nesta dissertação reforça a necessidade de adoção de sistemas de tratamento e controle sanitário mais eficientes em embarcações fluviais que operam na região amazônica.

A redução de CT após o sistema de filtragem foi encontrada após a instalação do sistema de filtragem, pois a concentração de CT apresentou redução expressiva, demonstrando eficiência do tratamento na remoção de microrganismos indicadores. Esse desempenho está diretamente relacionado à combinação de barreiras físicas e adsorção, que atua reduzindo turbidez, matéria orgânica e microrganismos associados. Resultados semelhantes são apresentados no artigo *Melhoria das Condições da Água Utilizando Filtro de Areia Modificado com Biomassa*, que

demonstra que filtros naturais com carvão vegetal e biomassa são capazes de remover grande parte da carga bacteriana presente na água. (OLIVEIRA, 2014).

Houve elevada presença de CTT antes da filtragem, pois os valores de CTT confirmaram a presença de contaminação fecal recente, indicando risco imediato à saúde dos passageiros devido à possibilidade de transmissão de patógenos entéricos. O lançamento inadequado de águas negras e cinzas próximo aos pontos de captação, somado à falta de desinfecção contínua, intensifica esse quadro. No estudo *Avaliação de Riscos Sanitários nas Embarcações do Estado do Amazonas*, observou-se situação semelhante, com presença constante de CTT em embarcações da região, evidenciando padrões críticos de contaminação microbiológica decorrentes de falhas sistemáticas no manejo de água e resíduos. (CALDAS, 2021).

Antes da filtragem, observou-se elevada presença de coliformes termotolerantes (CTT), indicando contaminação fecal recente e risco sanitário imediato aos passageiros, agravado pelo lançamento inadequado de águas negras e cinzas e pela ausência de desinfecção contínua. Situação semelhante é relatada por Caldas (2021), que identificou padrões críticos de contaminação microbiológica em embarcações do estado do Amazonas, associados a falhas recorrentes no manejo da água e dos resíduos.

Após a implantação do sistema de filtragem, os valores de CTT foram reduzidos a níveis seguros, evidenciando a eficiência do tratamento na remoção de microrganismos patogênicos e indicadores de contaminação fecal. A redução significativa dos parâmetros microbiológicos confirma a eficácia do sistema implantado e sua conformidade com recomendações internacionais, reforçando a importância do controle sanitário a bordo para a prevenção de doenças de veiculação hídrica, conforme destacado por Marine Insight Institute (2022) e Tomić (2020).

A convergência com as normas internacionais de saneamento naval reforça a confiabilidade dos resultados obtidos na dissertação, especialmente no que diz respeito aos parâmetros microbiológicos CT e CTT. A consistência entre os valores observados após a filtragem e os critérios internacionais estabelecidos para água potável embarcada evidencia que o sistema implementado atendeu plenamente às expectativas sanitárias essenciais. Segundo o documento WHO – *Guide to Ship Sanitation*, esses dois indicadores constituem os principais parâmetros utilizados para avaliar a segurança microbiológica da água em navios, sendo indispensáveis nos protocolos de prevenção de surtos de doenças de veiculação hídrica. Nesse sentido,

a filtragem aplicada demonstrou desempenho compatível com o que é preconizado pelas diretrizes globais, confirmando sua eficácia operacional e garantindo níveis seguros de potabilidade para ambientes embarcados. (WHO, 2011).

6.4 O que mudou antes e depois do filtro?

A implantação do sistema de filtragem no ferry boat resultou em melhorias significativas na qualidade da água utilizada nas atividades de bordo, revertendo condições previamente classificadas como críticas. No período anterior à filtragem, os parâmetros físico-químicos indicavam elevada turbidez, concentrações relevantes de ferro (Fe) e nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{--H}$), alta carga de matéria orgânica biodegradável (DBO) e presença expressiva de surfactantes, refletindo a influência da captação em ambiente estuarino e a ausência de tratamento prévio adequado. Após a implantação do sistema, observou-se estabilização dos parâmetros físico-químicos, com redução substancial de metais e compostos nitrogenados, além de eficiência superior a 98% na remoção de surfactantes, evidenciando a capacidade do sistema em adequar a água para usos operacionais não potáveis de forma contínua e confiável.

Sob a perspectiva microbiológica, os resultados pós-filtragem foram substancialmente superiores aos observados no período pré-tratamento. Antes da intervenção, os valores de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (CTT) atingiam níveis elevados, confirmando contaminação fecal recente e caracterizando elevado risco epidemiológico. Com a operação do sistema de filtragem, verificou-se a eliminação completa dos CT e redução expressiva dos CTT, indicando a interrupção efetiva das rotas de contaminação biológica na embarcação avaliada. Esses resultados asseguram maior segurança sanitária e reduzem significativamente o risco de doenças de veiculação hídrica, demonstrando a elevada eficácia, viabilidade operacional e aplicabilidade do sistema filtrante como solução de saneamento em ambientes fluviais com infraestrutura limitada.

6.5 Viabilidade ambiental e efeito da instalação do sistema de filtragem

O sistema de filtragem no *Ferry-boat*, demonstrou elevada viabilidade ambiental ao reduzir alguns parâmetros da água a bordo. Os resultados laboratoriais evidenciaram diminuição expressiva de contaminantes químicos e microbiológicos, como Fe, DBO, NH₃, SURFA e OG, além da completa eliminação de coliformes totais após o tratamento. Essa melhora direta na qualidade da água reduz o potencial de impacto ambiental sobre a Baía do Guajará após o uso. O sistema de filtragem contribui para a mitigação da degradação ecológica local, particularmente no que diz respeito à eutrofização, diminuição do OD e contaminação microbiológica.

O sistema filtra, em média, 5.000 litros de água por viagem, volume superior ao consumo diário estimado de passageiros e tripulantes, evidenciando sua capacidade de reduzir a necessidade de captação externa de água. Essa autonomia operacional contribui para a melhoria da segurança sanitária das atividades de bordo, diminui riscos de contaminação direta e indireta da água utilizada e reduz a dependência de infraestruturas terrestres de abastecimento, favorecendo a operação de embarcações em regiões remotas do estuário amazônico.

O sistema apresenta relevância ambiental estratégica ao favorecer o uso da água, contribuindo para práticas de navegação mais sustentáveis. A retenção eficiente de TURB, matéria orgânica e compostos SURFA impede que essas substâncias entrem no ciclo hidrológico sem tratamento, preservando a biota aquática, reduzindo o risco de contaminação de peixes, recurso essencial às populações ribeirinhas. Ao comprovar redução significativa da DBO (de 54,66 para 12,5 mg/L) e de SURFA (de 9,07 para 0,10 mg/L), o sistema atua como barreira primordial contra poluentes associados à toxicidade aquática e ao desequilíbrio ecológico.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada da qualidade da água antes e após a instalação do sistema compacto de filtragem no *Ferry-boat* São Gabriel permitiu confirmar a eficácia, viabilidade técnica e aplicabilidade prática da solução proposta para o contexto da navegação fluvial para a Ilha do Marajó. Os resultados obtidos ao longo da pesquisa demonstraram que a condição inicial utilizada a bordo apresentava múltiplas conformidades em relação aos limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n.º 357/2005, especialmente para parâmetros como DBO, Fe e SURFA. A hipótese inicial foi plenamente confirmada, ao passo que a implantação do sistema filtrante produziu melhorias substanciais na qualidade da água utilizada nas atividades internas da embarcação.

Após a instalação do sistema, observou-se uma redução significativa dos principais parâmetros monitorados. Entre os resultados mais relevantes está a queda de 98,9% na concentração de SURFA, de 9,070 mg/L para 0,1 mg/L, indicando elevada capacidade de remoção de compostos associados a detergentes e sabões. A filtragem também obteve desempenho microbiológico expressivo: CTT foram reduzidos de 9.100 NMP/mL para 23 NMP/100 mL, e CT foram completamente eliminados nas amostras de água após tratamento. A diminuição de DBO, Fe e NH_3 consolidou o sistema como uma alternativa eficiente para o tratamento da água dentro das condições estruturais de embarcações regionais.

Apesar dos avanços observados a bordo, a manutenção de elevados níveis de contaminação na Baía do Guajará (P02), onde os valores de CTT excederam amplamente o limite legal, reforça que a problemática da poluição hídrica na região não se resolve apenas no âmbito das embarcações individuais. Tal cenário evidencia uma fragilidade estrutural no saneamento básico urbano, que compromete a qualidade ambiental do estuário e amplia o risco de exposição da população a doenças de veiculação hídrica. Assim, embora sistemas de filtragem compactos representem uma solução eficiente em nível operacional, sua plena efetividade depende de políticas públicas abrangentes, incluindo investimentos em infraestrutura, ações de fiscalização e programas de monitoramento contínuo da qualidade da água.

Do ponto de vista econômico e operacional, o sistema demonstrou alta viabilidade, visto que o custo de implementação, inferior a R\$ 5.000,00, é acessível para empresas de transporte fluvial e apresenta baixa demanda de manutenção. Essa

combinação de eficiência, baixo custo e impacto operacional positivo reforça a aplicabilidade da tecnologia em embarcações que operam em regiões remotas, nas quais o acesso a sistemas convencionais de saneamento é limitado ou inexistente.

Em síntese, o estudo confirma que a implantação de sistemas compactos de filtração em *ferry-boats* é uma estratégia tecnicamente eficaz, ambientalmente sustentável e socialmente relevante da navegação para a Ilha do Marajó. Entretanto, a mitigação completa dos riscos ambientais e sanitários da região depende de uma abordagem integrada, envolvendo o setor público, operadores de transporte, comunidades locais e instituições de pesquisa. A adoção de tecnologias inovadoras e sustentáveis, alinhada à gestão hídrica integrada e a políticas estruturantes, constitui um caminho fundamental para a conservação dos recursos hídricos amazônicos e para a melhoria da qualidade de vida das populações que deles dependem. Esta dissertação de mestrado, portanto, contribui para o avanço das soluções tecnológicas aplicadas ao saneamento naval e reafirma a necessidade de fortalecer iniciativas que promovam um futuro mais sustentável para o transporte aquaviário.

No contexto das políticas públicas, recomenda-se que os resultados deste estudo sejam utilizados como subsídio para a formulação e o fortalecimento de iniciativas governamentais voltadas à criação de programas de incentivo à implantação de sistemas de filtragem em embarcações, especialmente naquelas que operam em rotas consideradas críticas e caracterizadas por elevada vulnerabilidade socioambiental. Tais políticas poderiam incluir subsídios, linhas de crédito específicas e regulamentações que exijam padrões mínimos, contribuindo para a conformidade legal e para a redução de impactos ambientais cumulativos, assim como ações mais amplas de gestão hídrica, incluindo o fortalecimento das redes de monitoramento da qualidade da água, investimentos em infraestrutura urbana e campanhas de educação ambiental voltadas aos usuários e operadores de embarcações.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2001). Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR ISO/IEC 17025 Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração, 20p. BRASIL. 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma9648>. Acesso em: 12 ago. 2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17025: requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/nbrisoiec17025>. Acesso em: 18 jul. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil 2013. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/conjuntura-recursos-hidricos/2013>. Acesso em: 22 jul. 2024.

AGÊNCIA PARÁ. Em julho, 80 mil pessoas passaram pelo Terminal Hidroviário de Belém. Belém, 01 ago. 2024. Disponível em: . Acesso em: 2 dez. 2025.

ALCÂNTARA, T. C. O.; SILVA, E. R. M.; SIQUEIRA, C. C. B.; FERNANDES, L. B.; McCREANOR, P. T.; BARBOSA, I. C. C. Reuso de águas cinzas: estudo de caso da eficiência de dois tipos de filtros intermitentes de areia no tratamento de água cinza sintética. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 41, e33, p. 1–11, 2019. DOI: 10.5902/2179460X34335.

ALDERY, D. Cabotagem brasileira: análise das barreiras burocráticas que impactam negativamente a performance do modal. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 3, p. 1–23, 2024. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/oel/22-3/aldery-cabotagem>. Acesso em: 22 jul. 2024.

ALVES, P. *Ecologia De Laonereis Acuta Como Bioindicador Em Estuários*. 2017.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Plano Nacional de Integração Hidroviária: Bacia Amazônica. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/plano-nacional-integracao-hidroviaria-bacia-amazonica-2013>. Acesso em: 22 jul. 2024.

ANTAQ. Relatório de Gestão 2012. Brasília, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/acesso-a-informacao/prestacao_de_contas/relatorio-d-gestao>. Acesso em: 20 abr. 2024.

APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23^a ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF, 2017.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed., 1988.

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington, 2005 e 2017.

ARAÚJO, A. B. R. de. Desenvolvimento regional: um estudo do transporte fluvial por embarcações mistas no trecho Manaus–Parintins. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 10. Edição 07. Vol. 01. p 135-152, JuL de 2025. ISSN:2448-0959. Acesso:DOI:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/ciencias-sociais/desenvolvimento regional.

ARAÚJO, V. E. S. Análise de alguns parâmetros de qualidade da água na baía do Guajará em Belém-PA e os efeitos do regime pluviométrico e de marés. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: . Acesso em: maio. 2024.

BAHAMAS MARITIME AUTHORITY. MARPOL Annex IV – Sewage Pollution Prevention. Nassau, 2022. Disponível em: <https://www.bahamasmaritimeauthority.com/marpol-annex-iv-2022>. Acesso em: 22 fev. 2024.

BARROS, A. P.; SILVA, M. R.; SOUZA, L. F.; LIMA, C. S. Relatório sobre a navegação de passageiros na Amazônia em 2022. Brasília: Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/publicacoes/relatorio-navegacao-passageiros-amazonia-2022>. Acesso em: 15 ago. 2024.

BATISTA, A. L.; MOREIRA, C. P.; SANTOS, J. F. Contribuições de sistemas de filtragem para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. Revista Brasileira de Sustentabilidade e Meio Ambiente, v. 10, n. 2, p. 55–70, 2021. Disponível em: <https://revbrasustentabilidade.org/artigos/2021/filtragem-amazonia>. Acesso em: 12 jan. 2025.

BEZERRA, F. A. CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, Análise fatorial. In: J. M. Análise multivariada aplicada às ciências sociais. São Paulo: Atlas, 2020.

BIMCO. Grey Water: Definition and Background. 2025. Disponível em: <https://www.bimco.org/grey-water-definition>. Acesso em: 14 jan. 2025.

BOBBE, M. Greywater management in vessels. Copenhagen: International Water Association (IWA), 2019. Disponível em: <https://www.iwa-network.org/resources/greywater-management-in-vessels>. Acesso em: 14 jan. 2025.

BRASIL. 2002. Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978. Diário Oficial da União, Brasília, 6 jul. 1978.

BRASIL. 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005-2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: 14 jan. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, 16 maio 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera a Portaria de Consolidação nº 5/2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, 5 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318202599>. Acesso em: 22 jul. 2024. CALDAS, J. N. Avaliação de riscos sanitários em embarcações do Amazonas. 2021.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 28 set. 2017.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Diagnóstico da qualidade da água do Reservatório de Barra Bonita. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 1, p. 63–78, 2013. Disponível em: <https://www.ambiagua.net/seer/ojs/index.php/ambiagua/article/view/2013buzelli>. Acesso em: 26 mar. 2025.

CALDAS, Jerfeson Nepumuceno. Avaliação de riscos sanitários nas embarcações do Estado do Amazonas: propositura de medidas de controle e regulamentação. 2021. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

CARVALHO, L. A.; SILVA, R. P.; FERREIRA, M. S. Benefícios econômicos da melhoria da qualidade da água em comunidades ribeirinhas. *Revista de Desenvolvimento Econômico e Sustentabilidade*, v. 34, n. 3, p. 215-229, 2020.

CO, M.; LIU, Y.; HAN, Q.; ZHOU, L. Biological treatment of sewage from merchant ships. *Journal of Marine Environmental Engineering*, v. 12, n. 3, p. 145–159, 2018. Disponível em: <https://www.jmee-journal.org/articles/2018/biological-treatment-merchant-ships>. Acesso em: 10 out. 2024.

CONCEIÇÃO, M. A.; SILVA, R. B.; MOURA, L. F. Riscos do tratamento biológico de esgoto em navios mercantes e a importância de inspeções rigorosas. *Revista de Engenharia e Meio Ambiente*, v. 15, n. 2, p. 150-162, 2018.

COSTA, R.; ALMEIDA, F.; SOUZA, L.; FERREIRA, T. Filtros de carvão ativado de matérias sustentáveis. São Paulo: Instituto Brasileiro de Tecnologias Ambientais, 2022. Disponível em: <https://www.ibta.org.br/publicacoes/filtros-carvao-ativado-2022>. Acesso em: 13 fev. 2023.

COUTO, M. "Amazônia: Transporte fluvial e suas implicações." In: *Transportes e Desenvolvimento na Amazônia*. Universidade Federal do Amazonas, 2015. p. 75.

CPRH (Agência Estadual de Meio Ambiente). Características hidrográficas do estuário do Guajará. 2021. Disponível em: [//www.cprh.pe.gov.br](http://www.cprh.pe.gov.br). Acesso em: 25 mar. 2025.

DEJA, M.; NOWAK, T.; KOWALSKI, P.; LEWANDOWSKA, A. Integrated waste management systems for maritime ports. Gdańsk: Maritime Environmental Research Institute, 2021. Disponível em: <https://www.merininstitute.org/publications/integrated-waste-management-ports-2021>. Acesso em: 12 jan. 2024.

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. "Adoção de tecnologias mais avançadas e sustentáveis para a redução dos impactos da poluição hídrica." In: Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2022. Disponível em: <https://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfmcodlegi=646>. Acesso em: 22 jul. 2024.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington, DC: APHA, 2005. Disponível em: <https://www.standardmethods.org/standard-methods-21st-edition>. Acesso em: 12 jan. 2024.

EMSA. EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. EMTER – Facts and Figures 2025: European Maritime Transport Environmental Report. Lisboa: EMSA, 2025. Disponível em: <https://emsa.europa.eu/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

EPA – Environmental Protection Agency. Greywater characteristics and impacts. Washington, DC: EPA, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/greywater-characteristics-impacts>. Acesso em: 13 mar. 2024.

ESTADOS UNIDOS. Department of the Navy. Bureau of Medicine and Surgery (BUMED). Water Quality Afloat. In: ESTADOS UNIDOS. Department of the Navy. Bureau of Medicine and Surgery (BUMED). Manual of Naval Preventive Medicine. Chapter 6. NAVMED P-5010-6 (Rev. 1-2022). Falls Church, VA, 26 jan. 2022.

EUROPEAN COURT OF AUDITORS. Special Report 06/2025: EU actions tackling sea pollution by ships. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2025. Disponível em: <https://www.eca.europa.eu/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

FERREIRA, Rafael Henrique Rovani. Gestão de resíduos em navios e terminais portuários turísticos: o caso do Porto de Santos. 2017. [Insira o número total de folhas, se disponível]. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Oceanografia) – Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2017.

FILTROS CURITIBA. Filtro central de areia (quartzo) com carvão em inox 800 l/h - AcquaMais. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.filtroscuritiba.com.br/filtro-central-acquamaais-800>

FONTES, R. L.; ALMEIDA, J. P.; SANTOS, C. D.; OLIVEIRA, M. F. Transporte fluvial de passageiros entre Belém e Marajó: características e volume de viagens. *Revista Brasileira de Logística e Transporte*, v. 28, n. 3, p. 87-102, 2022.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. Impactos da poluição de embarcações nos corpos d'água. *Relatório Técnico Anual*, 2017.

FUSATI. Sistema de filtragem de água. São Paulo, 2022. Disponível em: . Acesso em: 2 dez. 2025.

GASPAR, R. T.; ALMEIDA, F. V.; SILVA, M. C. Requisitos normativos e gestão ambiental em embarcações de grande porte: segurança e sustentabilidade no transporte marítimo. *Revista de Engenharia e Sustentabilidade Marítima*, v. 29, n. 4, p. 310-322, 2021.

GIRARDI, L.; PINHEIRO, A.; VENZON, P. T. Parâmetros de qualidade de água de rios e de efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos. *Revista REGA– Revista de Gestão de Águas da América Latina*, v. 16, n. 1, p. 1–14, 2019. Disponível em: . Acesso em: 10 dez. 2024.

GONÇALVES, J. R. (2024). Desafios da infraestrutura hidroviária brasileira: manutenção de dragagem e sinalização. Universidade Federal de Santa Catarina.

GOVARDHAN, R.; NARAYANA, K.; KUMAR, A. "Estudo sobre a eficiência da filtração com areia e seixos rolados no tratamento de água." In: *Tratamento de Água: Métodos e Tecnologias*. Disponível em: . Acesso em: 14 de Nov. 2023. 2018.

HELCOM. BALTIC MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMISSION. Discharges to the sea from Baltic Sea shipping in 2023 (BSEFS). Helsinque: HELCOM, 2024. Disponível em: <https://helcom.fi/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

IBGE. Mapa hidrográfico da Baía do Guajará. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2023. Gráficos climatológicos. Disponível em: < <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>>. Acesso em: 15 fev.2023.

JHONSON. A- Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans. 2017.

JONES, M. S. A Resolução A.1073(28) da IMO e a segurança dos navios de passageiros. *Revista Internacional de Navegação e Segurança Marítima*, v. 18, n. 2, p. 123-135, 2020.

LEÃO, F. C.; MORAES, A. P.; SOUZA, T. M. Participação comunitária e conservação de recursos hídricos: Um estudo sobre a gestão sustentável dos rios. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 230-244, 2014.

LOUREIRO, A. F.; SILVA, R. M.; PEREIRA, L. T. Consumo de água em viagens fluviais na Amazônia: um estudo de caso entre Belém e Marajó. *Revista de Recursos Hídricos e Transporte*, v. 35, n. 2, p. 85-96, 2023.

MACIEL, M. A. M.; OLIVEIRA, J. R.; SILVA, T. F. "Implementação de sistemas de filtragem compactos em embarcações para tratamento de água." In: *Águas potáveis: padrões de qualidade, metodologias experimentais e técnicas de purificação*. 2021.

MARINE POLLUTION BULLETIN. Sampling strategy, quantification, characterization and hazard assessment of greywater. Amsterdam: Elsevier, 2024.

MARINHA DO BRASIL. A dessalinização da água do mar em embarcações. Rio de Janeiro: diretoria de engenharia naval, 2009.

MARINHO, L. C. Avaliação da qualidade da água na baía do Guajará e seus impactos em Belém. *Ciência e Sustentabilidade na Amazônia*, v. 17, n. 3, p. 210-

MATTILSYNET. Potable water on board ships. [S.l.: s.n.], [2001]. Guia para implementação do Regulamento Norueguês de Água Potável.

MEGUIS, T. R. B. Transporte fluviomarítimo e turismo: a viagem à Soure e as perspectivas de desenvolvimento local. 2018. 223 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento do Trópico Úmido) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2018.

MENDES, C. A. Batimetria e sedimentologia da Baía do Guajará, Belém, Estado do Pará. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

MENDONÇA, A. L. P. As águas da região norte brasileira e a luta das comunidades ribeirinhas do estado do Amazonas pela água potável. *Revista do Direito Público*, v. 18, n. 2, p. 187-204, 2023.

METCALF & EDDY; AECOM. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. Arquivo em PDF fornecido pelo usuário. Acesso em: 02 dez. 2023.

MORETTO, Nicolas Bristot et al. Análise Estrutural de Embarcações tipo Ferry Boat da Região Amazônica. 2016.

MOURA, C. N. Saúde ambiental e poluição hídrica em comunidades ribeirinhas da Amazônia brasileira. Novos Cadernos NAEA, Belém, v. 19, n. 1, p. 119-140, jan./abr. 2016. Acesso em: 26. Mar.2024.

MOURA, J. P.; ALVES, C. R.; SOUZA, L. M. Impactos da poluição dos rios na saúde pública. Revista Brasileira de Saúde e Meio Ambiente, v. 22, n. 1, p. 45-58, 2016.

MULIĆ, R; JERONČIĆ T, I. Supplying ships with safe drinking-water. International Maritime Health, v. 71, n. 2, p. 123-128, 2020. Disponível em: MULIĆ; JERONČIĆ TOMIĆ. Supplying ships with safe drinking-water. 2020.DOI: 10.5603/IMH.2020.0022.

NIEMEYER, J. L. Necessidade de conformidade ambiental no tratamento de efluentes de navios no Brasil. Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 18, n. 4, p. 270-283, 2020.

NOGUEIRA, R. Sistemas de osmose para água em navios de cruzeiro. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

NOURY, L.; BERTRAND, P. Sistemas de tratamento de águas residuais para embarcações e instalações terrestres. Revista de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos, v. 15, n. 4, p. 310-322, 2018.

NOVAIS, G. T., MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. Revista Brasileira de Climatologia, v. 32, p. 1-39, 2023.

OCEAN CONSERVANCY. Grey Water from Passenger Vessels in Alaska. Washington, D.C.: Ocean Conservancy, 2021. Disponível em: <https://oceanconservancy.org/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

OLIVEIRA, E. S. de; SOUZA, R. F. de. O transporte hidroviário na Amazônia: desafios e perspectivas. Revista de Transporte e Logística, v. 4, n. 1, p. 45–59, 2019.

OLIVEIRA, Vanusa Maria Ferreira de. Melhoria das condições da água utilizando filtro de areia modificado com biomassa. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 12 ago. 2025.

PATERNIANI, J. E. S. Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 803-812, jul./ago. 2011.

PAULA, D. L. M.; LIMA, A. C. M.; VINAGRE, M. V. A.; PONTES, A. N. Saneamento nas embarcações fluviais de passageiros na Amazônia: uma análise de risco ao meio ambiente e à saúde por meio da lógica fuzzy. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 2, p. 283–294, 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019150122.

PAULA, D. L. M. Saneamento em embarcações fluviais de passageiros: análise dos riscos ambientais em relação à poluição hídrica e ao consumo de água. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano) – Universidade da Amazônia, Belém, 2015.

PINHEIRO, A. B.; LIMA, E. S.; RODRIGUES, J. A. G. Avaliação da qualidade da água da Baía do Guajará, Belém, Pará, Brasil. Revista Ambiente & Água, v. 8, n. 2, p. 169-182, 2013. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1112>.

REDE BIM-MARINHA DO BRASIL. Poluição aquaviária e seus impactos no ciclo hidrológico. Relatório Anual da Marinha do Brasil, 2015.

RODRIGUES, I. M. Influência das atividades portuárias na qualidade das águas estuarinas nos portos de Vila do Conde e Terminal Petroquímico de Miramar (Setor 3: Continental Estuarino Amazônia). 2024. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Disponível: Acesso em: 2 dez. 2025.

RUBIN, C. Novas Tecnologias Para Tratamento De Água E Efluentes. Edição Nº 42 - abril/maio de 2018 - Ano 7.

SALES, F. R.; MARTINEZ, P. G. A responsabilidade ambiental no tratamento de efluentes de navios: prevenção da poluição marinha. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 22, n. 1, p. 50-63, 2016.

SANTOS J., Elias Lira dos et al. Tecnologia alternativa para tratamento seletivo dos resíduos provenientes da bacia sanitária em comunidades rurais. 2019.

SANTOS, L. F dos. Avaliação da qualidade ambiental da baía do Guajará em Belém – PA. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará / Museu Paraense Emílio Goeldi / EMBRAPA, Belém, 2018. Disponível em: . Acesso em: 12 ago. 2024.

SILVA, A. F.; PEREIRA, J. M.; COSTA, R. C. Sustentabilidade no transporte hidroviário: práticas e tecnologias para a mitigação de impactos ambientais. *Revista Brasileira de Transportes e Meio Ambiente*, v. 21, n. 2, p. 120-135, 2016.

SILVA, João M. Hidrografia e dinâmica sedimentar da Baía do Guajará. 2018. 150 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SILVA, M. R.; OLIVEIRA, T. P.; FERREIRA, G. S. Necessidade de políticas públicas no combate à poluição dos rios amazônicos. *Revista de Políticas Ambientais e Desenvolvimento Sustentável*, v. 30, n. 2, p. 221-234, 2022.

SILVA, R. L. Mercado, concentração e degradação ambiental na navegação marítima. Universidade de Brasília. 2019.

SMITH, J. R. A Convenção SOLAS e as normas de segurança em embarcações. *Revista Internacional de Transporte Marítimo*, v. 22, n. 3, p. 155-167, 2018.

SOUSA, Samuel Ribeiro de; SILVA, Aguinaldo. Gestão ambiental das empresas brasileiras de navegação e dos portos nacionais que operam na hidrovia do Paraguai-Paraná. *Para Onde!? Revista Eletrônica, Porto Alegre*, v. 13, n. 2, p. 43-60, 2020. DOI: 10.22456/1982-0003.99996.

SOUZA, K. M. "Benefícios do sistema de filtragem compacto no tratamento de água." In: *Tratamento de Água: Tecnologias e Aplicações*. Disponível em: . Acesso em: 14 Nov. 2023 .2020.

TOBIAS, M. Análise multivariada da demanda hidroviária na Amazônia: o caso da Travessia Belém-Marajó. *Revista Observatório de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 01–21, 2024.

TRANSPORT CANADA. Interim Order No. 3 Respecting the Discharge of Sewage and the Release of Greywater by Cruise Ships in Canadian Waters. Ottawa: Transport Canada, 2025. Disponível em: <https://tc.canada.ca/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

TUNDISI, J. G. Gestão de recursos hídricos na Amazônia: desafios e perspectivas. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 60, p. 157-172, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142007000200010>.

VARELA, A. W. P.; SOUZA, A. J. N. DE; AVIZ, M. D. De; PINFILDI, G. V.; SANTOS, R. M.; SOUSA, P. H. C.; SANTOS, M. DE L. S. Qualidade da água e índice de estado trófico no Rio Guamá, município de Belém (Pará, Brasil). *Revista Gestão Sustentável e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 695-715, 2020.

VARELA, F. S. Qualidade da água e influências ambientais na baía do Guajará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, n. 2, p. 134-147, 2019.

VASCONCELOS, J. N. T., CARNEIRO, B. S., GOMES, L. de C. S. B., VEIGA, M. A., MEDEIROS, A. C., & FAIAL, K. do C. F. (2024). Avaliação Quimiométrica da Água Superficial da Praia do Cruzeiro e Imediações, na Foz do Rio Maguari, Icoaraci, Belém, Pará. *Revista Foco*, 17(1), 1-24.

VELASQUEZ, M. L. A navegação fluvial na região Norte do Brasil: desafios e perspectivas. Escola de Guerra Naval. 2021.

VOUTCHKOV, N. Advances in membrane technology for water treatment in maritime applications. *Desalination*, 440, p. 34–46, 2018.

WEIS, W. A. Ecologia de Laonereis acuta como bioindicador em estuários. 2017. 97 f. Tese (Doutorado em Ecologia) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

WHITE, E. Grey Water from Passenger Vessels in Alaska (2000-2019). Juneau, Alaska: Ocean Conservancy, 2021. 20 p. Disponível em: . Acesso em: 25 mar. 2023.

**ANEXO 1: Laudos laboratoriais de análise da qualidade da água
pré-implantação do sistema de filtragem.**



Relatório de ensaios Nº: 4071.2022- V.0					
01. Dados Contratação:					
Identificação do Laboratório:					
Laboratório:	L A S SANCHES LABORATORIO				
CNPJ/CPF:	03.742.719/0001-96	Inscrição Estadual: 15213750-5			
Endereço:	Av. Duque de Caxias ,1388 Bairro do Marco - Belém/PA CEP: 66093400				
E-mail:	contato@laboratorioanalitico.com.br				
Contratante:					
Razão Social:	Bruno Farias da Silva				
CNPJ/CPF:	927.960.282-91				
Endereço:	Rodovia Augusto Montenegro,4400Apto 204 Parque Verde - Belém/PA CEP: 66635110				
Proposta Comercial:	2776.2022.V0				
Contato:	Bruno				
E-mail:					
Fone:	+55 (91) 99229-4949				
Solicitante:					
Razão Social:	Henvil Transportes Ltda				
CNPJ/CPF:	83.892.117/0009-01				
Contato:	Bruno E-mail: Fone: +55 (91) 99229-4949				
02. Dados da Amostragem:					
Descrição da Amostra:	Água Poço Localizado no Porto da Henvil - Icoaraci				
Endereço Amostragem:	Rua Siqueira Mendes,S/N, Cruzeiro Icoaraci Cidade: Belém/PA CEP: 66812460				
Condições Ambientais:	, Temp Ambiente 27,00°C, Temp Transporte 5,00°C				
Matriz e Origem Amostra:	Água - Água Subterrânea				
Plano / Ficha Amostragem:	3526.2022.V0	Característica da Amostra:	Simples		
Data de Amostragem:	17/09/2022 06:15:00	Responsável pela Amostragem:	lia.gomes		
Data Recebimento:	19/09/2022 12:29:00				
Data Início Amostra:	17/09/2022	Data Conclusão Amostra:	26/09/2022		
03. Resultados:					
Parâmetros	Resultados	V.M.P - Norma	Un	L.Q.	Início Ensaio
Acidez	10,940	N.A	mg/L	-	20/09/2022
Alcalinidade	30,80	N.A	mg/L CaCO3	1,000000	20/09/2022
Amônia (como N)	0,010	até 1,200	mg/L	0,020000	20/09/2022
Cloreto	17,894	até 250,000	mg/L	0,250000	20/09/2022
Coliformes Termotolerantes	Ausente	Ausente	NMP/100 mL	-	20/09/2022
Coliformes Totais	Ausente	Ausente	NMP/100 mL	-	20/09/2022
Condutividade Elétrica	286,300	N.A	µS/cm	0,010000	20/09/2022
Cor Aparente	1,000	até 15,000	uH	1,000000	20/09/2022
Dureza Total	87,696	até 300,000	mg/L	-	20/09/2022
Ferro Total	0,020	até 0,300	mg/L	-	20/09/2022
Nitrato (como N)	5,700	até 10,000	mg/L	0,010000	20/09/2022
pH	6,46	N.A	NA	-	20/09/2022
Sólidos Totais Dissolvidos	143,10	até 1.000,00	mg/L	-	20/09/2022
Sulfatos	23,000	até 250,000	mg/L	-	20/09/2022
Temperatura	27,000	N.A	°C	-	17/09/2022
Turbidez	0,810	até 5,000	NTU	0,010000	20/09/2022
04. Referência metodológica:					

Relatório N.:4071.2022.U- V.0

Parâmetros	Metodologia
Cloreto, Sólidos Totais Dissolvidos	NA
Amônia (como N)	POP.LAB 005 - DETERMINAÇÃO DE AMÔNIA COMO N POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev01
Ferro Total	POP.LAB 006 - DETERMINAÇÃO DE FERRO TOTAL POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev 01
Sulfatos	POP.LAB 011 - DETERMINAÇÃO DE SULFATO POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev 01
Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais	SMWW 24ª edição 9221B-G
Acidez	SMWW 24ª Edição, Método 2310
Alcalinidade	SMWW 24ª Edição, Método 2320
Dureza Total	SMWW 24ª Edição, Método 2340
Condutividade Elétrica	SMWW, 23ª Edição, Método 2510
Temperatura	SMWW, 23ª Edição, Método 2550
Cor Aparente	SMWW, 24ª Edição, Método 2120
Turbidez	SMWW, 24ª Edição, Método 2130
Nitrato (como N), pH	SMWW, 24ª Edição, Método 4500

Declaração de conformidade: O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) analisado(s), se encontra(m) em conformidade com os limites e padrões estabelecidos na Portaria GM-MS Nº 888, de 4 de Maio de 2021.

Legislação: Valores de referência estabelecidos conforme PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 • Anexo XX

Opiniões e interpretações de resultados, não fazem parte da lista de serviços deste laboratório.

Legenda

mg/L • Miligrama por Litro, mg/L CaCO₃ • miligrama / litro alcalinidade, NMP/100 mL • Número Mais Provável por 100 mL, µS/cm • Microsiemens por Centímetro, uH • Unidades de Cor Hazen, NA • Não Aplicável, °C • Graus Celsius, NTU • Unidades Nefelométricas de Turbidez UFC = Unidades Formadoras de Colônias; Hz = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Protection Agency

Notas Gerais

- A) Os resultados desta análise referem-se exclusivamente à amostra e parâmetros analisados, não sendo extensivo ao lote.
 B) Todas as informações do cliente, referentes a este trabalho estão protegidas por nossa Política de Confidencialidade.
 C) Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro, sem qualquer alteração. A utilização do mesmo para outras finalidades depende da prévia autorização do Laboratório Las Sanches.
 D) Quando a coleta for realizada pelo cliente, as amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta.

Acesso ao Área do Cliente

Este relatório ficará disponibilizado para consultas na Área do Cliente. Para ter acesso a Área do Cliente, é necessário solicitar ao Laboratório Las Sanches o usuário e chave de acesso.

Regra de Decisão adotada pelo Laboratório Analítico

A incerteza de medição será expressa no Certificado de Análise mediante prévia solicitação, porém esta não é considerada para a regra de decisão de declaração de conformidade.

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos

- 1ª • Acesse a página lassanches.ultralims.com.br/cliente
 2ª • Clique na opção "Validar Laudo"
 3ª • Digite o número do Código de Verificação, presente no final do relatório
 4ª • Clique em Validar

Obs: Para criação de seu usuário de acesso ao ambiente cliente, favor entrar em contato com o departamento comercial
 Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por:

Reynaldo S. Sanches
 QUÍMICO INDUSTRIAL
 CRQ Nº 06200234

Reynaldo Sanches
 PA
 Direção Técnica



Relatório de ensaios Nº: 4072.2022- V.1

01. Dados Contratação:	
Identificação do Laboratório:	
Laboratório:	L A S SANCHES LABORATORIO
CNPJ/CPF:	03.742.719/0001-96 Inscrição Estadual: 15213750-5
Endereço:	Av. Duque de Caxias, 1388 Bairro do Marco - Belém/PA CEP: 66093400
E-mail:	contato@laboratorioanalitico.com.br
Contratante:	
Razão Social:	Bruno Farias da Silva
CNPJ/CPF:	927.960.282-91
Endereço:	Rodovia Augusto Montenegro, 4400 Apto 204 Parque Verde - Belém/PA CEP: 66635110
Proposta Comercial:	2776.2022.V0
Contato:	Bruno
E-mail:	
Fone:	+55 (91) 99229-4949
Solicitante:	
Razão Social:	Henvil Transportes Ltda
CNPJ/CPF:	83.892.117/0009-01
Contato:	Bruno E-mail: Fone: +55 (91) 99229-4949

02. Dados da Amostragem:	
Descrição da Amostra:	água residual - Ferry Boat - São Gabriel
Endereço Amostragem:	Rua Siqueira Mendes, S/N, Cruzeiro Icoaraci Cidade: Belém/PA CEP: 66812460
Matriz e Origem Amostra:	Efluente - Efluente Tratado
Plano / Ficha Amostragem:	3526.2022.V0 Característica da Amostra: Simples
Data de Amostragem:	17/09/2022 06:20:00 Responsável pela Amostragem: INATIVO
Data Recebimento:	19/09/2022 12:30:00
Data Início Amostra:	21/09/2022 Data Conclusão Amostra: 30/09/2022

03. Resultados:					
Parâmetros	Resultados	V.M.P - Norma	Un	L.Q.	Início Ensaio
Coliformes Termotolerantes	2.400,0000	N.A	NMP/100 mL	-	21/09/2022
Coliformes Totais	11.000,000	N.A	NMP/100 mL	-	21/09/2022
Demanda Bioquímica de Oxigênio	54,660	N.A	mg/L	0,100000	21/09/2022
Nitrogênio Amoniacal Total	1,176	até 20,000	mg/L	-	21/09/2022
Óleos e graxas Totais	4,590	N.A	mg/L	-	21/09/2022
Oxigênio Dissolvido	6,080	N.A	mg/L	-	21/09/2022
pH	6,29	de 5,00 a 9,00	-	-	21/09/2022
Surfactantes	9,070	N.A	mg/L	-	21/09/2022

04. Referência metodológica:	
Parâmetros	Metodologia
Surfactantes	NA
Nitrogênio Amoniacal Total	POP.LAB 005 - DETERMINAÇÃO DE AMÔNIA COMO N POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev01
Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais	SMWW 24ª edição 9221B-G
Demanda Bioquímica de Oxigênio	SMWW, 23ª Edição, Método 5210
Óleos e graxas Totais	SMWW, 23ª Edição, Método 5520
Oxigênio Dissolvido, pH	SMWW, 24ª Edição, Método 4500

Declaração de conformidade: O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) analisado(s), se encontra(m) em conformidade com os limites e padrões estabelecidos na Resolução Conama 430/2011, Artigo 16.

Legislação: Valores de referencia estabelecidos conforme CONAMA 430 • Artigo 16 • Saida

Este relatório substitui integralmente o relatório 4072.2022- V.0

Opiniões e interpretações de resultados, não fazem parte da lista de serviços deste laboratório.

Legenda

NMP/100 mL • Número Mais Provável por 100 mL, mg/L • Miligrama por Litro UFC = Unidades Formadoras de Colônias; Hz = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Protection Agency

Notas Gerais

- A) Os resultados desta análise referem-se exclusivamente à amostra e parâmetros analisados, não sendo extensivo ao lote.
 B) Todas as informações do cliente, referentes a este trabalho estão protegidas por nossa Política de Confidencialidade.
 C) Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro, sem qualquer alteração. A utilização do mesmo para outras finalidades depende da prévia autorização do Laboratório Las Sanches.
 D) Quando a coleta for realizada pelo cliente, as amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta.

Acesso ao Área do Cliente

Este relatório ficará disponibilizado para consultas na Área do Cliente. Para ter acesso a Área do Cliente, é necessário solicitar ao Laboratório Las Sanches o usuário e chave de acesso.

Regra de Decisão adotada pelo Laboratório Analítico

A incerteza de medição será expressa no Certificado de Análise mediante prévia solicitação, porém esta não é considerada para a regra de decisão de declaração de conformidade.

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos

- 1º • Acesse a página lassanches.ultralims.com.br/cliente
 2º • Clique na opção "Validar Laudo"
 3º • Digite o número do Código de Verificação, presente no final do relatório
 4º • Clique em Validar

Obs: Para criação de seu usuário de acesso ao ambiente cliente, favor entrar em contato com o departamento comercial
 Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por:


 Reynaldo S. Sanches
 QUÍMICO INDUSTRIAL
 CRQ N° 06200234

Reynaldo Sanches
 PA
 Direção Técnica

Código de Verificação: 01999663-5e1c-74ca-a3e7-a815c7ec9541



Relatório de ensaios Nº: 4073.2022- V.0

01. Dados Contratação:	
Identificação do Laboratório:	
Laboratório:	L A S SANCHES LABORATORIO
CNPJ/CPF:	03.742.719/0001-96 Inscrição Estadual: 15213750-5
Endereço:	Av. Duque de Caxias, 1388 Bairro do Marco - Belém/PA CEP: 66093400
E-mail:	contato@laboratorioanalitico.com.br
Contratante:	
Razão Social:	Bruno Farias da Silva
CNPJ/CPF:	927.960.282-91
Endereço:	Rodovia Augusto Montenegro, 4400 Apto 204 Parque Verde - Belém/PA CEP: 66635110
Proposta Comercial:	2776.2022.V0
Contato:	Bruno
E-mail:	
Fone:	+55 (91) 99229-4949
Solicitante:	
Razão Social:	Henvil Transportes Ltda
CNPJ/CPF:	83.892.117/0009-01
Contato:	Bruno E-mail: Fone: +55 (91) 99229-4949

02. Dados da Amostragem:	
Descrição da Amostra:	Água da Baía do Guajará
Endereço Amostragem:	Rua Siqueira Mendes, S/N, Cruzeiro Icoaraci Cidade: Belém/PA CEP: 66812460
Matriz e Origem Amostra:	Água Superficial - Água Doce
Plano / Ficha Amostragem:	3526.2022.V0 Característica da Amostra: Simples
Data de Amostragem:	17/09/2022 06:30:00 Responsável pela Amostragem: INATIVO
Data Recebimento:	19/09/2022 12:30:00
Data Início Amostra:	21/09/2022 Data Conclusão Amostra: 26/09/2022

03. Resultados:					
Parâmetros	Resultados	V.M.P - Norma	Un	L.Q.	Início Ensaio
Coliformes Termotolerantes	11.000,0000	até 1.000,0000	NMP/100 mL	-	21/09/2022
Coliformes Totais	>110.000,0000	N.A	NMP/100 mL	-	21/09/2022
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,480	até 5,000	mg/L O ₂	-	21/09/2022
Nitrogênio Amoniacal Total	0,868	até 3,700	mg/L	-	21/09/2022
Óleos e graxas Totais	<1,000	Ausente	mg/L	-	21/09/2022
Oxigênio Dissolvido	6,420	≥ 5,000	mg/L O ₂	-	21/09/2022
pH	6,660	de 6,000 a 9,000	pH	-	21/09/2022
Surfactantes	0,401	até 0,500	mg/L LAS	-	21/09/2022

04. Referência metodológica:	
Parâmetros	Metodologia
Surfactantes	NA
Nitrogênio Amoniacal Total	POP.LAB 005 - DETERMINAÇÃO DE AMÔNIA COMO N POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev01
Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais	SMWW 24ª edição 9221B-G
Demanda Bioquímica de Oxigênio	SMWW, 23ª Edição, Método 5210
Óleos e graxas Totais	SMWW, 23ª Edição, Método 5520
Oxigênio Dissolvido, pH	SMWW, 24ª Edição, Método 4500

Declaração de conformidade: O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) analisado(s) Coliformes Termotolerantes, se encontra(m) em desconformidade com os limites e padrões estabelecidos na Resolução Conama 357/2005, Águas Doces Classe 2, Artigo 15.

Legislação: Valores de referência estabelecidos conforme Conama 357 Art 15

Opiniões e interpretações de resultados, não fazem parte da lista de serviços deste laboratório.

Legenda

NMP/100 mL = Número Mais Provável por 100 mL; mg/L O₂ = Miligrama por Litro de oxigênio; mg/L = Miligrama por Litro; pH = pH; mg/L LAS = miligrama por litro surfactantes UFC = Unidades Formadoras de Colônias; Hz = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Pr

Notas Gerais

- A) Os resultados desta análise referem-se exclusivamente à amostra e parâmetros analisados, não sendo extensivo ao lote.
 B) Todas as informações do cliente, referentes a este trabalho estão protegidas por nossa Política de Confidencialidade.
 C) Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro, sem qualquer alteração. A utilização do mesmo para outras finalidades depende da prévia autorização do Laboratório Las Sanches.
 D) Quando a coleta for realizada pelo cliente, as amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta.

Acesso ao Área do Cliente

Este relatório ficará disponibilizado para consultas na Área do Cliente. Para ter acesso a Área do Cliente, é necessário solicitar ao Laboratório Las Sanches o usuário e chave de acesso.

Regra de Decisão adotada pelo Laboratório Analítico

A incerteza de medição será expressa no Certificado de Análise mediante prévia solicitação, porém esta não é considerada para a regra de decisão de declaração de conformidade.

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos

- 1º - Acesse a página lassanches.ultralims.com.br/cliente
 2º - Clique na opção "Validar Laudo"
 3º - Digite o número do Código de Verificação, presente no final do relatório
 4º - Clique em Validar

Obs: Para criação de seu usuário de acesso ao ambiente cliente, favor entrar em contato com o departamento comercial
 Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por:


 Reynaldo S. Sanches
 QUÍMICO INDUSTRIAL
 CRQ Nº 06200234

Reynaldo Sanches
 PA
 Direção Técnica

Código de Verificação: 01999663-7a3-7893-8af5-4682c08e9616

**ANEXO 2: Laudos laboratoriais de análise da qualidade da água
pós-implantação do sistema de filtragem.**



Relatório de ensaios Nº: 1683.2025- V.0					
01. Dados Contratação:					
Identificação do Laboratório:					
Laboratório:	L A S SANCHES LABORATORIO				
CNPJ/CPF:	03.742.719/0001-96	Inscrição Estadual:	15213750-5		
Endereço:	Av. Duque de Caxias ,1388 Bairro do Marco - Belém/PA CEP: 66093400				
E-mail:	contato@laboratorioanalitico.com.br				
Contratante:					
Razão Social:	Bruno Farias da Silva				
CNPJ/CPF:	927.960.282-91				
Endereço:	Rodovia Augusto Montenegro,4400Apto 204 Parque Verde - Belém/PA CEP: 66635110				
Proposta Comercial:	1172.2025.V0				
Contato:	Bruno				
E-mail:					
Fone:	+55 (91) 99229-4949				
Solicitante:					
Razão Social:	Henvil Transportes Ltda				
CNPJ/CPF:	83.892.117/0009-01				
Contato:	Bruno E-mail: Fone: +55 (91) 99229-4949				
02. Dados da Amostragem:					
Descrição da Amostra:	Saída do Poço				
Endereço Amostragem:	Rua Siqueira Mendes,S/N, Cruzeiro Icoaraci Cidade: Belém/PA CEP: 66812460				
Matriz e Origem Amostra:	Água - Água Subterrânea				
Plano / Ficha Amostragem:	1692.2025.V0	Característica da Amostra:	Simples		
Data de Amostragem:	13/03/2025 15:17:00	Responsável pela Amostragem:	Solicitante		
Data Recebimento:	14/03/2025 10:00:00				
Data Início Amostra:	13/03/2025	Data Conclusão Amostra:	15/04/2025		
03. Resultados:					
Parâmetros	Resultados	V.M.P - Norma	Un	L.Q.	Início Ensaio
Acidez	12,36	N.A	mg/L	1,000000	15/04/2025
Alcalinidade	29,12	N.A	mg/L CaCO3	1,000000	15/04/2025
Amônia (como N)	0,1	até 1,2	mg/L	0,100000	15/04/2025
Cloreto	16,98	até 250,00	mg/L	-	15/04/2025
Coliformes Termotolerantes	Ausente	Ausente	NMP/100 mL	-	15/04/2025
Coliformes Totais	Ausente	Ausente	NMP/100 mL	-	15/04/2025
Condutividade Elétrica	296,410	N.A	µS/cm	0,010000	15/04/2025
Cor Aparente	2,00	até 15,00	uH	1,000000	15/04/2025
Dureza Total	86,54	até 300,00	mg/L	-	15/04/2025
Ferro Total	0,05	até 0,30	mg/L	0,100000	15/04/2025
Gosto	Não Objetável	Não Objetável	Intensidade	-	15/04/2025
Nitrato (como N)	5,90	até 10,00	mg/L	0,010000	15/04/2025
Nitrato (como N)	0,012	até 1,000	mg/L	0,003000	15/04/2025
Odor	Não Objetável	Não Objetável	Sensorial	-	15/04/2025
pH	6,39	N.A		-	13/03/2025
Sólidos Totais Dissolvidos	148,20	até 1.000,00	mg/L	-	15/04/2025
Sulfatos	24,00	até 250,00	mg/L	3,000000	15/04/2025
Temperatura	27,60	N.A	°C	-	13/03/2025
Turbidez	1,22	até 5,00	NTU	0,010000	15/04/2025

04. Referência metodológica:

Parâmetros	Metodologia
Cloreto, Sólidos Totais Dissolvidos	NA
Amônia (como N)	POP.LAB 005 - DETERMINAÇÃO DE AMÔNIA COMO N POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev01
Ferro Total	POP.LAB 006 - DETERMINAÇÃO DE FERRO TOTAL POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev 01
Nitrato (como N)	POP.LAB 010 - DETERMINAÇÃO DE NITRATO POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev 01
Sulfatos	POP.LAB 011 - DETERMINAÇÃO DE SULFATO POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev 01
Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais	SMWW 24ª edição 9221B-G
Gosto	SMWW 24ª Edição, Método 2160
Acidez	SMWW 24ª Edição, Método 2310
Alcalinidade	SMWW 24ª Edição, Método 2320
Dureza Total	SMWW 24ª Edição, Método 2340
Condutividade Elétrica	SMWW, 23ª Edição, Método 2510
Temperatura	SMWW, 23ª Edição, Método 2550
Cor Aparente	SMWW, 24ª Edição, Método 2120
Turbidez	SMWW, 24ª Edição, Método 2130
Odor	SMWW, 24ª Edição, Método 2150
Nitrato (como N), pH	SMWW, 24ª Edição, Método 4500

Declaração de conformidade: O(s) resultado(s) do(s) parâmetro(s) analisado(s) está(ão) de ACORDO com os limites estabelecidos pela legislação..

Legislação: Valores de referência estabelecidos conforme PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 - Anexo XX

Opiniões e interpretações de resultados, não fazem parte da lista de serviços deste laboratório.

Legenda

mg/L - Miligrama por Litro, mg/L CaCO₃ - miligrama / litro alcalinidade, NMP/100 mL - Número Mais Provável por 100 mL, µS/cm - Microsiemens por Centímetro, uH - Unidades de Cor Hazen, Intensidade - Intensidade, Sensorial - Sensorial, °C - Graus Celsius, NTU - Unidades Nefelométricas de Turbidez UFC = Unidades Formadoras de Colônias; Hz = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Pr

Notas Gerais

- A) Os resultados desta análise referem-se exclusivamente à amostra e parâmetros analisados, não sendo extensivo ao lote.
 B) Todas as informações do cliente, referentes a este trabalho estão protegidas por nossa Política de Confidencialidade.
 C) Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro, sem qualquer alteração. A utilização do mesmo para outras finalidades depende da prévia autorização do Laboratório Las Sanches.
 D) Quando a coleta for realizada pelo cliente, as amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta.

Acesso ao Área do Cliente

Este relatório ficará disponibilizado para consultas na Área do Cliente. Para ter acesso a Área do Cliente, é necessário solicitar ao Laboratório Las Sanches o usuário e chave de acesso.

Regra de Decisão adotada pelo Laboratório Analítico

A incerteza de medição será expressa no Certificado de Análise mediante prévia solicitação, porém esta não é considerada para a regra de decisão de declaração de conformidade.

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos

- 1º - Acesse a página lassanches.ultralims.com.br/cliente
 2º - Clique na opção "Validar Laudo"
 3º - Digite o número do Código de Verificação, presente no final do relatório
 4º - Clique em Validar

Obs: Para criação de seu usuário de acesso ao ambiente cliente, favor entrar em contato com o departamento comercial
 Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por:


 Reynaldo S. Sanches
 QUÍMICO INDUSTRIAL
 CRQ Nº 06200234

Reynaldo Sanches
 PA
 Direção Técnica

Código de Verificação: 0199965c-8c35-72b6-8346-035886c51d2f



Relatório de ensaios Nº: 1684.2025- V.0	
01. Dados Contratação:	
Identificação do Laboratório:	
Laboratório:	L A S SANCHES LABORATORIO
CNPJ/CPF:	03.742.719/0001-96 Inscrição Estadual: 15213750-5
Endereço:	Av. Duque de Caxias ,1388 Bairro do Marco - Belém/PA CEP: 66093400
E-mail:	contato@laboratorioanalitico.com.br
Contratante:	
Razão Social:	Bruno Farias da Silva
CNPJ/CPF:	927.960.282-91
Endereço:	Rodovia Augusto Montenegro,4400Apto 204 Parque Verde - Belem/PA CEP: 66635110
Proposta Comercial:	1172.2025.V0
Contato:	Bruno
E-mail:	
Fone:	+55 (91) 99229-4949
Solicitante:	
Razão Social:	Henvil Transportes Ltda
CNPJ/CPF:	83.892.117/0009-01
Contato:	Bruno E-mail: Fone: +55 (91) 99229-4949

02. Dados da Amostragem:			
Descrição da Amostra:	Água residuária (efluente do ferry-boat após o sistema de filtragem).		
Endereço Amostragem:	Rua Siqueira Mendes,S/N, Cruzeiro Icoaraci Cidade: Belem/PA CEP: 66812460		
Matriz e Origem Amostra:	Efluente - Efluente Tratado		
Plano / Ficha Amostragem:	1692.2025.V0	Característica da Amostra:	Simplex
Data de Amostragem:	13/03/2025 15:18:00	Responsável pela Amostragem:	Solicitante
Data Recebimento:	14/03/2025 10:05:00		
Data Início Amostra:	15/04/2025	Data Conclusão Amostra:	15/04/2025

03. Resultados:					
Parâmetros	Resultados	V.M.P - Norma	Un	L.Q.	Início Ensaio
Coliformes Termotolerantes	23,00	N.A	NMP/100 mL	-	15/04/2025
Coliformes Totais	240,00	N.A	NMP/100 mL	-	15/04/2025
Demanda Bioquímica de Oxigênio	12,54	N.A	mg/L	0,100000	15/04/2025
Nitrogênio Amoniacal Total	0,254	até 20,000	mg/L	-	15/04/2025
Óleos e graxas Totais	<1,00	N.A	mg/L	-	15/04/2025
Oxigênio Dissolvido	3,980	N.A	mg/L	-	15/04/2025
pH	6,12	de 5,00 a 9,00	-	-	15/04/2025
Surfactantes	<0,100	N.A	mg/L	-	15/04/2025

04. Referência metodológica:	
Parâmetros	Metodologia
Surfactantes	NA
Nitrogênio Amoniacal Total	POP.LAB 005 - DETERMINAÇÃO DE AMÔNIA COMO N POR ESPECTROFOTOMETRIA-rev01
Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais	SMWW 24ª edição 9221B-G
Demanda Bioquímica de Oxigênio	SMWW, 23ª Edição, Método 5210
Óleos e graxas Totais	SMWW, 23ª Edição, Método 5520
Oxigênio Dissolvido, pH	SMWW, 24ª Edição, Método 4500

Declaração de conformidade: O(s) resultado(s) do(s) parâmetro(s) analisado(s) está(ão) de ACORDO com os limites estabelecidos pela legislação..

Legislação: Valores de referência estabelecidos conforme CONAMA 430 • Artigo 16 • Saúde

Opiniões e interpretações de resultados, não fazem parte da lista de serviços deste laboratório.

Legenda

NMP/100 mL • Número Mais Provável por 100 mL; mg/L • Miligrama por Litro UFC = Unidades Formadoras de Colônias; H_z = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Protection Agency

Notas Gerais

- A) Os resultados desta análise referem-se exclusivamente à amostra e parâmetros analisados, não sendo extensivo ao lote.
 B) Todas as informações do cliente, referentes a este trabalho estão protegidas por nossa Política de Confidencialidade.
 C) Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro, sem qualquer alteração. A utilização do mesmo para outras finalidades depende da prévia autorização do Laboratório Las Sanches.
 D) Quando a coleta for realizada pelo cliente, as amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta.

Acesso ao Área do Cliente

Este relatório ficará disponibilizado para consultas na Área do Cliente. Para ter acesso a Área do Cliente, é necessário solicitar ao Laboratório Las Sanches o usuário e chave de acesso.

Regra de Decisão adotada pelo Laboratório Analítico

A incerteza de medição será expressa no Certificado de Análise mediante prévia solicitação, porém esta não é considerada para a regra de decisão de declaração de conformidade.

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos

- 1º - Acesse a página lassanches.ultralims.com.br/cliente
 2º - Clique na opção "Validar Laudo"
 3º - Digite o número do Código de Verificação, presente no final do relatório
 4º - Clique em Validar

Obs: Para criação de seu usuário de acesso ao ambiente cliente, favor entrar em contato com o departamento comercial
 Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por:


Reynaldo S. Sanches
 QUÍMICO INDUSTRIAL
 CRQ Nº 06200234

Reynaldo Sanches
 PA
 Direção Técnica

Código de Verificação: 0199965d-8e4c-73d5-b007-aa9ace9d0366



Relatório de ensaios Nº: 1685.2025- V.0	
01. Dados Contratação:	
Identificação do Laboratório:	
Laboratório:	L A S SANCHES LABORATORIO
CNPJ/CPF:	03.742.719/0001-96 Inscrição Estadual: 15213750-5
Endereço:	Av. Duque de Caxias, 1388 Bairro do Marco - Belém/PA CEP: 66093400
E-mail:	contato@laboratorioanalitico.com.br
Contratante:	
Razão Social:	Bruno Farias da Silva
CNPJ/CPF:	927.960.282-91
Endereço:	Rodovia Augusto Montenegro, 4400 Apto 204 Parque Verde - Belém/PA CEP: 66635110
Proposta Comercial:	1172.2025.V0
Contato:	Bruno
E-mail:	
Fone:	+55 (91) 99229-4949
Solicitante:	
Razão Social:	Henvil Transportes Ltda
CNPJ/CPF:	83.892.117/0009-01
Contato:	Bruno E-mail: Fone: +55 (91) 99229-4949

02. Dados da Amostragem:			
Descrição da Amostra:	Baia do guajará		
Endereço Amostragem:	Rua Siqueira Mendes, S/N, Cruzeiro Icoaraci	Cidade:	Belém/PA CEP: 66812460
Matriz e Origem Amostra:	Água Superficial - Água Doce		
Plano / Ficha Amostragem:	1692.2025.V0	Característica da Amostra:	Simplex
Data de Amostragem:	13/03/2025 15:19:00	Responsável pela Amostragem:	Solicitante
Data Recebimento:	14/03/2025 10:10:00		
Data Início Amostra:	13/03/2025	Data Conclusão Amostra:	15/04/2025

03. Resultados:					
Parâmetros	Resultados	V.M.P - Norma	Un	L.Q.	Início Ensaio
Coliformes Termotolerantes	9.100,00	até 1.000,00	NMP/100 mL	-	15/04/2025
Coliformes Totais	> 220.000,00	N.A	NMP/100 mL	-	15/04/2025
Demanda Bioquímica de Oxigênio	2,98	até 5,00	mg/L O ₂	-	15/04/2025
Nitrogênio Amoniacal Total	0,169	até 3,700	mg/L	0,100000	15/04/2025
Óleos e graxas Totais	<1,00	Ausente	mg/L	-	15/04/2025
Oxigênio Dissolvido	6,750	≥ 5,000	mg/L O ₂	-	13/03/2025
pH	6,590	de 6,000 a 9,000	pH	-	13/03/2025
Surfactantes	0,326	até 0,500	mg/L LAS	-	15/04/2025

04. Referência metodológica:	
Parâmetros	Metodologia
Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal Total, Oxigênio Dissolvido, pH, Surfactantes	NA
Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais	SMWW 24ª edição 9221B-G
Óleos e graxas Totais	SMWW, 23ª Edição, Método 5520

Declaração de conformidade: O(s) resultado(s) do(s) parâmetro(s) analisado(s) Coliformes Termotolerantes, está(ão) em DESACORDO com os limites estabelecidos pela legislação. Os demais parâmetros atendem aos valores máximos permitidos pela legislação..

Legislação: Valores de referência estabelecidos conforme Conama 357 Art 15

Opiniões e interpretações de resultados, não fazem parte da lista de serviços deste laboratório.

Legenda

NMP/100 mL • Número Mais Provável por 100 mL, mg/L O₂ • Miligrama por Litro de oxigênio, mg/L • Miligrama por Litro, pH • pH, mg/L LAS • miligrama por litro surfactantes UFC = Unidades Formadoras de Colônias; H_z = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Protection Agency

Notas Gerais

- A) Os resultados desta análise referem-se exclusivamente à amostra e parâmetros analisados, não sendo extensivo ao lote.
 B) Todas as informações do cliente, referentes a este trabalho estão protegidas por nossa Política de Confidencialidade.
 C) Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro, sem qualquer alteração. A utilização do mesmo para outras finalidades depende da prévia autorização do Laboratório Las Sanches.
 D) Quando a coleta for realizada pelo cliente, as amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta.

Acesso ao Área do Cliente

Este relatório ficará disponibilizado para consultas na Área do Cliente. Para ter acesso a Área do Cliente, é necessário solicitar ao Laboratório Las Sanches o usuário e chave de acesso.

Regra de Decisão adotada pelo Laboratório Analítico

A incerteza de medição será expressa no Certificado de Análise mediante prévia solicitação, porém esta não é considerada para a regra de decisão de declaração de conformidade.

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos

- 1º - Acesse a página lassanches.ultralims.com.br/cliente
 2º - Clique na opção "Validar Laudo"
 3º - Digite o número do Código de Verificação, presente no final do relatório
 4º - Clique em Validar

Obs: Para criação de seu usuário de acesso ao ambiente cliente, favor entrar em contato com o departamento comercial
 Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por:



Reynaldo S. Sanches
 QUÍMICO INDUSTRIAL
 CRQ N° 06200234

Reynaldo Sanches
 PA
 Direção Técnica

Código de Verificação: 0199965e-38b3-7a11-ba86-bd7b32059078

**ANEXO 3 - Artigo: Avaliação da qualidade da água em *Ferry-Boats*
na travessia Icoaraci – Camará: Riscos sanitários e impactos
ambientais nos estuários paraenses**

Avaliação da Qualidade da Água em Ferry Boats na Travessia Icoaraci-Camará: Riscos Sanitários e Impactos Ambientais nos Estuários Paraenses

Resumo

Através dos rios do Pará uma das embarcações mais utilizadas são os ferrys boats, onde cumprem um papel de muita relevância no transporte de passageiros e mercadorias por sua característica geográfica, marcada por uma complexa rede de canais e ilhas. Por conta desse cenário, o uso de boa qualidade de água a bordo é essencial em garantir o bem-estar dos usuários e na prevenção de doenças como diarreia e hepatites. Além disso o lançamento da água tratada é essencial para a conservação ambiental e dos seres vivos que dependem desses estuários. O estudo faz uma avaliação sobre a qualidade da água utilizada nos ferrys boats que fazem a travessia entre Icoaraci (Belém) para o porto de Camará (Salvaterra).

Palavras-chaves: Estuário, Ferry boat, Qualidade de água.

Abstract

Through the rivers of Pará, one of the most commonly used types of vessels is the ferry boat, which plays a highly relevant role in the transportation of passengers and goods due to the region's geographical characteristics, marked by a complex network of channels and islands. In this context, the use of good-quality water on board is essential to ensure the well-being of users and to prevent diseases such as diarrhea and hepatitis. Furthermore, the discharge of treated water is essential for environmental conservation and for the protection of living organisms that depend on these estuaries. This study evaluates the quality of water used on ferry boats operating the route between Icoaraci (Belém) and the Port of Camará (Salvaterra).

Keywords: Estuary, Ferry boat, Water quality.

Introdução

O estado do Pará, dispõe de uma grande malha hidroviária, que liga maioria de seus municípios, muitos deles dependem dessas vias. O transporte por balsas e ferry boats constitui a principal forma de integração, social e econômica (Companhia de Portos e Hidrovias-Pa). Essas embarcações garantem a circulação de passageiros, veículos e mercadorias em um território marcado por estuários, ilhas e rios extensos, como os da região metropolitana de Belém. Para muitas comunidades ribeirinhas, o ferry boat é o único meio de acesso aos centros urbanos, exercendo função crítica na mobilidade e na segurança alimentar (Franco; Nogueira; Marques, 2020).

A travessia fluvial Icoaraci-Camará ilustra esse cenário, com embarcações que transportam diariamente uma população majoritariamente economicamente ativa (58% com idade entre 26 e 55 anos), com escolaridade média e vínculos formais de trabalho (Silva et al., 2023). Por isso, a qualidade da água utilizada nos sistemas de abastecimento das embarcações torna-se uma preocupação, tanto do ponto de vista da saúde pública quanto da proteção ambiental.

Diversos estudos advertem a precariedade nos sistemas de abastecimento e tratamento de água e esgoto em embarcações, destacando riscos sanitários e ambientais, a exemplo da ausência de regulamentação padronizada (Girardi, Pinheiro & Venzon, 2019), deficiências no tratamento biológico de efluentes (Co et al., 2018), e inadequações no cumprimento das leis ambientais (Niemeyer, 2020). Além disso, avaliações específicas na região Norte, como as realizadas por Varela (2019) e Marinho (2019), revelam a influência de fatores naturais e antrópicos na qualidade da água de rios como o Guamá, comprometendo o abastecimento urbano.

Paula et al. (2019) reforça os riscos associados ao uso das águas das embarcações fluviais, citando elevada contaminação e deficiência nos sistemas de tratamento. Por outro lado, Meguins (2018) ressalta o potencial do transporte fluviomarítimo para o turismo e o desenvolvimento socioeconômico local, especialmente em áreas como Soure (PA), onde o acesso eficiente e seguro depende diretamente da gestão dos serviços públicos. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar a qualidade da água em três pontos do sistema de abastecimento do ferry boat que opera na travessia Icoaraci-Camará: o poço de captação, a

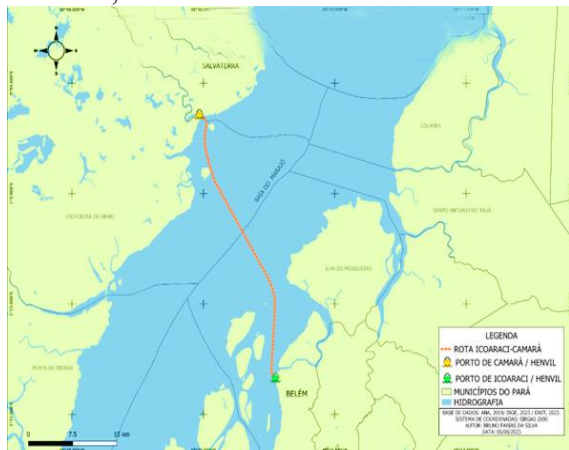
baía do Guajará e a água fria armazenada a bordo.

Localização da área de estudo

A coleta de amostras no ponto P1 $1^{\circ}18'1.17''\text{S}$ - $48^{\circ}29'24.86''\text{O}$ ocorreu no poço situado no terminal de passageiros da empresa Henvil Transportes, localizado na rua Siqueira Mendes (Icoaraci/Pará), em uma via de 1,8 km, onde a área total do terminal é de 4 mil m^2 . Trata-se de um local extremamente movimentado, dada a sua localização em uma área portuária no bairro do Cruzeiro. A posição geográfica do terminal é estrategicamente vantajosa, tanto em relação a Belém – distante 20 km do centro da cidade – quanto por estar posicionado de frente para a baía de Guajará.

Na Baía do Guajará, a amostra de água (P2) foi coletada nas seguintes coordenadas: $1^{\circ}18'1.30''\text{S}$ e $48^{\circ}29'25.62''\text{O}$, alguns metros distantes do ponto de lançamento da embarcação. Para a amostra da água a bordo do *ferry boat* São Gabriel, o ponto utilizado foi $1^{\circ}18'1.79''\text{S}$ e $48^{\circ}29'26.42''\text{O}$. Foi coletada na tubulação externa da embarcação, que é o tubo de lançamento da água fria, sendo distribuída no *ferry boat* e consequentemente lançada após a sua utilização pelos passageiros e tripulação.

Figura – Distância do Porto da Henvil em Icoaraci, até o Porto de Camará em Salvaterra.



Fonte: Sirgas 2000

Esse tipo de embarcação desempenha um papel essencial na integração logística e no transporte de pessoas, especialmente em regiões onde o deslocamento por vias terrestres é limitado. Um exemplo de destaque na categoria de *ferry boats* é o São Gabriel, que figura entre as maiores e mais modernas embarcações em operação nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Construído em 2014, com apenas cinco anos de uso, é fruto de um investimento de R\$ 24 milhões, combinando avanços tecnológicos, eficiência operacional e conforto para os usuários. O *ferry boat* possui dimensões imponentes, com 87 metros de comprimento e 16,5 metros de largura, características que o tornam uma referência em transporte hidroviário na região.

O São Gabriel realiza a travessia entre o Porto de Icoaraci e a Ilha do Marajó, uma rota de grande importância econômica e turística para o estado do Pará. Com capacidade para 1.030 pessoas, incluindo 1.123 passageiros, 8 tripulantes, 100 veículos, 72 motocicletas e 2 espaços adicionais para cargas especiais, a embarcação atende uma ampla gama de necessidades, desde o transporte diário de trabalhadores até viagens de lazer.

O interior do *ferry boat* foi cuidadosamente planejado para oferecer conforto e acessibilidade. Além do térreo climatizado, há um espaço especialmente adaptado para pessoas com deficiência e seus acompanhantes, promovendo inclusão e bem-estar. A embarcação também conta com uma ala executiva equipada com poltronas acolchoadas semileito, que proporcionam maior conforto aos passageiros que optam por um serviço diferenciado.

A operação do São Gabriel segue horários alternados, garantindo flexibilidade para os passageiros. As viagens partem às 6h e 7h no sentido Icoaraci-Camará, com retorno entre 15h e 16h no sentido inverso. Cada travessia tem uma duração média de 2 horas e 40 minutos, com um fluxo anual de aproximadamente 250.000 passageiros, demonstrando a relevância do *ferry boat* no sistema de transporte regional.

No aspecto técnico, o São Gabriel é equipado com um casco em formato de quilha, projetado para estabilidade e segurança durante as travessias. A propulsão é garantida por dois motores DSI 13 de 625 HP cada, que representam o que há de mais avançado em tecnologia para embarcações dessa categoria. Esses motores asseguram eficiência energética e confiabilidade, essenciais para operações diárias em rotas de alto movimento.

O *ferry boat* São Gabriel não apenas desempenha um papel vital no transporte de pessoas e mercadorias, mas também contribui significativamente para o desenvolvimento econômico e social da região. Atravessando um

dos mais desafiadores e fascinantes ecossistemas do Brasil, a embarcação simboliza a integração entre modernidade, sustentabilidade e atendimento às necessidades da população local e dos turistas que visitam a região.

Figura – *Ferry boat* São Gabriel- Henvil Navegação.



Fonte: Thiliane Meguis (2017).

Material e métodos

Amostragem

A amostragem foi realizada no poço terminal de passageiros da Henvil, localizado nas coordenadas 1°18'1.17"S e 48°29'24.86"O, com uma altitude de 8 metros. Segundo informações do Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Belém (SAAEB, 2023), a profundidade do poço varia entre 205 metros e 285 metros, caracterizando-o como um aquífero profundo. Essa localização foi escolhida devido à sua relevância no abastecimento local e à necessidade de monitorar a qualidade da água subterrânea utilizada.

Para as amostras coletadas na Baía de Guajará, a priorização dos pontos de coleta foi estrategicamente definida para incluir locais próximos aos pontos de lançamento de efluentes, considerando o potencial impacto ambiental.

A coleta foi realizada nas coordenadas 1°18'1.30"S e 48°29'25.62"O. No ferry boat, a amostragem ocorreu diretamente nos tubos de lançamento de águas cinzas, situados na parte posterior da embarcação. Essas águas são originadas do uso diário por tripulantes e passageiros, sendo lançadas após processos de utilização e, potencialmente, contendo resíduos orgânicos e químicos.

Após a coleta, as amostras de água foram acondicionadas de forma a garantir sua integridade para análise. Cada amostra foi

lacrada e armazenada em caixas isotérmicas com gelo, mantendo uma temperatura média de 4 °C, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que regulamentam o controle de poluição hídrica e os critérios para coleta, armazenamento e transporte de amostras para análise laboratorial. Essas resoluções exigem que o transporte das amostras preserve suas características físico-químicas e biológicas para garantir a representatividade dos dados obtidos. Além disso, o monitoramento dos efluentes líquidos, incluindo águas cinzas, deve atender aos padrões de lançamento estabelecidos, que consideram parâmetros como DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), pH, temperatura, sólidos sedimentáveis e concentração de óleos e graxas. A metodologia aplicada permitiu uma avaliação abrangente das condições ambientais da região, incluindo o comportamento dos fluxos de água, a profundidade dos pontos de coleta e as características geográficas específicas.

O monitoramento buscou assegurar que os critérios utilizados estivessem alinhados com as legislações vigentes e que as análises realizadas contribuíssem para identificar possíveis impactos ambientais, especialmente aqueles associados ao transporte hidroviário e às operações das embarcações.

Adicionalmente, a escolha de pontos específicos, como os tubos de lançamento no ferry boat, reflete a preocupação em atender às exigências de licenciamento ambiental e ao cumprimento das normas do CONAMA que regulam o controle e o monitoramento de fontes potenciais de poluição hídrica em corpos d'água superficiais e subterrâneos.

Análise dos parâmetros físicos, físicos e biológicos.

As análises foram realizadas de acordo com metodologias estabelecidas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SWEWW) e *United States Environmental Protection Agency* (US EPA), onde foram analisados os parâmetros físicos, químicos e biológicos.

A determinação do oxigênio dissolvido (OD) e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi realizada pelo mesmo método citado anteriormente. O teor de nutrientes das amostras foi determinado da seguinte forma:

- a) Ortofosfato ($\text{PO}_4\text{-P}$): método do molibdato de amônio e ácido ascórbico;
- b) Amônia-Nitrogênio ($\text{NH}_4\text{-N}$): método do azul de indofenol;
- c) Nitrato-Nitrogênio ($\text{NO}_3\text{-N}$): redução com hidrazina seguida de diazotização para formar um corante azo que foi medido calorimetricamente;
- d) Nitrito-Nitrogênio ($\text{NO}_2\text{-N}$): método do dicloridrato de N-(1-naftil) etilenodiamina;
- e) Sulfatos (SO_4): método do cloreto de bário.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece diretrizes fundamentais para a classificação, o enquadramento e o monitoramento da qualidade das águas superficiais no Brasil. Este marco regulatório tem como objetivo principal garantir o uso sustentável dos recursos hídricos, preservando sua qualidade e disponibilidade para as diversas atividades humanas e para a conservação ambiental.

A norma define os parâmetros de qualidade que devem ser monitorados em corpos d'água, considerando usos preponderantes, como abastecimento público, recreação, irrigação, aquicultura e preservação da vida aquática. Além disso, a resolução orienta sobre limites máximos de contaminantes físicos, químicos e biológicos, assegurando que os padrões estabelecidos sejam compatíveis com as necessidades ecológicas e sociais.

Parâmetros físicos

Cor, Turbidez (TURB), Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Odor, Condutividade Elétrica (CE).

Tabela 1- Parâmetros físicos, siglas, métodos e unidades.

Parâmetro	Sigla	Método	Unid.
Cor Aparente	COR	SWEWW, 23ª Edição, Método 2120	NA
Turbidez	TUR	SWEWW, 23ª Edição, Método 2130	NTU
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	SWEWW, 23ª Edição,	$^{\circ}\text{C}$

		Método 2550	
Odor	NA	NA	NA
Condutividade elétrica	CE	SWEWW, 23ª Edição, Método 2510 B	MS/cm
Fonte: <i>Standard Methods for the Examination of wastewater e United states Environmental Protection Agency</i> (US EPA) (2017).			

Parâmetros químicos

pH, Alcalinidade (ALC), Acidez (ACID), Dureza (DUR), Ferro (FE), Cloretos (Cl), Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos totais dissolvidos (TDS), Sulfatos (SO_4^{2-}), Nitrato (NO_3), Amônia (NH_4), DBO, OG.

Tabela 2- Parâmetros químicos, siglas, métodos e unidades.

Parâmetro	Sigla	Método	Unid
Potencial Hidrogiônico	pH	NA	NA
Alcalinidade	ALC	SWEWW, 23ª Edição, Método 2320	Mg/CaCo ₃
Acidez	ACID	SWEWW, 23ª Edição, Método 2310	mg/L
Dureza	DUR	SWEWW, 23ª Edição, Método 2340	mg/L
Ferro	Fe	SWEWW, 23ª Edição, Método 3550	mg/L P
Cloreto	Cl ⁻	SWEWW, 23ª Edição, Método 4110 B	mg/L CL
Oxigênio Dissolvido	OD	SWEWW, 23ª Edição, Método 4550	Mg/L O ₂

Sólidos Totais dissolvidos	STD	SWEW W, 23ª Edição, Método 2510 A	mg/L ⁻³
Sulfato	SO ₄ ²⁻	SWEW W, 23ª Edição, Método 4110 B	mg/L
Nitrato	NO ₃ ⁻	SWEW W, 23ª Edição, Método 4500	mg/L N
Amônia	NH ₄	SWEW W, 23ª Edição, Método 4500	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	SWEW W, 23ª Edição, Método 5210	mg/L ⁻³
Óleos e graxas	OG	SWEW W, 23ª Edição, Método 5220	mg/L ⁻¹
Surfactantes	SURF A	NA	mg/L
Fonte: Standard Methods for the Examination of wastewater e United states Environmental Protection Agency (US EPA) (2017).			

Parâmetros biológicos

Coliformes Totais (CT) E Coliformes Termotolerantes (CTT).

Tabela 3- Parâmetros biológicos, siglas, métodos e unidades

Parâmetro	Sigla	Método	Unidade
Coliformes Termotolerantes	CTT	SWEW W, 23ª Edição, Método 9221B-G	NMP 100 ML ⁻¹
Coliformes Totais	CT	SWEW W, 23ª Edição, Método 9221B-G	NMP 100 ML ⁻¹
Fonte: Standard Methods for the Examination of wastewater e United states			

Environmental Protection Agency (US EPA) (2017).

Caracterização da área de estudo



Figura 1: Localização dos pontos de amostragem de água: P1: Poço do porto da Henvil, P2: Baía do Guajará e P3: ferry boat São Gabriel.

Tabela 4- Descrição dos pontos de coleta, proximidades, localização geográfica e objeto de estudo

Ponto	Descrição	Coordenada Geográfica	Objeto de Estudo
P1	Poço do Porto	1°18'1.17"S - 48°29'24.86"O	Terminal de Passageiros
P2	Baía do Guajará	1°18'1.30"S e 48°29'25.62"O	Baía do Guajará
P3	Ferry boat São Gabriel	1°18'1.79"S e 48°29'26.42"O	Embarcação

Fonte: Autor 2023

Hidrografia e propósito de estudo

Este estudo tem como propósito analisar os efeitos da implantação de um sistema de filtragem compacto e simples sobre a qualidade da água bruta utilizada em ferry boats na travessia entre Icoaraci e Camará (Salvaterra). Serão analisados os parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas provenientes de diferentes fontes, incluindo o abastecimento do porto, a água fria

armazenada nos ferry boats e as águas da Baía do Guajará. Adicionalmente, será avaliada a viabilidade técnica e a eficiência de um sistema de filtragem compacto e simples aplicado ao tratamento de águas brutas, por meio da comparação dos resultados obtidos antes e após o processo de filtragem.

A Baía do Guajará situa-se em uma região de relevo caracterizado por um planalto rebaixado da Amazônia, com altitudes de até 60 metros, além de planícies aluviais, incluindo várzeas, canais fluviais meandantes e áreas de inundação (El Robrini, Silva e Coimbra, 2023). Na baía, deságuam diversos igarapés, como Val-de-Cães, Una e Bacuri, além do Furo do Maguari, que separa a Ilha de Caratateua, em Outeiro, do continente.

O Rio Guamá também deságua nessa baía, contribuindo para a configuração peninsular do município de Belém (Barra et al., 2020). A Bacia Hidrográfica do Rio Guamá, com uma área de 115.000 km², é essencial para a dinâmica hídrica regional. Seu principal curso d'água, o Rio Guamá, possui 570 km de extensão e desempenha papel fundamental na disponibilidade hídrica da região (Rocha e Lima, 2022). Os principais afluentes da bacia, os rios Capim, Moju e Acará, são cruciais para a regulação do regime de chuvas e o fornecimento de água ao longo do ano. Além dos rios, a bacia inclui lagos e lagoas que desempenham funções ecológicas importantes, como armazenar água durante períodos de cheia e liberá-la em períodos de estiagem. Essas características garantem a manutenção dos níveis hídricos e a sobrevivência de diversas espécies de fauna e flora aquáticas (Kubota et al., 2020; Marinho et al., 2021).

Os recursos hídricos dessa região são amplamente utilizados em atividades como abastecimento de água, pesca, transporte e lazer. Comunidades ribeirinhas dependem diretamente dessas águas para subsistência e atividades cotidianas. Entretanto, a gestão adequada desses recursos é essencial para assegurar a sustentabilidade ambiental e o bem-estar das populações locais (Gomes et al., 2022).

O Rio Guamá também é vital para a economia da região, sendo usados no transporte de cargas, na pesca, na irrigação e no abastecimento de água para populações locais, além de ter papel estratégico no fornecimento de água para Belém (Mendonça et al., 2021). Dessa

forma, compreender e aprimorar a qualidade da água utilizada nos sistemas de transporte fluvial, como nos ferrys boats, é essencial para promover a sustentabilidade ambiental, a saúde pública e o desenvolvimento econômico da região.

Clima e Parâmetros Meteorológicos

O clima da área de trabalho é tórrido, do tipo Equatorial úmido, amazônico oriental (Eq'' eam), caracterizado por uma alta umidade relativa ao longo do ano, com T °C média anual entre 22°C e 25°C (Novais e Machado, 2023). A Amazônia é uma das regiões mais úmidas do mundo, com precipitação média anual de 2.800 mm a 3.000 mm (INMET, 2024), sendo março o mês mais chuvoso do ano. No dia da coleta (17/09/2023), a T °C máxima foi de 36,6°C, o que tornou o mês mais quente dos últimos 33 anos, superando outros registros em anos anteriores. A umidade relativa do ar na baía de Guajará é alta durante todo o ano, frequentemente acima de 80% (INMET, 2024).

Relação entre a Análise dos Parâmetros da Água e as Condições Oceanográficas da Baía do Guajará

O regime de marés semidiurno, com variações de 2,1 metros em preamar de quadratura e 3,7 metros em preamar de sizígia (DHN, 2024), impacta diretamente a qualidade das águas. Durante as marés de sizígia e quadratura, as correntes de enchente e vazante geram movimentações significativas de sedimentos e alteram a composição da coluna d'água, afetando parâmetros como turbidez, salinidade e condutividade elétrica (Alfredini; Arasaki, 2009). Esses fatores são essenciais para a compreensão das características físico-químicas das amostras coletadas.

A análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas provenientes do abastecimento do porto, da água fria armazenada nos ferrys boats e da Baía do Guajará é profundamente influenciada pelas condições oceanográficas características dessa região.

O transporte de sedimentos arenosos, que ocorre das correntes de maré da Baía do Marajó para a Baía do Guajará (Gregório, 2008), influencia diretamente os níveis de turbidez da água, um parâmetro físico fundamental na análise de qualidade. Simultaneamente, o mecanismo de entrada da maré salina contribui para variações na salinidade e condutividade

elétrica, com águas de baixa salinidade (0,04-0,12) predominando no canal de vazante e águas mais salobras (0,15-0,42) adentrando pelo canal de enchente (Pinheiro, 1987).

A dinâmica das correntes, que atingem velocidades de 1,74 m³/s na enchente e 2,10 m³/s na vazante, também impacta os níveis de oxigênio dissolvido e a dispersão de nutrientes, influenciando os parâmetros biológicos das amostras. Essas variações têm implicações diretas na avaliação da qualidade da água, tanto no ponto de abastecimento do porto quanto na água armazenada a bordo dos ferrys boats. Dessa forma, Baía do Guajará não apenas definem o contexto hidrográfico das coletas, mas também oferecem uma base essencial para a análise dos parâmetros da água. Entender essa relação é crucial para avaliar a eficiência do sistema de filtragem proposto, garantindo a melhoria na qualidade da água utilizada nos ferrys boats e preservando os recursos hídricos da região.

Consumo de água da embarcação estudada

Durante uma típica viagem para a Ilha do Marajó, o ferry boat São Gabriel consome aproximadamente 10.000 litros de água fria por semana, utilizados em atividades essenciais a bordo, como higiene pessoal, limpeza e preparo de alimentos. Esse consumo ocorre ao longo de duas viagens de ida e volta entre Icoaraci e a Ilha do Marajó, totalizando cerca de 40.000 litros de água por mês e 480.000 litros por ano.

A operação de embarcações como o ferry boat São Gabriel depende diretamente da implementação de práticas e tecnologias que minimizem desperdícios, assegurem a qualidade da água e otimizem seu uso. Essas ações são fundamentais para preservar o meio ambiente, atender às necessidades de passageiros e tripulação e promover a sustentabilidade das operações marítimas. Nesse contexto, torna-se essencial analisar os parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas de abastecimento do porto, da água fria armazenada no ferry boat e da água da Baía do Guajará.

A comparação dos resultados obtidos antes e depois do processo de tratamento visa identificar oportunidades para mitigar impactos ambientais e garantir a segurança no uso da água. A adoção de práticas e tecnologias eficientes é imprescindível para minimizar desperdícios e assegurar o uso responsável da água durante as viagens, contribuindo para a preservação ambiental e o bem-estar das pessoas a bordo.

Resultados dos parâmetros físicos das amostras

A análise físico-química das amostras de água do poço de abastecimento, poço de armazenagem do *ferry boat* São Gabriel e na baía do Guajará, revelou os seguintes resultados.

1. Cor:

A cor aparente das águas provenientes do poço, da Baía do Guajará e do ferry boat apresentou valores idênticos, com resultado de 1,000 uH em todos os pontos analisados, situando-se dentro do valor médio estabelecido como limite máximo permitido (VMP) para esse parâmetro.

2. Turbidez (TURB):

A TURB, é a medida do grau de transparência da água e teve valores de 0,810 no poço, 0,900 no *ferry boat* e 89,40 na Baía do Guajará.

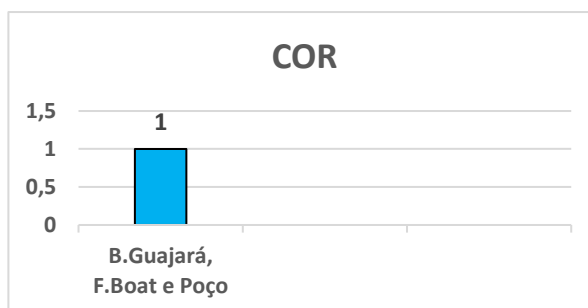
3. Temperatura (TEMP):

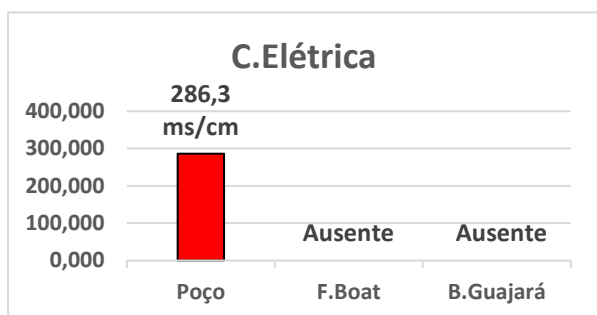
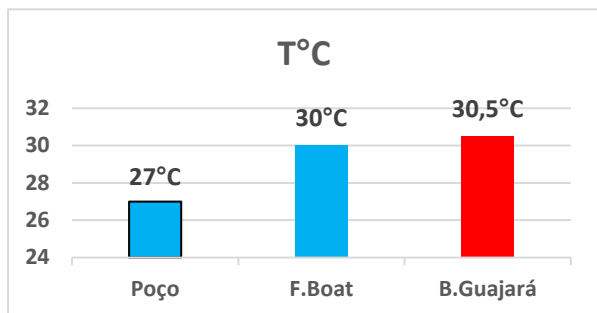
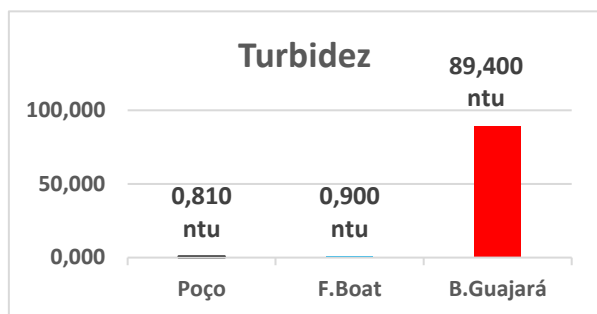
A T°C da água no poço, a bordo do *ferry boat* e da baía do Guajará, foi respectivamente de 27°C, 30°C e 30,5°C. A T°C da água é um parâmetro relacionado também com a qualidade dos corpos hídricos (Gomes; Silva; Ribeiro, 2021).

4. Condutividade Elétrica (CE):

A falta de odor no resultado das amostras de água, é um indicativo positivo, sugerindo que esta não contém contaminantes que afetem significativamente suas características sensoriais ou sua segurança para consumo. A CE teve valor de 286,300 ms/cm no poço, 290,300 ms/cm a bordo do ferry boat e 291,100 ms/cm na baía do Guajará. A CE está intimamente relacionada à quantidade de íons dissolvidos na água, como sais minerais e outros compostos iônicos (Chen; Wang, 2020).

Figura 4, 5, 6 e 7 - Resultados dos parâmetros físicos: Cor, Turbidez (ntu), T °C e CE (ms/cm), nas amostras do P1: Poço do porto, P2: Baía do Guajará e P3: *ferry boat*. A: Ausente





Parâmetros Químicos

1. pH: O pH medido no poço (6,50), no ferry boat (6,29) e na baía do Guajará (6,66) está dentro dos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005, que define que o pH para águas de Classe 2 deve variar entre 6,0 e 9,0. Esses valores indicam conformidade e são fundamentais para a saúde dos ecossistemas aquáticos e para o uso humano, considerando os padrões ambientais.

2. Alcalinidade (ALCA): Os valores obtidos para ALCA (30,80 no poço, 35,10 no ferry boat e 30,00 na baía do Guajará) refletem a capacidade de tamponamento da água, importante para manter o pH estável. A estabilidade é essencial para evitar impactos nos organismos aquáticos e atender às diretrizes da CONAMA sobre a qualidade da água.

3. Oxigênio Dissolvido (OD): O OD medido (5,300 mg/L no poço, 6,080 mg/L no ferry boat e 6,420 mg/L na baía) atende aos padrões da CONAMA 357/2005, que exige um mínimo de

5,0 mg/L para águas de Classe 2. Esses valores são fundamentais para a manutenção da vida aquática.

4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):

A DBO no ferry boat (54,660 mg/L) está muito acima do limite de 5,0 mg/L estabelecido pela CONAMA para águas de Classe 2. Isso indica uma alta carga orgânica, proveniente, possivelmente, de resíduos inadequadamente tratados a bordo. Já na baía do Guajará (0,480 mg/L) e no poço (ausente), os valores estão dentro do padrão.

5. Sólidos Totais Dissolvidos (STD): Os valores de STD (143,10 no poço, 144,10 no ferry boat e 150,00 na baía) estão dentro dos padrões para águas doces de Classe 2, que permitem até 500 mg/L.

6. Surfactantes (sabão): A concentração de surfactantes na baía (0,401 mg/L) e na área do ferry boat (9,070 mg/L) excede os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que determina um valor máximo de 0,5 mg/L para águas de Classe II. Esses resultados evidenciam o impacto direto do descarte inadequado de produtos de limpeza e efluentes provenientes do ferry boat na qualidade da água da baía.

Por outro lado, a análise da amostra do poço não detectou a presença de surfactantes, enquanto a amostra coletada no rio apresentou níveis dentro dos limites permitidos. Já a amostra obtida na embarcação revelou concentrações elevadas de surfactantes (9,07 mg/L), reforçando a relação entre o descarte de resíduos associados a produtos de limpeza e o impacto ambiental causado pelo ferry boat.

7. Nitrogênio Amoniacal (NH₃ e N-NH₃): A concentração de NH₃ foi de 0,010 no poço, 0,012 no ferry boat e 0,13 na baía, com valores de N-NH₃ de 1,176 no poço e no ferry boat, e 0,868 na baía. Esses valores estão dentro dos limites estabelecidos pela CONAMA para águas de Classe 2.

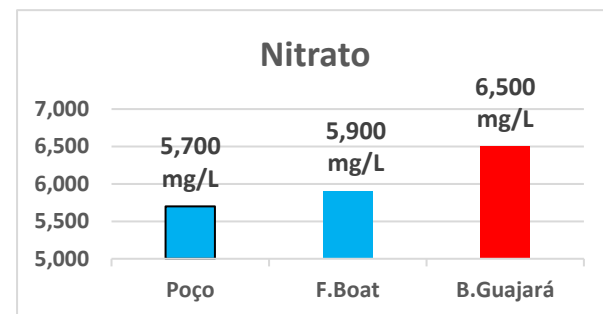
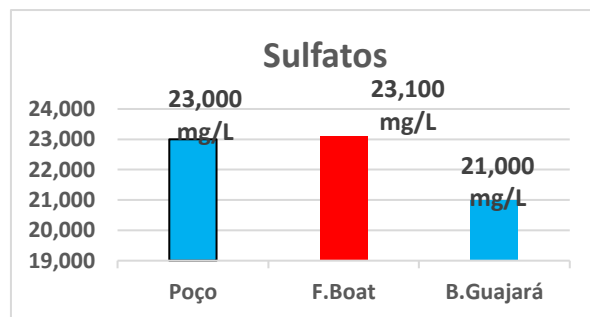
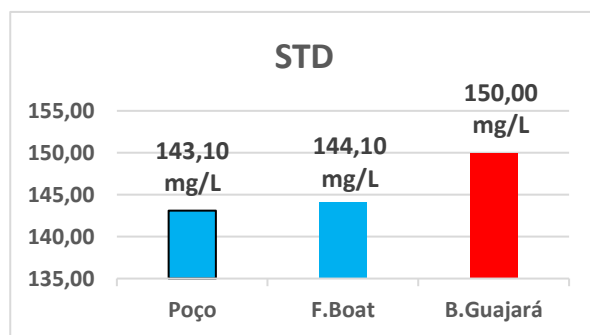
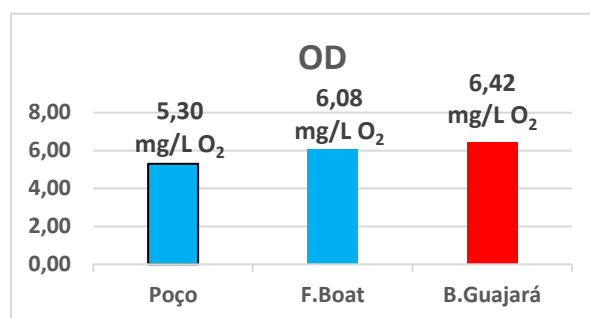
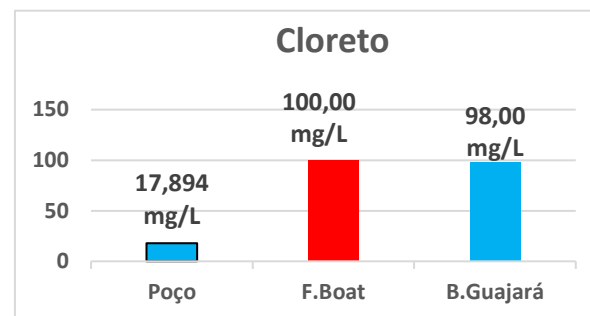
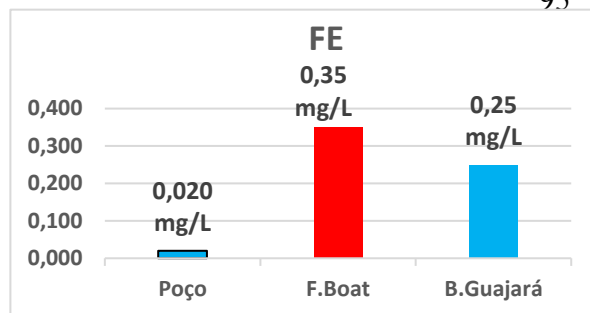
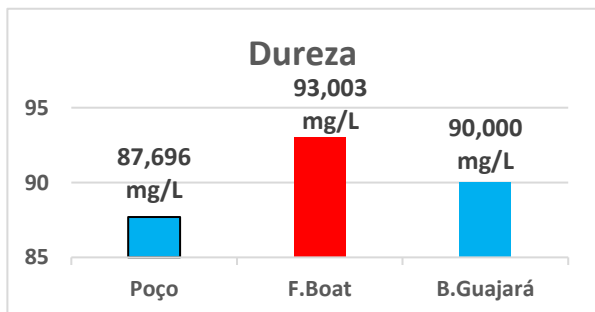
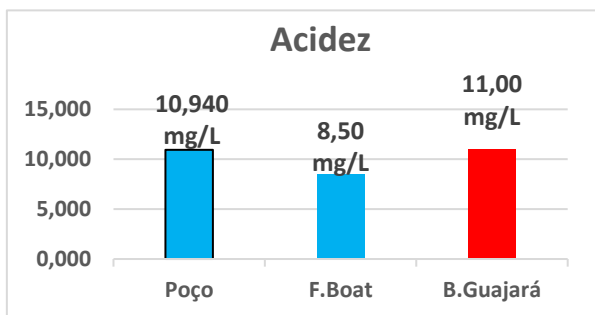
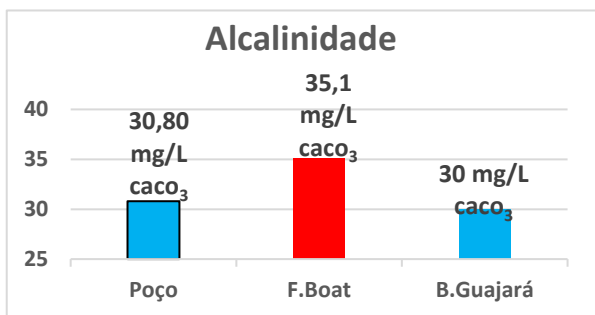
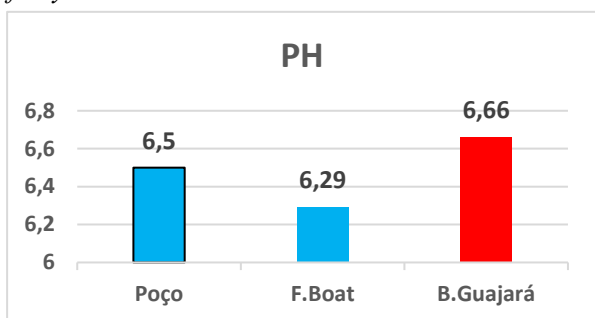
8. Cloreto (Cl⁻): Os valores obtidos (17,894 no poço, 100,00 no ferry boat e 98,00 na baía) estão dentro do limite permitido pela CONAMA que é de 250 mg/L para águas de Classe 2.

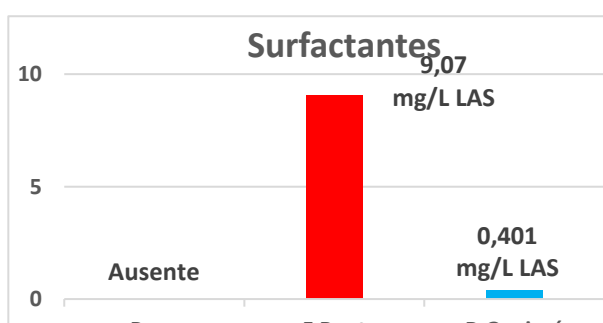
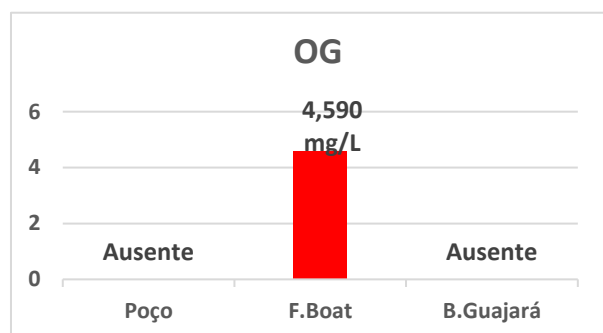
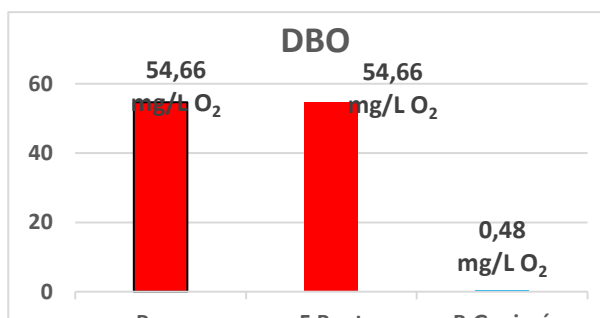
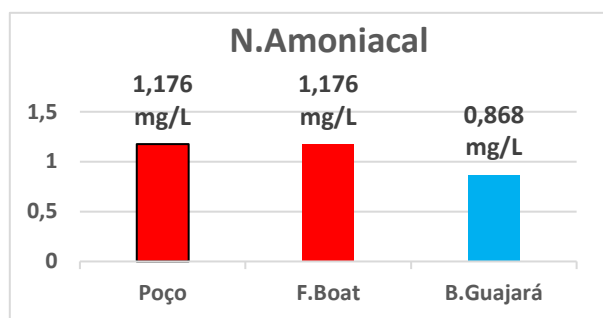
9. Sulfatos (SO₄²⁻): As concentrações de SO₄²⁻ (23,000 no poço, 23,100 no ferry boat e 21,000

na baía) estão dentro do limite permitido pela CONAMA, que estabelece um máximo de 250 mg/L.

10. Óleos e Graxas (OG): A presença de OG foi ausente no poço e na baía, mas elevada no ferry boat (4,590 mg/L), ultrapassando o limite de 5,0 mg/L estabelecido pela CONAMA para águas Classe 2. Isso indica impacto de resíduos oleosos na embarcação.

Figura 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21- Resultados dos parâmetros químicos: pH, Alcalinidade (mg/L), Acidez (mg/L), Dureza (mg/L), Fe (mg/L), Cl⁻(mg/L), OD(mg/LO₂), STD, SO₄⁻²(mg/L), NO₃⁻(mg/L), NH₃(mg/L), DBO(mg/LO₂), OG(mg/L) e surfactantes (mg/L LAS), nas amostras de água do P1: Poço do porto, P2: Baía do Guajará e P3: *ferry boat*.





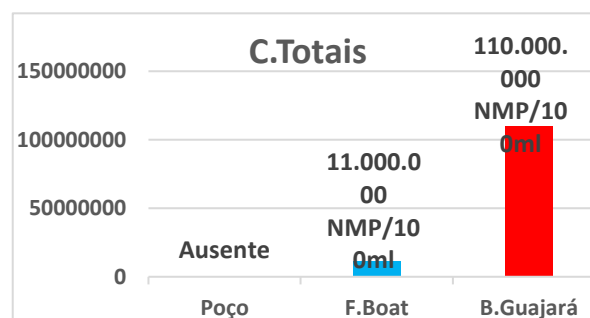
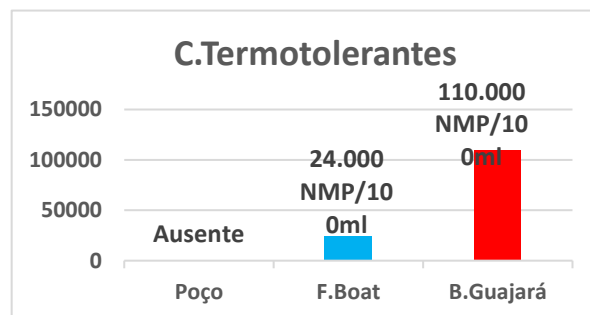
Parâmetros Biológicos

1. Coliformes Termotolerantes (CTT): Os valores de CTT no poço do porto, *ferry boat* e baía do Guajará, foram respectivamente, ausentes, 24.000 e 11.000.

2. Coliformes Totais (CT): Os parâmetros biológicos de CT tiveram altas concentrações na água da baía do Guajará, com 12.000, enquanto

no *ferry boat* São Gabriel foi de 11.000 e ausente no poço.

Figura 6 - Resultados dos parâmetros biológicos: CTT (NMP/1000 ml), CT (NMP/1000 ml), nas amostras do P1: Poço do porto, P2: Baía do Guajará e P3: *ferry boat*.



Análise dos parâmetros de acordo com a Resolução Conama 357/2025

Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos são elementos fundamentais na análise da qualidade da água de rios, pois fornecem informações iniciais sobre as condições ambientais e os possíveis impactos das atividades humanas. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, que regulamenta a classificação e o enquadramento dos corpos d'água no Brasil, esses parâmetros são indispensáveis para o monitoramento, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos.

Principais Importâncias:

Integração com as Comunidades Ribeirinhas e a Sustentabilidade Local: A análise integrada dos parâmetros químicos, físicos e biológicos é essencial para compreender os desafios enfrentados pelas comunidades na região do Guajará.

A implementação de programas de monitoramento e educação ambiental pode: Fortalecer a participação comunitária na gestão

dos recursos hídricos, promover práticas sustentáveis na agricultura e pesca, reduzindo impactos ambientais e estimular a economia local, valorizando produtos de origem sustentável e desenvolvendo o ecoturismo como fonte de renda alternativa.

Indicadores de Qualidade Ambiental:

Parâmetros como temperatura, turbidez e sólidos em suspensão ajudam a identificar mudanças nas condições naturais do rio, muitas vezes relacionadas a fatores como erosão, despejos de resíduos ou mudanças climáticas. Eles servem como indicadores rápidos e eficazes de impactos ambientais.

Apoio à Conservação da Vida Aquática:

A temperatura, por exemplo, afeta diretamente o metabolismo e a sobrevivência dos organismos aquáticos. Desvios significativos nesse parâmetro podem causar desequilíbrios ecológicos, como a morte de espécies sensíveis ou a proliferação de organismos indesejáveis.

Avaliação de Usos Múltiplos:

A análise de parâmetros como turbidez e cor aparente é essencial para determinar a adequação da água para diferentes finalidades, como abastecimento humano, recreação, irrigação ou preservação ambiental. Valores fora dos limites estabelecidos podem comprometer a viabilidade desses usos.

Deteção de Fontes de Poluição:

Alterações no aspecto e odor da água podem ser indicativos de despejos de esgotos, presença de contaminantes químicos ou outros poluentes. Esses parâmetros são úteis para identificar e mitigar fontes de poluição de forma rápida.

Base para Planejamento e Gestão Hídrica:

Os dados obtidos a partir da análise de parâmetros físicos servem como base para o planejamento de ações de controle e recuperação ambiental, além de orientar políticas públicas voltadas à gestão sustentável dos recursos hídricos.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a cor aparente é um dos parâmetros que servem para monitorar e classificar a qualidade dos corpos hídricos, estabelecendo limites aceitáveis. Isso pode indicar possível degradação da qualidade da água. Essa condição pode ser consequência de descargas poluentes, erosão do solo, desmatamento, e/ou outros fatores que afetam negativamente o ambiente aquático (CONAMA, 2005).

O parâmetro COR está associado à presença de materiais orgânicos e inorgânicos dissolvidos e suspensos na água, influenciado por fatores como sedimentos, compostos orgânicos e atividades humanas (Oliveira et al., 2018).

A TURB, foi de 0,900 no *ferry boat*, na baía do Guajará, o valor foi elevado, 89,40, indicando partículas suspensas, como argila, sedimentos ou matéria orgânica, afetando a qualidade da água e dificultando a penetração da luz solar, o que impacta a fotossíntese dos organismos aquáticos (Póvoas et al., 2020). Nas amostras.

Variações significativas de TEMP nos resultados da baía, 30,0° e 30,5° no *ferry boat*, podem influenciar a disponibilidade de OD na água, afetar os padrões de migração de espécies aquáticas e desencadear eventos de floração de algas (Alvez et al., 2019).

De acordo com a CONAMA nº 357, a CE pode indicar a presença de poluentes ou fontes de contaminação, frequentemente associados à poluição industrial, agropecuária ou urbana, sendo ausente no *ferry boat*.

Parâmetros Químicos

Principais Importâncias

Indicadores de Poluição Química:

Substâncias químicas presentes na água, como metais pesados, nutrientes (como nitrogênio e fósforo) e compostos orgânicos, são indicadores diretos de contaminação por esgoto doméstico, efluentes industriais ou atividades agrícolas. O monitoramento químico permite identificar as fontes de poluição e sua intensidade.

Avaliação da Potabilidade e Usos da Água:

Parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e presença de substâncias tóxicas são essenciais para determinar a adequação da água para usos como abastecimento público, irrigação, recreação e proteção da vida aquática.

Controle de Eutrofização:

O excesso de nutrientes químicos, como nitratos e fosfatos, pode causar a eutrofização dos rios, resultando na proliferação de algas e na redução do oxigênio dissolvido. Essa condição afeta negativamente os ecossistemas aquáticos, podendo levar à morte de peixes e outras espécies.

Prevenção de Riscos à Saúde Humana e Ambiental:

Compostos químicos, como metais

pesados (chumbo, mercúrio, cádmio) e substâncias orgânicas tóxicas, representam um risco significativo à saúde humana e à fauna aquática. O monitoramento químico ajuda a identificar esses contaminantes e estabelecer medidas de controle para mitigar seus impactos.

Base para Gestão e Políticas Públicas: A análise química da água é essencial para o planejamento de ações de gestão ambiental e implementação de políticas públicas de controle e recuperação de corpos hídricos. Os dados obtidos orientam a definição de metas de qualidade e o enquadramento dos rios nas classes estabelecidas pela resolução.

Garantia do Equilíbrio Ecológico: Parâmetros como oxigênio dissolvido e pH são cruciais para a manutenção do equilíbrio biológico nos ecossistemas aquáticos. Alterações nesses parâmetros podem afetar diretamente a biodiversidade e a funcionalidade do ambiente.

Contribuição para a Sustentabilidade: O monitoramento dos parâmetros químicos, conforme estabelecido pela CONAMA 357/2005, é uma ferramenta indispensável para garantir a qualidade da água e a sustentabilidade dos recursos hídricos. Ele permite a identificação precoce de problemas, facilita a implementação de medidas preventivas e corretivas e assegura a proteção dos ecossistemas aquáticos e dos diferentes usos da água.

A ALCA está relacionada à capacidade da água em resistir a mudanças de pH. Valores elevados de ALCA podem indicar a presença de substâncias alcalinas, como carbonatos e bicarbonatos. A ALCA desempenha um papel fundamental na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (Smith; Johnson, 2018).

A DUREZA serve como um indicador amplo de qualidade da água, afetando usos domésticos e industriais, garantindo segurança para consumo humano, influenciando a agricultura e a vida aquática, além de permitir a adaptação da água para usos específicos por meio de tratamento. Ainda, a monitorização da dureza é essencial para avaliar impactos ambientais, incluindo a presença de metais pesados e a saúde dos ecossistemas aquáticos (Garcia et al., 2020).

Altos níveis de acidez podem afetar negativamente a fauna e flora aquática, causando desequilíbrio ecológico, danificar infraestruturas

e prejudicar a qualidade da água, incluindo a liberação de metais pesados como alumínio e ferro, comprometendo sua utilidade para usos industriais, agrícolas e de abastecimento público (Coudebella e Frigo et al., 2021).

A presença excessiva de ferro na água pode causar problemas de saúde, tornar a água inadequada para consumo humano devido a sabores e odores desagradáveis e afetar a vida aquática, promovendo o crescimento excessivo de algas e prejudicando a fotossíntese das plantas aquáticas (Rodrigues et al., 2021), nos resultados, os valores de FE demonstram que a água a bordo excedeu o valor permitido pela CONAMA nº 357.

O OD a bordo do *ferry boat* foi de 5,9, acima do médio permitido do que é de 5,000, esse excesso de gera impactos negativos na vida aquática, incluindo a "síndrome da embriaguez do oxigênio" que pode causar morte dos organismos, além de alteram os processos naturais da água, contribuindo para a eutrofização e afetando a qualidade da água. (Albuquerque et al., 2017).

Os STD estão em conformidade com a Resolução do CONAMA nº 357, onde o VMP é de até 1000. Comparação com outras embarcações apontam o valor deste artigo mais alto que os valores de Paula et al. (2019) = 124,42, de Albuquerque et al. (2019) = 47,67 e de Vivian Araújo (2018) = 89. O STD desempenha um papel crucial na avaliação da qualidade da água, estando diretamente ligado aos requisitos do CONAMA nº 357, a qual estabelece critérios para a classificação das águas superficiais em classes de enquadramento (Rodrigues et al., 2021).

O SO_4^{2-} teve variações significativas, os valores encontram-se em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357, que desempenha um papel fundamental na gestão da qualidade da água, estabelecendo critérios de classificação de corpos d'água e diretrizes de controle da poluição. Para a categoria mais rigorosa, "Água Doce de Classe 1", o limite máximo de sulfatos é de 250.000 mg/L (CONAMA, 2005).

Os surfactantes são indicadores da presença de agentes tensoativos, muitas vezes provenientes de produtos de limpeza e atividades industriais. Os surfactantes são comuns em detergentes e outros produtos de limpeza, e sua presença em níveis elevados nas águas pode ter diversas consequências negativas, de acordo com a CONAMA nº 357 e considerando a

proteção da qualidade da água e do meio ambiente (CONAMA, 2005).

A NH_3 é proveniente principalmente de resíduos animais e de atividades industriais. Sua presença interfere no processo de oxigenação da água. A NH_3 é tóxica para muitos organismos aquáticos, especialmente em águas com pH elevado, onde a amônia existe em sua forma não ionizada. N-NH_3^- encontrado, está em conformidade com a CONAMA nº 357, onde (VMP) é de 3,700 mg/L. O N-NH_3^- é uma substância originada de múltiplas fontes, como esgoto, agricultura e indústria, por isso, concentrações elevadas podem prejudicar ecossistemas aquáticos e ameaçar a saúde humana ao gerar compostos nocivos, como nitritos e nitratos (Ribeiro et al., 2019).

O DBO a bordo do *ferry boat*, está elevado, 54,7. Martins et al. (2019), afirma que a elevada DBO, pode trazer diversas consequências adversas, como o esgotamento de oxigênio, onde a alta DBO resulta na depleção do OD, causando a morte de organismos aquáticos e afetando a biodiversidade e o ecossistema, fator ligado a deterioração da qualidade da água, onde deixam a água turva e com odor desagradável, tornando-a imprópria para consumo humano e prejudicando a vida aquática. Ainda, frisa-se os riscos à saúde pública, podendo conter microrganismos patogênicos, ao desequilíbrio ambiental, com a morte de organismos aquáticos e os desequilíbrios na cadeia alimentar que podem vir a perturbar os ecossistemas aquáticos. Portanto, o controle da DBO é vital para preservar a qualidade da água, a vida aquática e garantir sua segurança. Isso requer medidas de tratamento de efluentes, gestão da poluição e ações de preservação ambiental para cumprir os padrões regulatórios (Wang; Zhang, 2017).

O parâmetro NO_3^- é um indicador crítico da qualidade da água, com implicações significativas para a saúde humana e ambiental (Pereira et al., 2021). Diante disso, considera-se os resultados em conformidade, pois o (VMP) é de até 10.000 mg/L. Essas substâncias podem prejudicar ecossistemas aquáticos, dificultar a oxigenação da água e afetar a fauna e flora. Para identificar fontes de contaminação, avaliar impactos e aplicar medidas corretivas, contribuindo para a manutenção da qualidade da água de acordo com os padrões ambientais e de segurança estabelecidos pelos órgãos reguladores (Santos; Oliveira; Rodrigues, 2020).

Parâmetros Biológicos Principais Importâncias

Indicadores de Saúde Ecológica: Os organismos aquáticos, como peixes, macroinvertebrados e fitoplâncton, são sensíveis a mudanças na qualidade da água. Alterações na composição e diversidade dessas comunidades biológicas podem indicar a presença de poluentes, mudanças nas condições ambientais e impactos cumulativos no ecossistema.

Monitoramento de Impactos de Longo Prazo: Parâmetros biológicos fornecem informações sobre o histórico de alterações ambientais, pois muitos organismos respondem a impactos cumulativos ao longo do tempo. Assim, eles complementam análises químicas, que frequentemente refletem condições momentâneas.

Avaliação da Biodiversidade: A preservação da biodiversidade aquática é um dos objetivos principais da gestão de recursos hídricos. Monitorar parâmetros biológicos permite identificar áreas de alta biodiversidade e detectar ameaças a espécies sensíveis, promovendo ações de conservação.

Deteção de Poluentes e Efeitos Subletais: Certos organismos funcionam como bioindicadores, respondendo a poluentes específicos ou a condições ambientais adversas, como a presença de metais pesados, excesso de nutrientes ou contaminação orgânica. Esses indicadores são úteis para detectar poluentes que podem não ser identificados em análises químicas convencionais.

Avaliação de Eutrofização: A proliferação de algas e cianobactérias, monitorada por parâmetros biológicos, é um sinal clássico de eutrofização, frequentemente causado por excesso de nutrientes na água. Essa condição pode comprometer a qualidade da água e gerar riscos à saúde humana e à vida aquática.

Apoio à Gestão Sustentável: Os dados obtidos por meio do monitoramento biológico orientam a gestão ambiental, fornecendo subsídios para o planejamento de ações de recuperação de ecossistemas degradados, estabelecimento de metas de qualidade da água e proteção de habitats aquáticos.

Parâmetros Biológicos Relevantes

Entre os indicadores biológicos utilizados na análise da água de rios, destacam-se:

- **Macroinvertebrados bentônicos:** Indicadores de poluição orgânica e qualidade do habitat.
- **Comunidades fitoplanctônicas:** Úteis para avaliar o grau de eutrofização.
- **Índices de diversidade biológica:** Avaliam a riqueza e a distribuição das espécies em diferentes níveis tróficos.

Contribuição para a Sustentabilidade

O monitoramento dos parâmetros biológicos, conforme previsto pela CONAMA 357/2005, permite uma compreensão mais ampla e integrada dos impactos sobre os corpos hídricos, assegurando a proteção dos ecossistemas e dos serviços ambientais que eles oferecem. A utilização desses indicadores é essencial para garantir o equilíbrio entre o uso sustentável dos recursos hídricos e a conservação ambiental.

Assim, os parâmetros biológicos não apenas refletem a qualidade da água, mas também oferecem uma base sólida para a gestão eficiente dos recursos hídricos e a preservação da biodiversidade nos ecossistemas aquáticos.

As análises biológicas das amostras, tiveram os seguintes resultados:

Os CTT no poço do porto, *ferry boat* e baía do Guajará, foram respectivamente ausentes, 2.400.000 e 11.000.0000.

Os parâmetros biológicos de CT tiveram altas concentrações na água da baía do Guajará, com 12.000, enquanto no *ferry boat* São Gabriel foi de 11.000 e ausente no poço.

A bordo do *ferry boat*, os coliformes termotolerantes tiveram valor de 2.400.000, indicando problemas significativos na qualidade da água e riscos para a saúde pública. Os Coliformes totais sinalizam contaminação orgânica geral, enquanto coliformes termotolerantes, como a *Escherichia coli*, apontam para contaminação fecal recente, possivelmente devido ao tratamento inadequado de efluentes. Essa contaminação sugere falhas nas práticas de gestão de resíduos a bordo, o que pode levar a doenças transmitidas por água e impactar as comunidades costeiras que dependem dessas águas. Para reduzir esses

riscos, é essencial melhorar o tratamento e descarte de efluentes nas embarcações e monitorar regularmente a qualidade da água.

Leis nacionais e internacionais relacionadas ao descarte das águas das embarcações

A redução dos grandes acidentes se deve a uma série de medidas internacionais de prevenção e controle como MARPOL 73/78, uma convenção internacional criada para minimizar a poluição causada por navios, abrangendo poluição por óleo, substâncias líquidas nocivas, substâncias perigosas, esgoto, lixo e ar. A convenção estabelece regras e distâncias mínimas da costa para operações como baldeação, lavagem de tanques de navios petroleiros e descarte de resíduos orgânicos.

A Lei Federal nº 6.938/81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências que define poluição, também definiu a responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) de fiscalizar e emitir autorizações de Licença Ambiental para as atividades potencialmente poluidoras.

A Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por Óleo, de 1969, foi implantada no Brasil com o propósito é assegurar a compensação adequada às partes que sofram danos resultantes de incidentes marítimo que envolvam embarcações transportadoras de óleo.

Em comparação com outros países, como os Estados Unidos da América, onde a punição para crimes ambientais é exemplar, as multas ambientais no Brasil são relativamente baixas em relação ao porte do poluidor. Isso motivou a criação do Projeto de Lei nº 4.286/16, que propõe aumentar as multas previstas na Lei de Crimes Ambientais. Um exemplo nos EUA é a condenação da petroleira BP, que foi obrigada a pagar R\$ 238,5 milhões pelo derramamento de 5 milhões de barris de petróleo no Golfo do México (2010), além de sofrer rebaixamento na classificação por agências de risco. Para mitigar esses impactos, uma série de medidas podem ser adotadas, respaldadas por legislações ambientais nacionais e internacionais, como:

A Gestão de Resíduos Sólidos e Líquidos, pois o descarte inadequado de resíduos sólidos e líquidos por embarcações pode causar

sérios danos ao ecossistema marinho. O Anexo V da MARPOL proíbe o descarte de plásticos e regula o descarte de outros tipos de resíduos no mar.

As medidas preventivas incluem a manutenção e inspeção regular de embarcações, evitando vazamentos e rupturas em tanques de combustível, capacitação da tripulação em resposta a emergência com treinamento para lidar rapidamente com derramamentos. No Brasil, a Lei nº 9.966/2000, conhecida como Lei do Óleo, regula a prevenção e controle da poluição por óleo em águas nacionais. A fiscalização efetiva dessas leis é crucial para garantir a conformidade das embarcações e a proteção dos ecossistemas aquáticos.

Redução dos impactos gerados pelas embarcações

A redução dos grandes acidentes se deve a uma série de medidas internacionais de prevenção e controle como MARPOL 73/78 e OPRC 90 além de maior investimento em tecnologias mais modernas norteadas pelo princípio de precaução. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) relata que águas cinzas não tratadas apresentam características semelhantes às do esgoto doméstico, podendo até conter concentrações mais elevadas de certos componentes. Por exemplo, as concentrações de coliformes fecais em águas cinzas provenientes de vasos sanitários não tratadas são de uma a três vezes maiores do que nas águas residuais domésticas não tratadas. Além disso, as águas cinzas podem conter substâncias químicas nocivas, patógenos, bactérias, metais pesados, resíduos alimentares e nutrientes problemáticos.

A implementação de um sistema integrado para os resíduos gerados pelos navios, faz parte de uma política para diminuir os impactos ambientais. DEJA et al. (2021), sugerem a implementação de um sistema integrado juntamente com os portos, na qual serve de base para o desenvolvimento de cadeias logísticas de resíduos e para a eliminação de incidentes indesejáveis.

Grandes navios de cruzeiro são obrigados a utilizar sistemas avançados, como implantação de sistema de tratamento de água por osmose, eliminando a salinidade da água coletada e reutilizada para uso geral da embarcação. (Nogueira, 2019).

O sistema de filtragem por camadas filtrantes, oferece uma solução eficiente para a

purificação da água, retraindo partículas sólidas em suspensão, como areia, argila e ferrugem, e reduzindo a turbidez ao capturar limo e resíduos de encanamentos. Este sistema também é eficaz na remoção de substâncias orgânicas, como bactérias, algas mortas e lodo, prevenindo o acúmulo de sujeira e facilitando a limpeza de reservatórios (Fusati, 2020). Com capacidade para reter partículas de 5 a 15 micra, o sistema prolonga a vida útil de aparelhos como chuveiros e máquinas de lavar, além de reduzir a necessidade de limpeza do reservatório. De acordo com o mesmo autor, este sistema é autolimpante e retrolavável, seus elementos filtrantes duram até 3 anos.

A água da retrolavagem, rica em impurezas antes destinadas ao consumo, pode ser reaproveitada para lavar calçadas ou regar jardins (Fusati, 2020).

O primeiro passo para a ação é a conscientização e compreender que as águas cinzas podem ser tão prejudiciais quanto o esgoto é essencial. Quando reconhecer esse fato e apresentar soluções viáveis de tratamentos, acompanhamento e manutenção para o tratamento, estando mais próximos de implementação de regulamentações mais rigorosas para o manejo das águas cinzas. (Bobbe, 2019).

Conclusão

A qualidade da água no poço de abastecimento, *ferry boat* São Gabriel e Baía do Guajará apresenta alguns parâmetros dentro dos limites estabelecidos pela legislação, como cor aparente, turbidez, T°C, odor, CE, STD e SO_4^{2-} . Isso indica que, a água possui características físico-químicas aceitáveis para diversos usos. No entanto, alguns parâmetros apresentaram resultados preocupantes, como a elevada concentração de OD no *ferry boat* e na Baía do Guajará. Altos níveis de OD podem gerar impactos negativos na vida aquática, alterar processos naturais da água e contribuir para a eutrofização. Além disso, a concentração de surfactantes (sabão) a bordo do *ferry boat* excedeu o valor máximo permitido, indicando a presença de agentes tensoativos provenientes de produtos de limpeza.

Esses resultados evidenciam a necessidade de um monitoramento contínuo da qualidade da água, tanto no poço de abastecimento quanto no *ferry boat* e na Baía do Guajará. Vale ressaltar a importância da implementação de sistemas eficientes de gestão de

recursos hídricos a bordo da embarcação, visando minimizar o desperdício e garantir o uso responsável da água durante as viagens. Além disso, ações para reduzir a poluição e o lançamento de efluentes na Baía do Guajará são essenciais para preservar a qualidade da água e o equilíbrio do ecossistema aquático.

Políticas públicas e investimentos em saneamento básico na região são necessários para garantir a saúde e o bem-estar da população que depende desses recursos hídricos. Embora a água apresente características aceitáveis em alguns aspectos, é fundamental intensificar os esforços para monitorar, controlar e melhorar a qualidade da água na região, considerando tanto as fontes de abastecimento quanto os corpos hídricos receptores de efluentes, a fim de promover a sustentabilidade ambiental e a saúde pública. Essas descobertas levantam preocupações significativas, pois indicam riscos iminentes para a saúde pública. Diante desse cenário, torna-se emergencial a implementação de medidas corretivas destinadas a solucionar os problemas identificados.

Essa abordagem não apenas atende às demandas crescentes por água de qualidade a bordo, mas também responde aos desafios ambientais ao reduzir o impacto negativo do descarte inadequado de água. Foi observado uma carência de conscientização e consideração em relação à proteção e conservação do meio ambiente e na área de estudo, é importante implementar métodos eficazes de tratamento e gerenciamento da água das embarcações, como sistema de filtragem. Isso inclui a correta disposição de resíduos e a prevenção da descarga de substâncias nocivas, visando a preservação dos recursos naturais e a sustentabilidade dos estuários.

O desenvolvimento sustentável deve ser aplicado a atividades potencialmente poluidoras, não apenas seguindo leis, mas também com consciência ambiental, para preservar o meio ambiente e garantir um futuro mais limpo.

A análise integrada dos parâmetros químicos, físicos e biológicos é essencial para compreender os desafios enfrentados pelas comunidades na região do Guajará. A implementação de programas de monitoramento e educação ambiental pode:

Fortalecer a participação comunitária na gestão dos recursos hídricos;

Promover práticas sustentáveis na agricultura e pesca, reduzindo impactos ambientais;

Estimular a economia local, valorizando produtos de origem sustentável e desenvolvendo o ecoturismo como fonte de renda alternativa.

Impactos dos elevados índices de surfactantes e oxigênio dissolvido nos ecossistemas e na saúde humana.

Os altos níveis de oxigênio dissolvido (OD) e surfactantes em corpos d'água podem gerar uma série de consequências para os ecossistemas e a saúde humana.

Oxigênio dissolvido: Embora o oxigênio dissolvido seja essencial para a sobrevivência de organismos aquáticos, níveis excessivamente elevados, frequentemente associados à supersaturação, podem causar impactos negativos. A supersaturação pode levar à doença das bolhas de gás em peixes e outros organismos aquáticos, provocando lesões internas, redução na mobilidade e até a morte. Além disso, níveis elevados de OD podem alterar o equilíbrio ecológico, favorecendo espécies específicas em detrimento de outras, reduzindo a biodiversidade local.

Surfactantes: Os surfactantes, amplamente utilizados em detergentes e produtos químicos, representam um sério risco ambiental. Em altas concentrações, esses compostos reduzem a tensão superficial da água, comprometendo processos biológicos fundamentais, como a respiração de organismos aquáticos. Eles podem se acumular em tecidos de espécies marinhas, gerando efeitos tóxicos que incluem redução na reprodução, mortalidade de larvas e impactos no desenvolvimento. Para os seres humanos, a contaminação por surfactantes pode afetar a qualidade da água consumida, provocar irritações na pele, nos olhos e em sistemas respiratórios, além de estar potencialmente associada a problemas de saúde mais graves devido à bioacumulação.

Interações entre OD e surfactantes: A presença de surfactantes pode modificar a dinâmica do oxigênio dissolvido, influenciando diretamente a capacidade de a água suportar formas de vida. Por exemplo, os surfactantes interferem na troca de gases entre a água e a atmosfera, o que pode agravar condições de eutrofização em corpos d'água já impactados.

Relevância do estudo: Os achados deste estudo contribuem significativamente para a literatura científica ao fornecer dados detalhados sobre a qualidade da água nas regiões do Guamá e do Marajó. Estas áreas possuem ecossistemas únicos e de grande relevância socioeconômica, incluindo comunidades que dependem

diretamente dos recursos hídricos para subsistência.

Referências

- ABNT (2001). Associação Brasileira De Normas Técnicas – NBR ISO/IEC 17025 – Requisitos Gerais Para Competência de Laboratórios De Ensaio E Calibração, 20p. Brasil (1999). Brasil (2000).
- Agência Nacional De Águas (ANA). (2013) Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil 2013. Brasil: Agência Nacional de Águas. Disponível Em: Acesso Em: 15 Fev. 2014.
- Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ). (2013a) Bacia Amazônica: Plano Nacional de Integração Hidroviária. Relatório Técnico. Disponível Em: Acesso Em: 20 Mar. 2014.
- ANTAQ. Relatório de Gestão 2012. Disponível Em: <[Http://Www.Antaq.Gov.Br/Portal/Pdf/T ransportepassageiros](http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/transportepassageiros)>.
- APHA (1988). Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. American Public. Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th Ed. Washington.
- Araújo, V. E.S, 2018- Análise de Alguns Parâmetros de Qualidade da Água na Baía do Guajará Em Belém-Pa e os Efeitos do Regime Pluviométrico e de Marés. 121 F.: Il.; 30 Cm
- Bezerra, F. A. Análise Fatorial. In: Corrar, L. J.; Paulo, E.; Dias Filho, J. M. (Coord.). Análise Multivariada para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia. São Paulo: Atlas, 2020.
- Buzelli, G. M.; Cunha-Santino, M. B. Análise e Diagnóstico da Qualidade da Água e Estado Trófico do Reservatório de Barra Bonita, Sp. Revista Ambiente & Água, Taubaté, V.8, N.1, P. 186-205, Abr. 2013.
- Caldas, J. N. Avaliação de Riscos Sanitários nas Embarcações do Estado do Amazonas: Propositura de Medidas de Controle e Regulamentação/Jeferson Nepumuceno Caldas. 2021.
- Campos, L. T.; Pereira, A. G.; Sousa, M. J. Viabilidade e Impacto da Filtragem de Água em Balsas Na Amazônia. Revista de Tecnologia Ambiental E Sustentabilidade, V. 29, N. 1, P. 115-128, 2022.
- Cardoso, A. T. A. Aplicação da Geotecnologia para Identificar Possíveis Áreas Ambientais do Município de Belém, Pará, Brasil. 2019. 37 F.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Em Agronomia) – UFRA, Belém-PA, 2019.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível Em: [Https://Cetesb.Sp.Gov.Br/Aguasinteriores/Publicacoes-e-Relatorios/](https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/Publicacoes-e-Relatorios/). Acesso Em 22 Mai. 2019.
- Companhia, de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Relatório de Qualidade das Águas Interiores Do Estado De São Paulo: Cetesb, 2018. Disponível Em: [Https://Cetesb.Sp.Gov.Br/AguasInteriores/Publicacoes-E-Relatorios/](https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/Publicacoes-E-Relatorios/). Acesso Em 22 Mai. 2019.
- Corrêa. M.C. A., El- Robrini, M., Braga. Mh. (2022). Dinâmica dos Fundos das Áreas de Disposição De Sedimentos Dragados Na Baía de Guajará, Pará, Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia, 23(1) [https://Doi.Org/10.20502/Rbg.V23i1.1962](https://doi.org/10.20502/Rbg.V23i1.1962).
- Ferreira.D.P.M, Carneiro, B. S, Marques. L. C. A, El-Robrini, M., “Qualidade das Águas Estuarinas do Rio Pará Na Zona Portuária de Vila do Conde (Município De Barcarena/Pará).” Geografia, V. 47, N. 1, 2022 ([Https://Www.Periodicos.Rc.Bibli oteca.Unesp.Br/Index.Php/Ageteo/Article/Vie w/15850](https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/15850)).
- Frazão, Arthur. Escherichia Coli. Julho, 2016. Rio Grande do Norte Em: [Https://Www.Tuasaude.Com/Escherichia-Coli/>](https://www.tuasaude.com/escherichia-coli/) Acesso Em 8 Agosto 2016.
- Flexa, G. S.; Faria, A. P. J.; Henrique, I. N.; Almeida, Y. S... Qualidade da Água de Rio Na Amazônia: Um Estudo de Caso Sobre O Rio Pará Do Uruará. Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais, V.12, N.7, P.342-351, 2021. Doi: [Http://Doi.Org/10.6008/Cbpc2179-6858.2021.007.0031](http://doi.org/10.6008/Cbpc2179-6858.2021.007.0031)
- Finger Ja, Baroni Ws, Maffei Df, Bastos Dh, Pinto Um. Overview Of Foodborne Disease Outbreaks In Brazil From 2000 To 2018. Foods. 2019; 8(10):434. [Https://Doi.Org/10.3390/Foods8100434](https://doi.org/10.3390/Foods8100434).
- Girardi, R.; Pinheiro, A.; Venzon, P. T. Parâmetros de Qualidade de Água de Rios e Efluentes Presentes em Monitoramentos não Sistemáticos. Revista de Gestão de Água da América Latina, V.16, E2, 2019. 10.21168/Rega. V16e2. 2019.

- Ilha de Marajó. Disponível Em: [Http://www.feriasbrasil.com.br/pa/ilhademarajo/](http://www.feriasbrasil.com.br/pa/ilhademarajo/) Acesso Em: 03 Jun. 2012. Ilha De Marajó Pa. Disponível Em: [Http://ecoviagem.uol.com.br/Brasil/Para/Parque-Nacional/Ilha-De-Marajo/](http://ecoviagem.uol.com.br/Brasil/Para/Parque-Nacional/Ilha-De-Marajo/). Acesso Em: 04 Jun. 2012.
- Ilha de Marajó. Disponível Em: [Http://viagem.uol.com.br/Guia/Cidade/Ilha-De-Marajo.jhtm](http://viagem.uol.com.br/Guia/Cidade/Ilha-De-Marajo.jhtm). Acesso Em: 04 Jun. 2012.
- Marinho, E.R.; Análise da Qualidade Da Água do Rio Guamá e Suas Interfaces Climáticas e Socioambientais em São Miguel do Guamá, Nordeste Paraense / Eduardo Ribeiro Marinho. 2019. 105 F.: Il. Color.
- Meguis, T. R. B. Transporte Fluviomarítimo e Turismo em Soure-Pa: Uma Análise da Acessibilidade e da Participação Social. 2018. 159 F. Dissertação (Mestrado Em Planejamento do Desenvolvimento) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, UFPA, 2018.
- Naganuma. Transporte Fluvial na Amazônia. Disponível Em: <http://www.naganuma.com.br/artigos-publicados/51-Jornal-A-Gazeta-Do-Acre/149-Transporte-Fluvial-Na-Amazonia.html>>.
- Paula, D. L. M.; Lima, A. C. M.; Vinagre, M. V. A.; Pontes, A. N. Saneamento nas Embarcações Fluviais de Passageiros na Amazônia: Uma Análise de Risco ao Meio Ambiente e À Saúde por Meio da Lógica Fuzzy. Eng. Sanitária E Ambiental, V.24,N.2,P.283-294, Mar/2019. Doi: 10.1590/S1413-41522019150122.
- Pereira, H. P.; Reboita, M. S; Ambrizzi, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. Revista Brasileira de Meteorologia, V. 32, P. 293-310, 2017.
- Schistek, H. C, Caxio E Cacimba: Três Sistemas Tradicionais de Captação de Água de Chuva no Nordeste brasileiro. IRPA (Instituto Regional na Pequena Agropecuária Apropriada) C.P.21, 48900-000 Juazeiro-Ba, Brasil.
- Selborne, L. A Ética do Uso da Água Doce: Um Levantamento. Brasília: Unesco, 2018. <https://www.librosymanualesdeagronomia.com/Como-Hacer-Un-Filtro-Purificador-De-Agua-Casero/>.
- Soares, L. M; Coldebella, P. F; Frigo, J. P. Avaliação da Qualidade da Água de Rios Brasileiros Utilizando Células Meristemáticas de Allium Cepa Como Bioindicador: Uma Revisão Integrativa. Brazilian Journal Of Development, V. 7, N. 1, P. 6983-6999, 2021.
- Silva, M. R.; Oliveira, T. P.; Ferreira, G. S. Necessidade de Políticas Públicas do Combate À Poluição dos Rios Amazônicos. Revista de Políticas Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, V. 30, N. 2, P. 221-234, 2022.
- Távora, G. S. Et Al. Aperfeiçoamento Construtivo e do Controle de Navegação Autônoma de Embarcação de Pequeno Porte. Conflict, V. 15, N. 1, 2023.
- Vasconcellos, F. C.; Iganci, J. R. V.; Ribeiro, G. A. Qualidade Microbiológica da Água do Rio São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul. Arquivos do Instituto Biológico, V. 73, P. 177-181, 2022.
- Varela, A. W. P- Avaliação Temporal Da Qualidade da Água e Índice de Estado Trófico no Rio Guamá, Belém (Pará, Brasil) / Andrew Wallace Varela. - 2019.54 F.: Il. Color.
- Vasconcelos, J. N. T., Carneiro, B. S., Gomes, L. De C. S. B., Veiga, M. A., Medeiros, A. C., & Faial, K. Do C. F. (2024). Avaliação Quimimétrica da Água Superficial da Praia do Cruzeiro e Imediações, na Foz do Rio Maguari, Icoaraci, Belém, Pará. Revista Foco, 17(1), 1-24. <https://doi.org/10.54751/Revistafoco.V17n1-033>.
- Wajsman, E. N., 2014. Concepção De Estação Piloto de Tratamento de Água no Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ-Cesa/UFRJ. Monografia. Projeto de Graduação Apresentado ao Curso de Eng. Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, Março de 2014.

**COMPROVANTE DO ENVIO DO ARTIGO 1 PARA A SUBMISSÃO À REVISTA
BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA (RBGF)**

 Bruno Silva <brunofariasambiental@gmail.com>

[RBGF] Agradecimento pela submissão
1 mensagem

Prof. Dr. Josiclêda Domiciano Galvêncio via Portal de Periódicos UFPE <conexao.revistas@ufpe.br> 25 de março de 2025 às 13:04

Responder a: "Prof. Dr. Josiclêda Domiciano Galvêncio" <rbgf@ufpe.br>

Para: bruno silva <brunofariasambiental@gmail.com>

bruno silva:

Obrigado por submeter o manuscrito, "Avaliação da Qualidade da Água em Ferry Boats na Travessia Icoaraci-Camará: Riscos Sanitários e Impactos Ambientais nos Estuários Paraenses" ao periódico Revista Brasileira de Geografia Física. Com o sistema de gerenciamento de periódicos on-line que estamos usando, você poderá acompanhar seu progresso através do processo editorial efetuando login no site do periódico:

URL da Submissão: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgf/authorDashboard/submission/266144>

Usuário: brunosilva131220

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco. Agradecemos por considerar este periódico para publicar o seu trabalho.

Prof. Dr. Josiclêda Domiciano Galvêncio
Josiclêda Domiciano Galvêncio Editora Chefe da Revista Brasileira de Geografia Física - RBGF Editor-in-Chief of Revista Brasileira de Geografia Física - RBGF
<http://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>

ANEXO 4 - Artigo 2: Experimento de um Sistema de Filtragem Compacto Simples de Águas a bordo de Ferry Boats: Travessia Icoaraci-Camará (Amazônia Oriental, Brasil)

Experimento de um Sistema de Filtragem Compacto Simples de Águas a bordo de *Ferry Boats*: Travessia Icoaraci-Camará (Amazônia Oriental, Brasil)

Experiment of a Simple Compact Onboard Water Filtration System in Ferry Boats: Icoaraci–Camará Crossing (Eastern Amazon, Brazil)

Bruno Farias da Silva¹, Maâmar El-Robrini²

¹PPGENAV-UFPA, Belém, PA, Brasil

Correspondência: brunofariasambiental@gmail.com

²Orientador, PPGENAV/GEMC/UFPA, Belém, PA, Brasil

Correspondência: Maâmar El-Robrini (robrini@ufpa.br).

RESUMO

Este estudo avaliou a eficiência de um sistema compacto de filtragem de águas a bordo instalado no Ferry-boat São Gabriel, em operação na rota estuarina Icoaraci–Camará (PA), um dos principais corredores hidroviários amazônicos. A pesquisa buscou desenvolver uma solução prática, sustentável e economicamente viável para o tratamento de água a bordo, considerando a relevância sanitária e ambiental do transporte fluvial na região do Marajó. O experimento incluiu coletas em três pontos (poço subterrâneo, Baía do Guajará e reservatório interno da embarcação) análises físico-químicas e microbiológicas antes (17/09/2022) e após (13/03/2025) a instalação, seguindo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017) e a Resolução CONAMA nº 357/2005). Os parâmetros físicos demonstraram estabilidade ao longo das campanhas (pH entre 6,0–6,6; T°C entre 23–30 °C), indicando que a qualidade inicial da água não apresentava grandes variações. Por outro lado, os parâmetros químicos e biológicos revelaram melhorias expressivas após a filtragem. O sistema multicamadas, composto por seixo, areia, zeólita, carvão antracitoso e carvão ativado — reduziu significativamente concentrações de Fe (0,35→0,20 mg/L), DBO (54,66→12,5 mg/L), NH₃-N (1,176→0,12 mg/L), surfactantes aniônicos (9,07→0,10 mg/L) e óleos e graxas (4,59→1 mg/L). No aspecto microbiológico, observou-se eliminação total de CT e forte redução dos CTT (24.000→23 NMP/100 mL), enquadrando a água tratada nos limites da Classe 1. Durante a operação, o sistema processou cerca de 5.000 L por viagem, volume superior ao necessário para usos não potáveis a bordo, como higiene e limpeza. Os resultados demonstram que o sistema de filtragem é eficiente, de baixa complexidade operacional e aplicável ao contexto amazônico, contribuindo para a redução da carga poluidora descartada nos corpos hídricos e fortalecendo práticas de sustentabilidade hídrica alinhadas aos ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e 14 (Vida na Água).

Palavras-chave: Sistema de filtragem compacto; tratamento de efluentes; ferry

boats; transporte fluvial ; Baía do Guajará; sustentabilidade hídrica; Amazônia.

ABSTRACT

This study evaluated the efficiency of a compact water in board filtration system installed on the ferryboat São Gabriel, operating on the estuarine route Icoaraci–Camará (PA), one of the main hydrographic corridors of the Amazon region. The research aimed to develop a practical, sustainable, and economically viable solution for onboard water treatment, considering the sanitary and environmental relevance of river transport in the Marajó area. The experiment included sampling at three points (a groundwater well, the Guajará Bay, and the vessel's internal reservoir) and conducting physicochemical and microbiological analyses before (09/17/2022) and after (03/13/2025) system installation, following the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017) and CONAMA Resolution No. 357/2005. The physical parameters showed stability throughout the sampling campaigns (pH between 6.0–6.6; temperature between 23–30 °C), indicating that the initial water quality did not present major variations. On the other hand, chemical and biological parameters revealed significant improvements after filtration. The multilayer system—composed of gravel, sand, zeolite, anthracite coal, and activated carbon—substantially reduced concentrations of Fe (0.35→0.20 mg/L), BOD (54.66→12.5 mg/L), NH₃-N (1.176→0.12 mg/L), anionic surfactants (9.07→0.10 mg/L), and oils and greases (4.59→1 mg/L). In microbiological terms, complete elimination of *E. coli* (CT) was observed, along with a sharp reduction in total coliforms (24,000→23 MPN/100 mL), classifying the treated water within Class 1 standards. During operation, the system processed approximately 5,000 L per trip, a volume greater than required for non-potable onboard uses such as hygiene and cleaning. The results demonstrate that the filtration system is efficient, operationally simple, and suitable for the Amazonian context, contributing to the reduction of pollutant loads discharged into water bodies and strengthening water sustainability practices aligned with SDG 6 (Clean Water and Sanitation) and SDG 14 (Life Below Water).

Keywords: Compact filtration system; wastewater treatment; ferryboat; fluvial transport; Guajará Bay; water sustainability; Amazon region.

1. INTRODUÇÃO

A água enquanto recurso essencial à vida humana e base para a manutenção dos ecossistemas terrestres e aquáticos, em tempos atuais a manutenção deste recurso tem sido um grande desafio diante de diversos impactos relacionados à qualidade da água. Na Amazônia, apesar do volume de água doce considerável, a disponibilidade de água potável é escassa, em particular para as comunidades ribeirinhas que sofrem com a ausência de água potável, e dependem das chuvas (MENDONÇA *et al.*, 2023).

A intensa atividade de transporte fluvial na Baía do Guajará e no Arquipélago do Marajó tem gerado preocupações ambientais significativas, principalmente em relação à poluição hídrica causada por embarcações de médio e grande porte. Estudos indicam que o despejo inadequado de efluentes domésticos e resíduos oleosos provenientes das embarcações contribui para o comprometimento da qualidade da água, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos e a saúde pública (EL ROBRINI *et al.*, 2013; FURTADO *et al.*, 2017). A ausência de sistemas de tratamento a bordo de embarcações, aliada à ausência de fiscalização efetiva, intensifica a degradação ambiental, em particular em áreas de várzea com alta sensibilidade ecológica, como as margens da Baía do Guajará.

No Arquipélago do Marajó, onde as comunidades ribeirinhas dependem diretamente das águas dos rios para consumo e subsistência, o impacto da poluição gerada pelas embarcações se torna ainda mais crítico. Conforme apontado por SILVA *et al.* (2021), a introdução de contaminantes orgânicos e microbiológicos no ambiente aquático, sem tratamento prévio, representa uma ameaça direta ao abastecimento de água potável e à segurança alimentar local. A falta de infraestrutura adequada nos terminais fluviais, bem como a pressão antrópica crescente decorrente do aumento do fluxo de passageiros e cargas, exige a implementação de medidas urgentes, como o desenvolvimento e a adoção de sistemas de filtragem compactos e sustentáveis em embarcações, como alternativa para mitigar os impactos ambientais e assegurar a proteção dos recursos hídricos regionais.

Sistemas de filtragem compactos têm se mostrado alternativas viáveis

para o tratamento de água em embarcações, devido à sua simplicidade, baixo custo e eficiência (VOUTCHKOV, 2018; LIU *et al.*, 2020). Na Amazônia, onde a logística de implementação de tecnologias complexas é desafiadora, essas soluções são particularmente relevantes (TUNDISI, 2007). Este estudo avalia a eficácia de um sistema de filtragem compacto instalado no *Ferry-boat* São Gabriel, na travessia Icoaraci -Camará, analisando a qualidade da água antes e após o tratamento, com base nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011.

A poluição causada por embarcações, resíduos domésticos e agrícolas é um dos principais problemas enfrentados, comprometendo a saúde pública, a biodiversidade e a segurança alimentar. Pesquisas indicam altos índices de contaminação microbiológica e ausência de potabilidade na água consumida diretamente dos rios, o que infringe os padrões definidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021; MOURA *et al.*, 2016; PAULA *et al.*, 2019). A Baía do Guajará sofre com a poluição hídrica causada pelo lançamento de efluentes sem tratamento adequado (PINHEIRO *et al.*, 2013). A travessia Icoaraci-Marajó, essencial ao transporte regional, agrava esse cenário devido à falta de sistemas de tratamento a bordo dos *ferry-boats* (SANTOS *et al.*, 2018). As Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011 estabelecem diretrizes para a qualidade da água e o controle de efluentes, exigindo soluções tecnológicas para reduzir os impactos ambientais (BRASIL, 2005; 2011).

De acordo com Scortegagna *et al.* (2019), a maioria das embarcações fluviais de passageiros na Amazônia não possui sistemas adequados de tratamento de água e esgoto. A água para consumo a bordo é frequentemente captada diretamente do rio e armazenada em condições inadequadas, apresentando altos índices de contaminação por coliformes fecais, como a *Escherichia coli*. Diante deste cenário, a busca por soluções de filtragem se torna crucial, com alternativas que vão desde sistemas de osmose reversa, já utilizados pela Marinha, até soluções mais simples e de baixo custo, como filtros de cerâmica e cloradores por difusão, que poderiam ser adaptados para a realidade das embarcações amazônicas.

2. ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

A área de estudo contempla o terminal hidroviário da empresa Henvil Navegação, no Distrito de Icoaraci (Belém, Pará). Esse terminal é o principal ponto de embarque e desembarque das embarcações que realizam a travessia fluvial entre Icoaraci e os portos da Ilha do Marajó. O sistema de filtragem foi instalado no dia 10/03/2025 a bordo do *Ferry boat* São Gabriel localizado nas coordenadas geográficas de 1°17'02.5"S e 48°27'11.4"W. Situada na Baía do Guajará, essa área está sujeita à influência direta das marés interferindo significativamente nos processos de captação de água e descarte de efluentes, devendo ser considerados nas análises de qualidade da água.

Clima

O clima é do tipo Equatorial úmido, amazônico oriental (Eq'eam), caracterizado por alta umidade relativa durante todo o ano, com valor superior a 80%, e temperatura média do ar, variando entre 22 °C e 25 °C (Novais e Machado, 2023; INMET, 2025). A precipitação anual varia entre 2.800 e 3.000 mm, com período de cheias entre dezembro e maio e de estiagem entre junho e novembro, o que afeta diretamente a salinidade e outros parâmetros de qualidade da água (COSTA *et al.*, 2020).

Figura 17 - Área de estudo Henvil Navegação e pontos de coleta (P01) Poço do Porto Henvil, (P02) Baía do Guajará, (P03) Popa do Ferry-boat São Gabriel.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

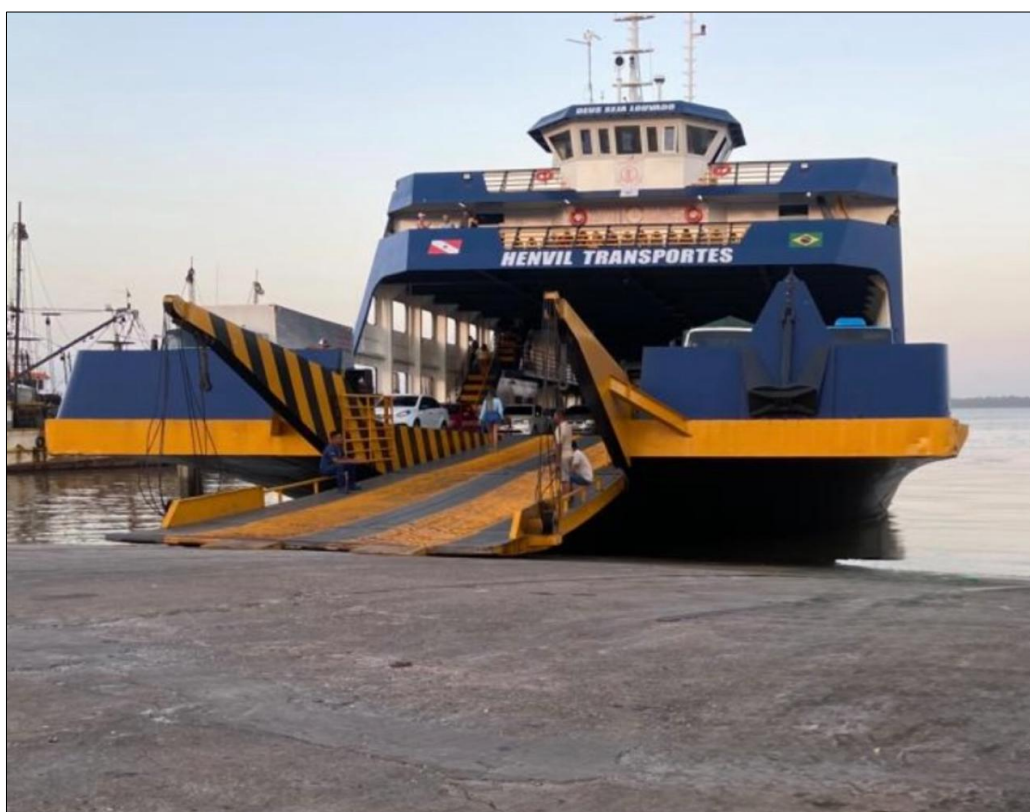
2.1. Caracterização Hidrográfica e Oceanográfica

A bacia hidrográfica do Rio Guamá abrange uma área de 115.000 km². O Rio Guamá, seu principal curso d'água, possui 570 km de extensão. A Baía do Guajará é formada pela confluência dos rios Guamá e Acará, sendo influenciada por vazões fluviais, marés, e processos sedimentares (SILVA, 2018). Segundo MARINHO (2019), na baía de Guajará deságuam os igarapés Val-de-Cães, Una, Bacuri e o furo do Maguari o qual separa a Ilha de Caratateua, em Outeiro, do continente. Os rios e lagos dessa região são utilizados para o abastecimento de água, pesca, transporte e lazer. O rio Guamá vem sendo utilizado para diversas atividades, como transporte de cargas, pesca, irrigação e abastecimento de água para as populações locais, desempenha ainda um papel essencial no fornecimento de água para Belém (CARNEIRO *et al.*, 2024). Durante a cheia, a descarga hídrica dos rios aumenta, elevando o nível da água e reduzindo a salinidade, enquanto na seca, a influência da maré se torna mais

pronunciada. O regime de marés é semidiurno com variação de 2,1 m em preamar de quadratura, e 3,7 m em preamar de sizígia. Na Baía de Guajará, durante a sizígia, as correntes de maré se implantam inicialmente no Canal do Porto e, somente cerca de 35 a 45 minutos após, passam a dominar nos canais do Meio e da Ilha das Onças. As correntes de maré atingem velocidade de até 2 m/s e promovem o transporte de sedimentos, contribuindo para a formação de bancos de areia e modificações no fundo estuarino. (MENDES, 2013). Segundo Oliveira (2019), o mecanismo de entrada da maré salina na Baía de Guajará se dá no período entre o final da vazante e o início da enchente, quando as águas provenientes dos rios Guamá e Guajará-Açu, com salinidade baixa (0,04- 0,12), ocupam todo o canal de vazante pela margem esquerda da baía. Por outro lado, no canal de enchente, registram-se valores de salinidade variando entre 0,15- 0,42, indicando a entrada das águas mais condutivas salobras e não fluviais.

2.3. *Ferry Boat São Gabriel*

Figura 18 – Ferry-Boat São Gabriel.



Fonte: Acervo próprio, 2023.

De acordo com a NORMAM-01/DPC, um *ferry-boat* é caracterizado como uma embarcação projetada para o transporte combinado de veículos e passageiros, onde a carga é embarcada e desembarcada horizontalmente, utilizando rodas, como automóveis, ônibus e caminhões, ou outros veículos similares. Esse tipo de embarcação desempenha um papel essencial na integração logística e no transporte de pessoas, especialmente em regiões onde o deslocamento por vias terrestres é limitado.

Um exemplo expressivo é o *Ferry Boat* São Gabriel, uma das maiores e mais modernas embarcações em operação nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Construído em 2014, com investimento de R\$ 24 milhões, o *Ferry Boat* São Gabriel combina tecnologia de ponta, eficiência e conforto. Com 87 m de comprimento e 16,5 m de largura, atende à travessia entre o Porto de Icoaraci e a Ilha do Marajó - uma rota estratégica para o turismo e a economia do Pará.

A embarcação tem capacidade para transportar até 1.123 passageiros, 100 veículos e 72 motocicletas, além de dispor de espaços específicos para cargas especiais. Internamente, oferece áreas climatizadas, espaços adaptados para pessoas com deficiência e uma ala executiva com poltronas do tipo semileito, garantindo conforto e acessibilidade. As viagens ocorrem diariamente, com horários fixos e duração média de 2h40, totalizando cerca de 250.000 passageiros/ano.

O *Ferry Boat* São Gabriel é equipado com dois motores DSI 13 de 625 HP e casco em quilha, proporcionando estabilidade, segurança e eficiência energética. Sua operação contribui não apenas para o transporte, mas também para o desenvolvimento socioeconômico da região, atravessando um dos ecossistemas mais complexos do país. Em uma perspectiva mais ampla, se destacam entre as embarcações de grande porte destinadas ao transporte de passageiros, ao lado de navios de cruzeiro, transatlânticos e balsas. Enquanto cruzeiros são voltados ao lazer de longa duração, os *ferry boats* operam em trajetos curtos ou médios, com foco na funcionalidade e frequência. Essas embarcações são vistas como alternativas sustentáveis de transporte, desde que adotem medidas para mitigar impactos ambientais, como o gerenciamento adequado de resíduos sólidos (SILVA *et al.*, 2020). Conforme a NORMAM-

02/DPC (2005), devem atender a rigorosos critérios de segurança, capacidade e conforto, sendo essenciais para a mobilidade, o turismo e o comércio entre áreas isoladas (SILVA, 2022).

Segundo Santos et al. (2018), o descarte de esgoto doméstico sem tratamento prévio é uma das principais causas da deterioração da qualidade da água na Baía de Guajará. A pesquisa demonstra que essa prática resulta em elevados índices de coliformes termotolerantes, muito acima do permitido pela legislação do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), representando um risco direto à saúde da população que utiliza a baía para recreação e pesca.

Figura 39 - Rota realizada pelo Ferry-Boat São Gabriel.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Coleta de amostras de água

A amostragem de água foi feita em três pontos: Baía de Guajará, o poço da empresa e os tubos de lançamento de águas residuais do *Ferry Boat São Gabriel*. As amostras de água foram realizadas em duas fases e em três pontos de amostragem, antes (17/09/2022) e após (13/03/2025) a instalação do sistema de filtragem. Para a coleta na Baía de Guajará, foi utilizado um coletor, baixando-

o a 30 cm da superfície e na corrente principal para evitar a coleta de detritos. No poço da empresa, a bomba foi ligada por alguns minutos antes da coleta para purgar a água parada na tubulação, assegurando uma amostra representativa da água subterrânea. As amostras de águas cinzas foram coletadas diretamente dos tubos de lançamento na popa (parte traseira), a boreste (lado direito) do *ferry boat*, sendo provenientes de pias, chuveiros e lavanderias, onde foram identificados resíduos orgânicos, sabões e outros compostos.

Após a coleta, todas as amostras foram lacradas e identificadas com data, hora e ponto de coleta para garantir sua rastreabilidade. Em seguida, foram acondicionadas em caixas isotérmicas com gelo, mantendo a uma temperatura média de 4 °C. Esse procedimento segue as recomendações das Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, que visam preservar as características físico-químicas e biológicas da água durante o transporte e estipulam parâmetros de controle para o lançamento de efluentes em corpos d'água.

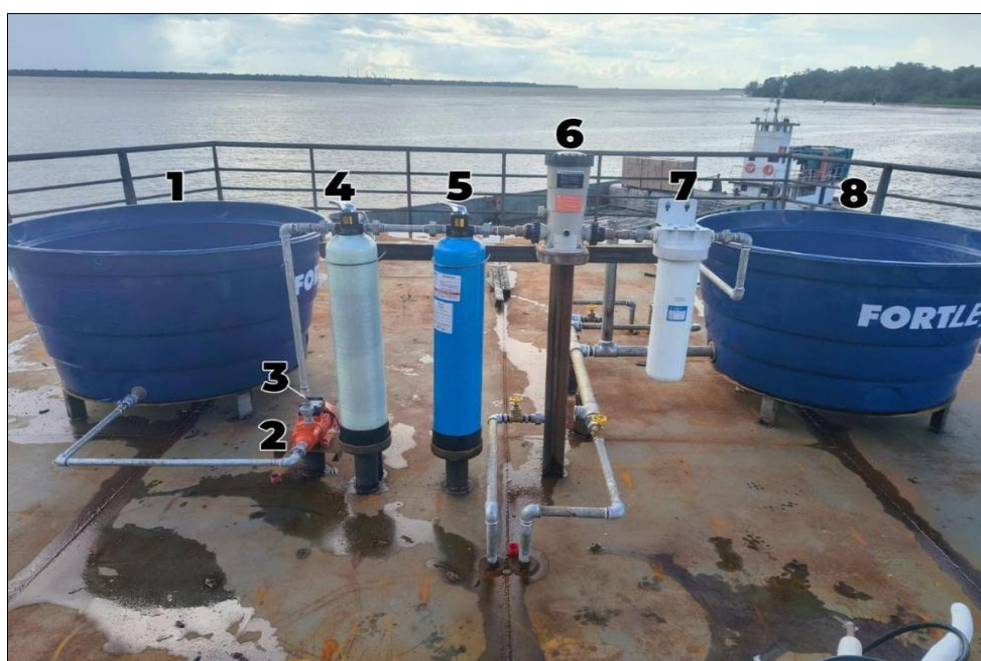
A coleta das amostras de água foi realizada em duas campanhas com o objetivo de avaliar a qualidade da água a bordo antes e após a implantação do sistema compacto de filtração no *Ferry boat São Gabriel*. A primeira ocorreu em 17 de setembro de 2022, antes da instalação do sistema, e a segunda em 13 de março de 2025, após o início da operação contínua do equipamento. As coletas foram efetuadas em três pontos: P1 – poço profundo localizado no terminal hidroviário de Icoaraci; P2 – águas superficiais da Baía do Guajará; e P3 – reservatório interno de água fria do *ferry boat*, utilizado para abastecimento de bordo. O procedimento seguiu os protocolos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) e as recomendações da Resolução CONAMA nº 357/2005, com uso de frascos esterilizados, coleta em duplicata e transporte refrigerado ao laboratório credenciado, além do registro in situ de parâmetros como TEMP e pH.

3.2. Construção do sistema de filtragem compacto simples

A implementação de sistemas de filtragem compacto simples de águas brutas em embarcações é composta por diversas camadas de elementos filtrantes, cada um desempenhando um papel no processo de purificação da água. Silva (2019) e Souza (2020) destacam a importância desses sistemas para

a garantia da potabilidade da água em embarcações, ressaltando sua eficiência na remoção de partículas, sedimentos, lama e sólidos em suspensão, tornando-os ideais para a filtragem doméstica de água devido ao nível de dureza e tenacidade. A instalação do sistema de filtragem compacto, adota diversas camadas de elementos filtrantes, cada um desempenha um papel específico na purificação da água. Cada um com função específica no processo de remoção de impurezas físicas, químicas e biológicas

Figura 20 - Vista frontal do sistema de filtragem instalado a bordo do Ferry-Boat São Gabriel no convés Tijupá.

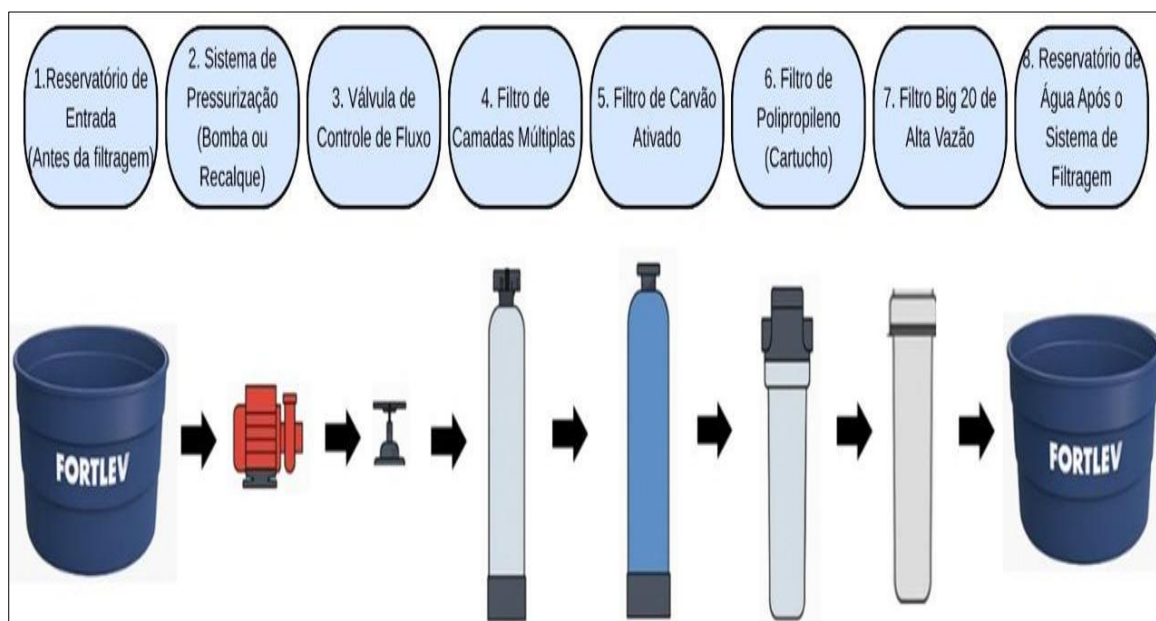


Fonte: Acervo próprio, 2025.

Os principais elementos que compõem a estrutura analisada, juntamente com suas respectivas funções no processo de tratamento são: (1) **Reservatório de Entrada** - Este reservatório é responsável pelo armazenamento inicial da água captada da embarcação. Trata-se de um tanque de polietileno de alta densidade (modelo FORTLEV), que atua como ponto de partida para o tratamento, recebendo a água antes do processo de filtração; (2) **Sistema de Pressurização-Bomba ou Recalque** - Composto por conexões verticais centrais, registros e válvulas, este conjunto tem a função de pressurizar a água tratada nas etapas iniciais, garantindo que alcance os filtros seguintes com a pressão adequada. A pressurização é essencial para manter a eficiência e a

continuidade do sistema; (3) **Válvula de Controle de Fluxo** - Instalada entre o reservatório inicial e os filtros, esta válvula tem a função de controlar a vazão da água que adentra o sistema de filtragem. Pode ser do tipo esfera ou retenção, sendo fundamental para o direcionamento e regulação do fluxo hidráulico de acordo com a demanda do sistema; (4) **Filtro de Camadas Múltiplas** - Localizado logo após a válvula de controle, o filtro de camadas múltiplas (em estrutura cinza claro) realiza a remoção de partículas sólidas em suspensão. Seu funcionamento baseia-se na passagem da água por diferentes camadas filtrantes, como areia, carvão mineral e cascalho, sendo essa etapa crucial para a clarificação inicial da água; (5) **Filtro de Carvão Ativado** - Posicionado ao centro do sistema (filtro de coloração azul), este componente atua na adsorção de compostos orgânicos, cloro residual e substâncias causadoras de sabor e odor indesejáveis. Esta etapa é considerada um refinamento do processo, contribuindo para a melhoria das características físico-químicas da água; (6) **Filtro de Polipropileno-Cartucho** - Este filtro de cor cinza com tampa preta, é utilizado como etapa de polimento do processo de filtração. Seu elemento filtrante de polipropileno é capaz de reter partículas finas com diâmetro de até 5 micra, promovendo uma filtragem mais precisa e segura; (7) **Filtro Big 20 de Alta Vazão** - De estrutura branca e com cartucho de polipropileno, o filtro Big 20 é adequado para a remoção de sedimentos como barro, areia, lodo e outras partículas sólidas em maior volume. Sua capacidade de vazão elevada o torna ideal para sistemas que exigem maior rendimento e durabilidade; (8) **Reservatório de Água Filtrada** - Situado ao final do sistema, este reservatório é destinado ao armazenamento da água já filtrada e pronta para uso. Assim como o primeiro, é confeccionado em polietileno (modelo FORTLEV), garantindo resistência, estanqueidade e adequada conservação da água até sua utilização final.

Figura 21 - Esquemática do Sistema de Filtragem e seus componentes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.3. Componentes do material do sistema de filtragem

A. Carvão Ativado

O carvão ativado é amplamente utilizado na filtração de água para remover compostos orgânicos, cloro, pesticidas, odores e sabores, devido à sua alta porosidade e grande área superficial, que favorecem a adsorção. Geralmente é empregado como etapa de polimento, após a remoção de partículas sólidas. O carvão antracitoso, por sua vez, é indicado para tratamento de água potável e efluentes, por ser livre de impurezas e mecanicamente resistente (Souza, 2020). A zeólita atua na remoção de compostos orgânicos e outros contaminantes. O quartzo, graças à sua granulometria e estrutura cristalina, retém impurezas ao longo das etapas da filtragem. Já a areia e o seixo rolado realizam a filtração física de partículas sólidas, contribuindo significativamente para a clarificação da água (Silva, 2019).

B. Areia de quartzo fina (Zeólita)

A areia fina atua na retenção de partículas muito pequenas em suspensão, como argilas, matéria orgânica particulada e outros sólidos leves. Ela é posicionada nas camadas superiores dos filtros de areia, funcionando como uma barreira de acabamento que contribui para a clarificação da água.

Sua granulometria reduzida possibilita uma filtragem mais precisa, sendo essencial na remoção de turbidez residual. A zeólita, por sua vez, é eficaz na remoção de compostos orgânicos e diversos elementos indesejados da água, como ferro, manganês, amônia e cloro, proporcionando melhorias na turbidez e no sabor da água. O quartzo, devido à sua estrutura cristalina e granulometria específica, é capaz de reter impurezas em diferentes fases do processo de filtragem, sendo fundamental para a remoção de sólidos e impurezas presentes na água (Maciel *et al.*, 2021).

C. Areia de quartzo grossa

A areia grossa tem a função de reter partículas maiores, como areia, lodo e sedimentos mais pesados. Localizada abaixo da areia fina no leito filtrante, ela serve como uma camada intermediária que proporciona uma transição na granulometria dos materiais. Essa distribuição gradual de tamanhos evita a compactação do filtro e melhora o desempenho da filtração. A areia, por sua vez, é essencial para a filtração física das partículas sólidas, removendo turbidez, partículas e materiais em estado de emulsão, melhorando significativamente a cor e o sabor da água. Já o seixo rolado, também conhecido como pedregulho, é capaz de eliminar impurezas sólidas da água, desempenhando um papel importante no processo de filtração física (Govardhan *et al.*, 2018).

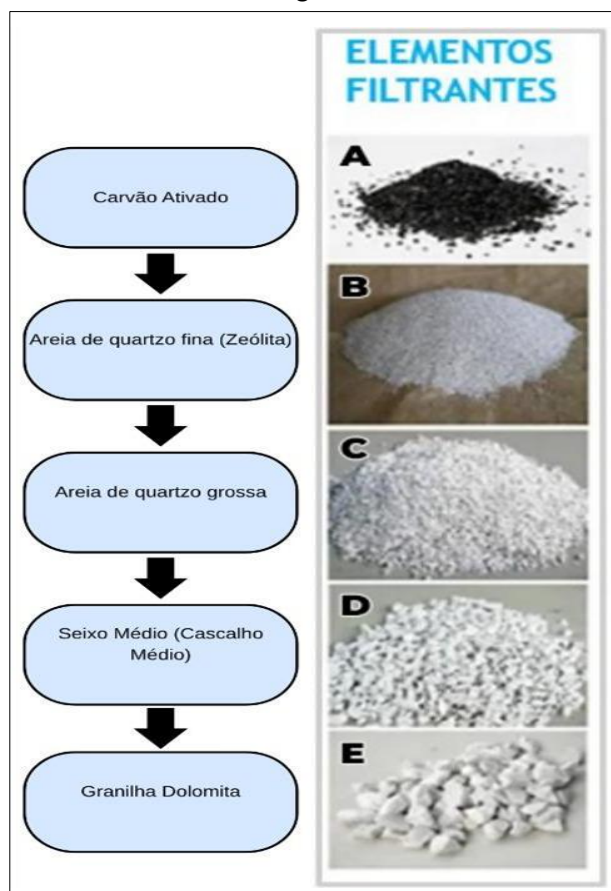
D. Seixo Médio (Cascalho Médio)

O cascalho médio funciona como suporte estrutural para as camadas superiores de areia, garantindo a estabilidade do leito filtrante. Além disso, contribui para a distribuição uniforme do fluxo de água durante a operação do filtro. Essa camada ajuda a prevenir o arraste de partículas finas para o fundo, aumentando a eficiência e a durabilidade do sistema.

E. Granilha Dolomita

Sendo a camada mais inferior do sistema de filtragem, sua principal função é dar sustentação a todo o material filtrante acima e facilitar a drenagem da água filtrada. Essa camada impede o entupimento dos sistemas de saída do filtro, assegurando o escoamento adequado e contínuo da água.

Figura 22 - Organograma dos elementos filtrantes do sistema de tratamento da água.



Fonte: Imagens ilustrativas google imagens, 2025.

3.4. Análise das amostras de água

As amostras de água antes (17-09-2022) e depois (13-03-2025) da instalação do sistema de filtragem foram analisadas em laboratório seguindo os protocolos do *Standard Methods for the Examination of wastewater e United states Environmental Protection Agency (US EPA) (2017)*, abrangendo parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. A avaliação teve como base as normas da Resolução CONAMA nº 357/2005. Os parâmetros físicos incluíram cor aparente, turbidez, temperatura, odor e condutividade elétrica. A cor foi medida por espectrofotometria (método 2120 B), e a TURB, por nefelometria (2130 B). A TEMP da água coletada, foi aferida in situ com termômetro digital (2550 B), o odor avaliado sensorialmente (2150 B) e a CE determinada com condutivímetro (2510 B).

Os parâmetros químicos analisados incluíram pH, ALC, ACID, DUR, Fe,

Cl⁻, OD, TDS, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄ e DBO, com base em métodos do *Standard Methods* (4500, 2540, 3111, 2340). Óleos e graxas foram determinados por extração com hexano (5520 B-F). Quanto aos parâmetros biológicos, foram avaliados os CT e CTT, com destaque para *Escherichia coli*, utilizando o método do Número Mais Provável (NMP) com Caldo Lauril e Caldo EC (9221 B-G), e os resultados expressos em NMP/100 mL.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos nas análises da qualidade da água são apresentados de forma comparativa, contemplando os períodos anterior e posterior à implantação do sistema de filtragem a bordo do ferry boat.

4.1. Parâmetros físicos

O pH manteve-se dentro da faixa de referência estabelecida (6,0 a 9,0), apresentando variações discretas entre os períodos pré e pós-filtragem. No poço, observou-se uma leve redução dos valores, de 6,5 para 6,39. Para a amostra de água do ferry boat, o pH diminuiu de 6,29 para 6,12, enquanto na Baía do Guajará foi registrada uma redução de 6,66 para 6,59. A temperatura (TEMP) apresentou variações pouco significativas entre os períodos avaliados, indicando estabilidade térmica das amostras analisadas.

Na embarcação, houve uma queda de 30 °C para 23 °C, associada à substituição ou renovação da água pós filtragem. As amostras permaneceram no limite de variação de até 30 °C em relação à T°C do rio. Os valores de ALCA mostraram estabilidade, com redução no resultado da amostra do poço (30,8 para 29,12 mg/L CaCO₃). A bordo do *ferry boat*, o resultado foi reduzido de 35,1 para 28 mg/L CaCO₃, enquanto na Baía do Guajará, permaneceu 30 mg/L CaCO₃. A estabilidade desse parâmetro evidencia a capacidade tamponante da água em resistir a variações no pH, mantendo suas características químicas relativamente constantes.

A CE teve um leve aumento após o sistema de filtragem nas amostras de água do poço (286,3 a 296,41 µS/cm), indicando maior concentração de íons dissolvidos. A bordo do *ferry boat* e na Baía do Guajará, a CE foi ausente. Os STD mantiveram estáveis, com leves variações (entre 140,6 e 150 mg/L),

observando a redução após a implantação dos filtros. No poço, a TURB aumentou de 0,81 NTU para 1,22 NTU, embora os resultados permaneçam baixos e dentro dos padrões de qualidade para águas potáveis. A bordo *do ferry boat*, a TURB variou de 0,90 NTU (pré filtragem) para 1,10 NTU (pós a filtragem), mantendo-se estável e indicando baixa presença de sólidos em suspensão. Já na Baía do Guajará, a TURB teve aumento, passando de 89,40 NTU para 110,5 NTU após a filtragem, ultrapassando o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (100 NTU) para águas doces de classe 2. Esse aumento, está relacionado a fatores externos ao sistema de filtragem, como influência de maré, movimentação de sedimentos e atividades humanas próximas à área de coleta.

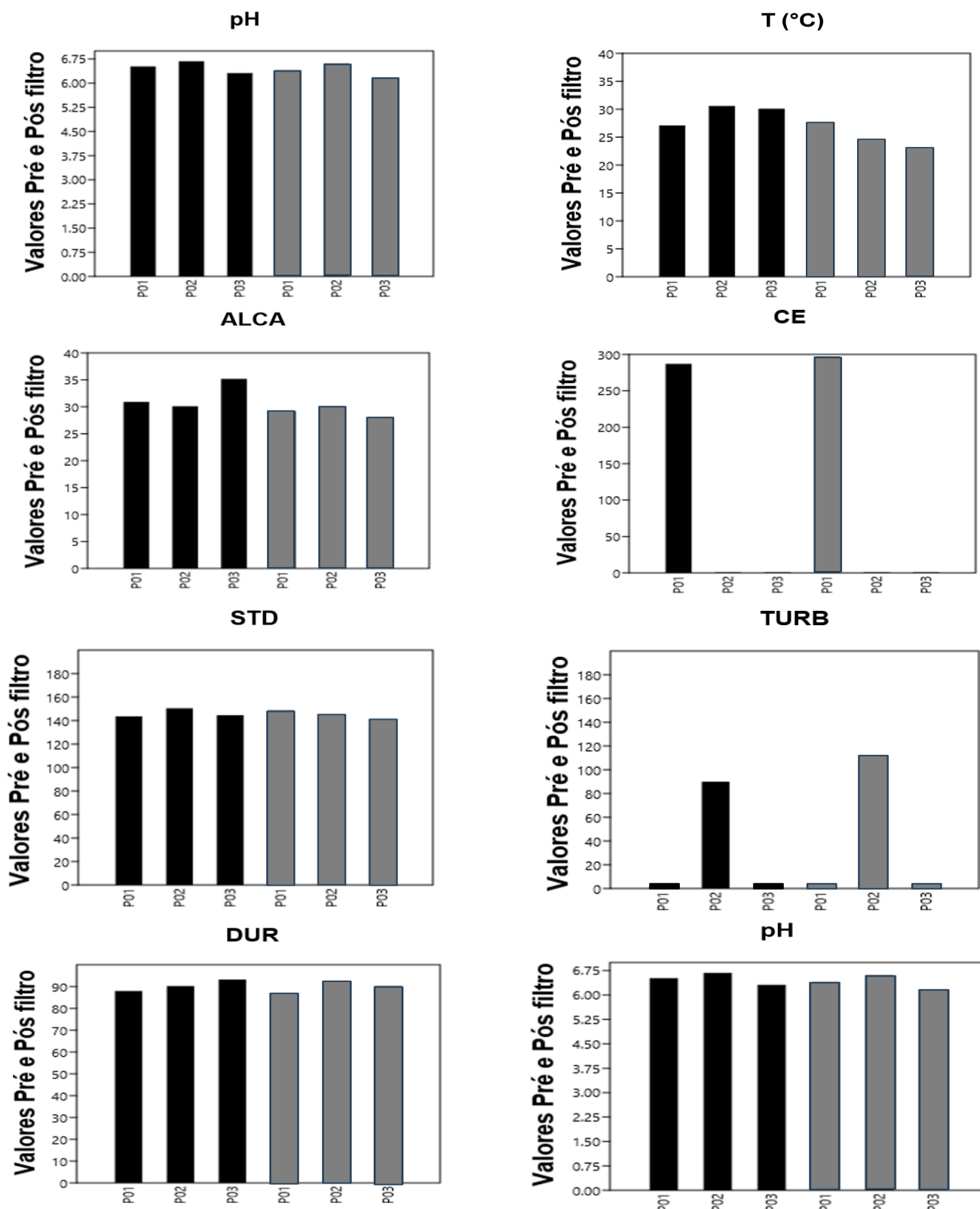
As alterações foram pequenas e os valores baixos (entre 0 e 3 uH), sem indicativos de alteração perceptível na coloração da água. A DUR da água permaneceu estável, com variações entre 86 e 93 mg/L. Não há limite máximo estabelecido, mas os valores são compatíveis com águas de dureza média. A ACID apresentou alterações pontuais, permanecendo o mesmo resultado para a Baía, 11 mg/L. Houve aumento na amostra de água à bordo *do ferry boat*, 8,50 para 12 mg/L, e para a amostra do poço, 10,94 para 12,36 mg/L.

Tabela 6 - Resultados das amostras de água coletada no pré e pós-implantação do sistema de filtragem, parâmetros físicos.

Parâmetro	P1 (Poço Henvil)		P2 (Baía do Guajará)		P3 (Ferry-Boat)		Lim. CONAMA
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	
pH	6,50	6,39	6,66	6,59	6,29	6,12	6,0 – 9,0
T (°C)	27	27,6	30,5	24,5	30	23	≤ 3°C
ALCA	30,8	29,12	30	30	35,1	28	-
C.E	286,3	296,41	0	0	0	0	-
STD	143,10	148,20	150	145	144,1	140,6	-
TURB	0,81	1,22	89,40	110,5	0,90	1,1	≤ 100
DUR	87,7	86,54	90	92	93,03	90	-
ACID	10,94	12,36	11	11	8,50	12	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 234 - Gráficos gerados a partir dos resultados pré (cor preta) e pós-instalação (cor cinza) do sistema de filtragem a bordo do Ferry-boat, dos parâmetros físicos: pH, T°C, ALCA, CE, STD, TURB, DUR e ACID.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.2. Parâmetros químicos

Houve expressiva redução da concentração de Fe na amostra da Baía do Guajará (de 0,25 para 0,012 mg/L) e no *ferry boat* (de 0,35 para 0,2 mg/L), mantendo-se abaixo do limite de 0,3 mg/L. No poço, porém, houve aumento para 0,35 mg/L, ultrapassando o valor permitido. Os teores de SO₄ apresentaram pequenas flutuações, mantendo-se baixos (entre 21 e 24 mg/L), bem abaixo do limite de 250 mg/L para águas doces de classe 2.

A DBO evidenciou alterações importantes nos três pontos, após a implantação do sistema de filtragem. No poço e à bordo do *ferry boat*, os valores antes da filtragem eram idênticos, com concentração de 54,66 mg/L. Após a implantação do sistema, houve redução, sendo a DBO no poço reduzida para 5 mg/L e à bordo do *ferry boat* para 12,5 mg/L. Esses resultados indicam uma melhora expressiva na qualidade da água, embora, no caso do *ferry boat*, o valor ainda esteja acima do limite recomendado para corpos d'água de classe 2 (5 mg/L), conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005. Na Baía do Guajará, a tendência foi contrária: a DBO aumentou de 0,48 para 2,98 mg/L após a filtragem. Apesar desse acréscimo, o resultado permanece dentro dos padrões permitidos, não representando risco imediato à qualidade da água. Essas variações reforçam tanto a eficiência da filtragem nos ambientes controlados quanto a influência de fatores externos nas águas superficiais naturais.

O OD teve o mesmo resultado para a amostra de água do *ferry boat*, 6,08 mg/L, antes e após o sistema. Entretanto, o OD teve redução no poço, de 5,3 para 4,5 mg/L, entretanto, na Baía do Guajará o resultado foi de 6,42 para 6,75 mg/L.

O NH₃-N demonstrou redução expressiva nos três pontos de coleta após a implantação do sistema de filtragem. No poço, o valor inicial era de 1,176 mg/L, sendo reduzido para 0,1 mg/L. Resultado idêntico foi observado na amostra do *ferry boat*, com concentração de 1,176 mg/L antes da filtragem e redução para 0,12 mg/L após o tratamento. Já na Baía do Guajará, o nível caiu de 0,868 mg/L para 0,169 mg/L. Essa redução é um indicativo positivo, uma vez que o NH₃-N é um poluente que pode impactar a vida aquática e está relacionado à presença de matéria orgânica e esgoto. Todos os valores finais ficaram bem abaixo do

limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que é de 3,7 mg/L para águas doces de classe 2, o que reforça a eficiência do sistema de filtragem implantado e a melhoria na qualidade da água nos três pontos.

A concentração de NH_3 indicou comportamento distinto entre os pontos de coleta. No poço, observou-se um leve aumento, de 0,01 mg/L (antes) para 0,1 mg/L (após a implantação do sistema de filtragem). Situação semelhante foi registrada na amostra do *ferry boat*, com variação de 0,013 mg/L para 0,1 mg/L. Apesar desse acréscimo, os valores permanecem baixos e dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que permite até 3,7 mg/L para águas doces de classe 2. Por outro lado, na Baía do Guajará houve redução significativa na concentração de NH_3 , que passou de 6,66 mg/L para 1,1 mg/L, resultado que demonstra a eficácia do sistema de filtragem neste ponto, contribuindo para a melhoria da qualidade da água e minimização dos impactos à fauna aquática.

A concentração de Cl^- demonstrou redução nos três pontos de amostragem após a instalação do sistema de filtragem. No poço, os valores diminuíram de 17,89 mg/L para 16,98 mg/L; a concentração de Cl^- da amostra de água do *ferry boat* caiu de 100,00 mg/L para 50,00 mg/L; e na Baía do Guajará, os níveis foram reduzidos de 98,00 mg/L para 47,50 mg/L. Essa queda geral evidencia a eficiência do sistema de filtragem na remoção de sais dissolvidos, como o Cl^- que em concentrações elevadas pode comprometer a qualidade da água e afetar a potabilidade. Todos os valores, tanto antes quanto depois da filtragem, permaneceram bem abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que permite até 250 mg/L para águas doces de classe 2.

As concentrações de SO_4^{2-} apresentaram valores de 23,0 mg/L na amostra de água do poço, 23,1 mg/L para a amostra do *ferry-boat* e 21,0 mg/L na Baía do Guajará, sendo todos dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que fixa o valor máximo de 250 mg/L para águas doces de Classe 1. Embora tenham ocorrido pequenas variações entre os pontos de coleta, os resultados indicam conformidade com o padrão de qualidade, demonstrando que não há indícios de contaminação por sulfatos.

A concentração de SURFAC (mg/L LAS) evidenciou redução significativa

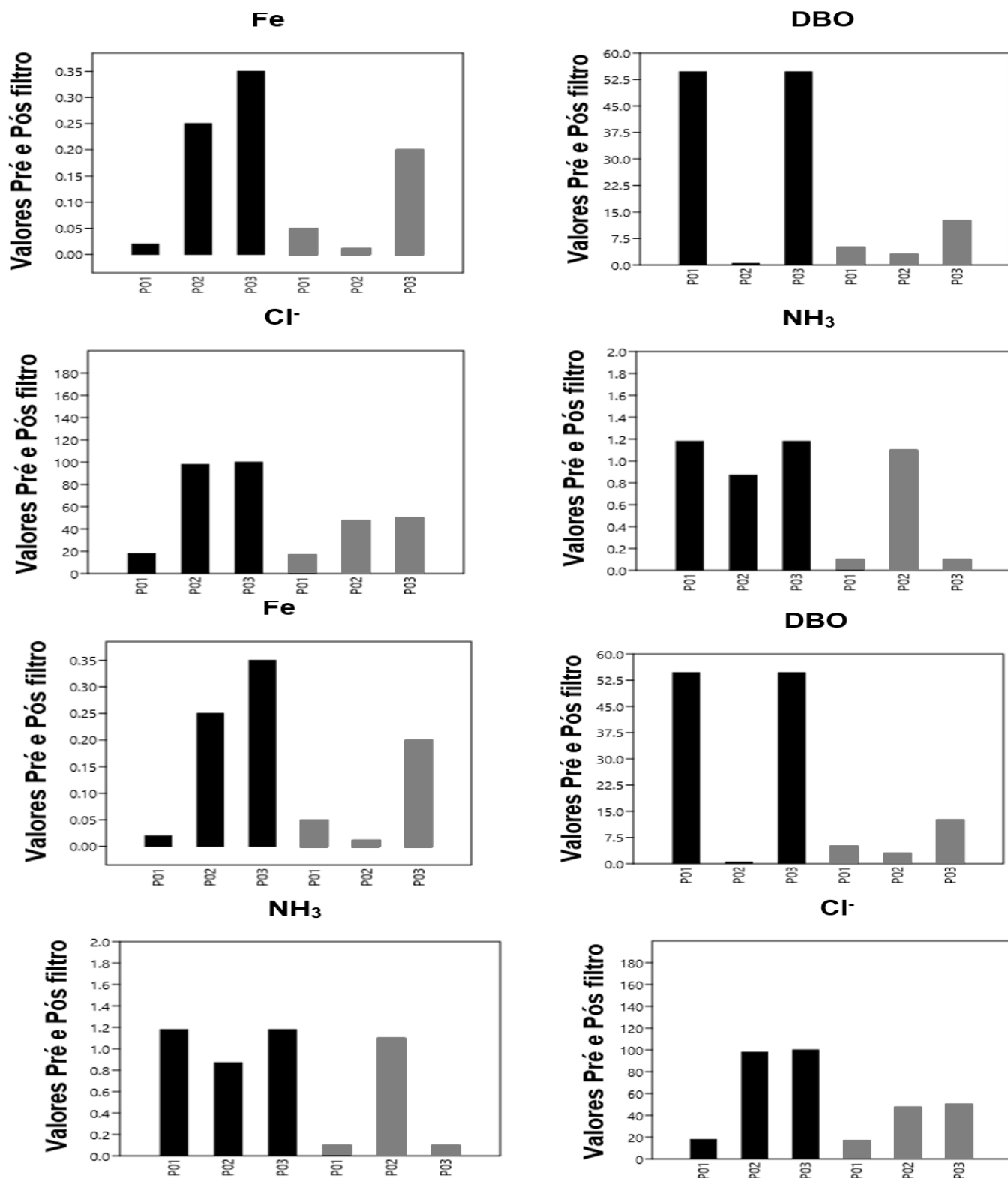
após a filtragem, especialmente na amostra do *ferry boat*, com queda de 9,07 mg/L para 0,1 mg/L. Na Baía do Guajará, os valores passaram de 0,401 mg/L para 0,01 mg/L, enquanto no poço permaneceram em 0 mg/L. Os SURFA, presentes em produtos de limpeza afetam a oxigenação da água e, em excesso, causam danos ambientais. Todos os resultados ficaram abaixo do limite de 0,5 mg/L da Resolução CONAMA nº 357/2005. Após a instalação do sistema, também houve redução de OG na amostra do *ferry boat*, de 4,59 mg/L para 1,00 mg/L, mantendo-se ausentes nas amostras da Baía do Guajará e do poço. Os dados confirmam a eficácia da filtragem e sua contribuição para a melhoria da qualidade da água.

Tabela 7 - Resultados das amostras de água coletada no pré e pós-implantação do sistema de filtragem, parâmetros químicos.

Parâmetro	P1 (Poço)		P2 (Baía do Guajará)		P3 (ferry-boat)		Lim. CONAMA
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	
Fe (mg/L)	0,020	0,05	0,25	0,012	0,35	0,2	de 5,000 a 9,000 mg/L
DBO (mg/L)	54,66	5	0,48	2,98	54,66	12,5	
OD (mg/L O ₂)	5,3	4,5	6,42	6,75	6,08	6,08	N.A
NH ₃ -H	1,176	0,1	0,868	0,169	1,176	0,12	
NH ₃ (mg/L)	0,01	0,1	6,66	1,1	0,013	0,1	
Cl ⁻ (mg/L)	17,89	16,98	98	47,50	100	50	até 250.000 mg/L
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	23	24	21	21	23,1	22	até 250.000 mg/L
SURFA	0	0	0,40	0,01	9,07	0,10	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 24 – Gráficos gerados a partir dos resultados pré (cor preta) e pós-instalação (cor cinza) do sistema de filtragem à bordo do Ferry-Boat São Gabriel, parâmetros químicos: Fe, DBO, OD, NH₃-H, NH₃, Cl⁻, SO₄ ⁻², SURFA.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

4.3. Parâmetros bacteriológicos

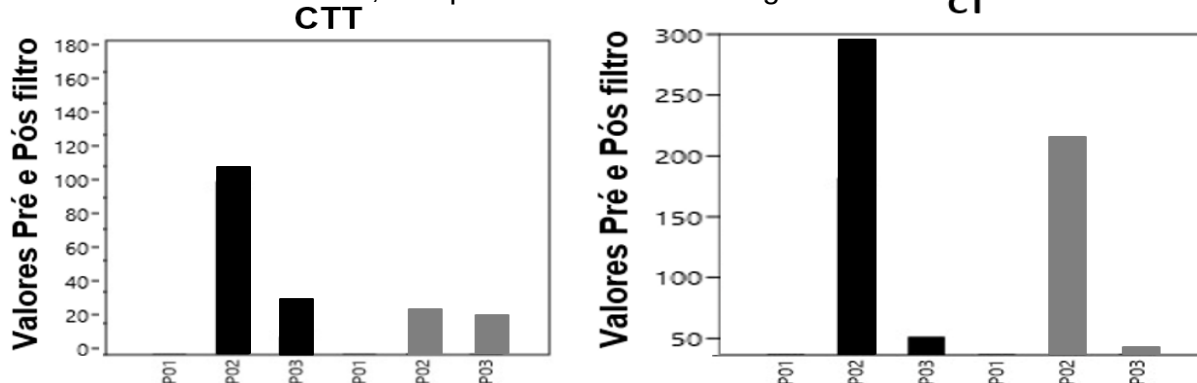
Os resultados de coliformes totais (CT) observados nas amostras de água no poço do porto (P1), do ferry-boat (P2) e da Baía do Guajará (P3) foram, respectivamente, ausentes, 2.400.000 NMP/100 mL e 11.000.000 NMP/100 mL. Para os coliformes termotolerantes (CTT), os valores foram de 12.000 NMP/100 mL na Baía do Guajará, 11.000 NMP/100 mL no *Ferry-boat* São Gabriel e ausentes no poço. A bordo do *ferry-boat*, a elevada concentração de CTT indica condições críticas de qualidade da água, representando potencial risco à saúde pública. A presença de CT reflete contaminação orgânica, enquanto os CTT, como *Escherichia coli*, são indicadores de contaminação fecal recente, demonstrando a necessidade de melhorias nos processos de captação e tratamento da água utilizada a bordo.

Tabela 8 - Resultados das amostras de água coletada no pré e pós-implantação do sistema de filtragem, parâmetros químicos.

Parâmetro	P1 (Poço Henvil)		P2 (Baía do Guajará)		P3 (Ferry-Boat)		Limite
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	
CTT	ausente	ausente	110.000	9.100	24.000	23.000	Até 1.000,000
CT	ausente	ausente	110.000.000	220.000	11.000.000	240	N.A

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 25 – Gráficos gerados a partir dos resultados pré (cor preta) e pós-instalação (cor cinza) do sistema de filtragem a bordo do Ferry-Boat São Gabriel, dos parâmetros Bacteriológicos: CTT e CT.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5. DISCUSSÃO

5.1. Parâmetros físicos

Após o tratamento, todos os indicadores permaneceram dentro de faixas adequadas para operação naval e para processos de desinfecção, em conformidade com diretrizes internacionais, como o Guide to Ship Sanitation (WHO, 2022) e o Manual of Naval Preventive Medicine – Water Quality Afloat (U.S. Navy, 2019), além da Resolução CONAMA 357/2005.

O pH pós-filtragem apresentou média de 6,12, valor próximo da neutralidade, o que favorece a eficácia da cloração e reduz processos de corrosão em tubulações e reservatórios. A T°C da água tratada (23 °C) manteve-se abaixo do limite crítico de 25 °C recomendado pela OMS, reduzindo o risco de proliferação de patógenos oportunistas como *Legionella* spp. A TURB alcançou 1,10 NTU, indicando alto desempenho do sistema multicamadas, condição essencial para otimizar a ação desinfetante e superar a elevada carga de sedimentos característica das águas amazônicas.

A CE e os STD, apresentaram redução compatível com estudos anteriores, refletindo diminuição da carga iônica e manutenção da estabilidade químico-física da água, conforme demonstrado por Oliveira (2014) e por normas de segurança hídrica naval. A DUR também apresentou queda significativa, corroborando a eficiência da adsorção por carvão ativado, conforme Costa et al. (2022), aspecto relevante para prevenir incrustações e prolongar a vida útil dos sistemas hidráulicos da embarcação.

Os parâmetros físicos (pH, T°C, TURB, CE, STD, ALCA e DUR) demonstraram que o sistema compacto de filtragem instalado à bordo do Ferry boat é tecnicamente eficaz, mantendo a qualidade da água dentro dos padrões recomendados para ambientes embarcados e contribuindo para a segurança operacional e sanitária do ferry boat São Gabriel.

5.2. Parâmetros químicos

O Fe apresentou reduções expressivas tanto na amostra de água do ferry boat (0,35 → 0,20 mg/L) quanto na Baía do Guajará (0,25 → 0,012 mg/L), indicando menor influência da corrosão das tubulações e da presença de

partículas metálicas características da água amazônica, problema amplamente relatado em embarcações segundo o Potable Water on Board Ships (NORWEGIAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2014).

A DBO reduziu-se de forma significativa ($54 \rightarrow 12,5$ mg/L na amostra do ferry boat), sinalizando menor carga de matéria orgânica biodegradável. Esse comportamento é essencial para a melhoria da qualidade ambiental e está alinhado ao que descreve o estudo Avaliação de Riscos Sanitários nas Embarcações do Estado do Amazonas (CALDAS, 2021), que associa valores elevados de DBO ao descarte irregular de esgotos em sistemas fluviais.

A concentração de $\text{NH}_3\text{-N}$ também apresentou forte queda ($1,176 \rightarrow 0,10$ mg/L), indicando menor presença de poluição recente por efluentes sanitários, reforçando os resultados de Paula (2015) sobre a recorrência de compostos nitrogenados em embarcações amazônicas. Pequenas oscilações observadas estão dentro do esperado para sistemas embarcados, conforme o Water Quality Afloat (U.S. Navy, 2019).

Os cloretos (Cl^-) reduziram-se de 100 para 50 mg/L, valor relevante por indicar menor risco de intrusão salina, contaminação por águas servidas e processos corrosivos, conforme alertado em Supplying Ships with Safe Drinking-Water (Mulić & Jerončić Tomić, 2020). Os sulfatos (SO_4^{2-}) mantiveram-se estáveis (21–24 mg/L), comportamento típico de filtros de areia e carvão ativado, segundo Oliveira (2014).

Os surfactantes aniônicos (SURFA) apresentaram a maior redução entre todos os parâmetros ($9,07 \rightarrow 0,10$ mg/L), evidenciando elevada eficiência na remoção de resíduos de águas cinzas, em consonância com estudos sobre sistemas filtrantes com carvão ativado (COSTA et al., 2022).

Em geral, os resultados confirmam que o sistema de filtragem implantado melhora substancialmente a qualidade química da água a bordo, reduz impactos ambientais e atenua riscos operacionais associados ao transporte fluvial amazônico. Isso, evidencia alta eficiência do sistema de filtragem na remoção de contaminantes associados à corrosão, matéria orgânica e efluentes sanitários.

5.3. Parâmetros biológicos

A avaliação dos parâmetros biológicos evidenciou inicialmente um quadro crítico de contaminação microbiológica na água utilizada a bordo da embarcação, com elevados níveis de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (CTT), indicando forte presença de matéria orgânica e contaminação fecal recente. Esse cenário reflete fragilidades estruturais nos sistemas de abastecimento hídrico das embarcações amazônicas, marcados pela ausência de higienização dos tanques, infiltrações e manejo inadequado de águas servidas, conforme descrito em estudos regionais sobre saneamento fluvial (PAULA, 2015; CALDAS, 2021).

Após a implantação do sistema compacto de filtração, observou-se redução expressiva dos valores de CT e CTT, demonstrando a eficácia do processo na remoção de microrganismos indicadores. A combinação de barreiras físicas e mecanismos de adsorção possibilitou a diminuição da turbidez, da matéria orgânica e da carga bacteriana, resultado compatível com pesquisas sobre filtros de areia e biomassa (OLIVEIRA, 2014). A redução dos CTT a níveis seguros é particularmente relevante, pois mitiga riscos de gastroenterites e outras doenças de veiculação hídrica, comuns em ambientes confinados e com armazenamento prolongado de água.

A comparação com padrões internacionais de segurança hídrica em navios reforça a adequação dos resultados obtidos. Documentos como Water Quality Afloat e o Guide to Ship Sanitation (WHO) destacam CT e CTT como indicadores-chave para prevenção de surtos em navios, sendo sua eliminação essencial para garantir potabilidade e segurança operacional. Os resultados mostram plena conformidade com essas diretrizes, confirmando que o sistema de filtração implantado oferece proteção sanitária eficaz e alinhada às melhores práticas globais para navegação em regiões tropicais.

5.4. Filtro

O sistema de filtração compacto instalado a bordo do ferry-boat foi desenvolvido para tratar águas a bordo utilizadas durante a navegação, funcionando como uma alternativa eficiente, sustentável e de baixo custo para embarcações que operam na região amazônica. O conjunto é composto por oito

módulos interligados: reservatórios, bomba de recalque, válvula de controle e diferentes filtros, que operam de forma sequencial, criando múltiplas barreiras de tratamento. Essa disposição permite que a água flua por camadas filtrantes com funções complementares, otimizando a remoção de sólidos, compostos químicos e microrganismos presentes na água captada.

O núcleo do sistema é o filtro de camadas múltiplas, formado por carvão ativado, zeólita, camadas de areia fina e grossa, seixo rolado e granilha dolomita. Cada material exerce papel específico: o carvão ativado adsorve compostos orgânicos, surfactantes e odores; a zeólita remove amônia e metais como Fe e manganês; as areias e os seixos retêm partículas sólidas e reduzem a TURB; e a granilha dolomita contribui para estabilizar o pH e melhorar o polimento final da água. Camadas adicionais reforçam o tratamento, como o filtro de metais pesados, que remove substâncias que interferem no sabor, na corrosividade e na estabilidade química, e o filtro Big 20, responsável por reter partículas maiores. Este último tem papel essencial, pois, segundo Varela et al. (2020), “o material em suspensão na Baía do Guajará pode atingir concentrações de 109 mg/L no período seco e 90 mg/L no período chuvoso”, realidade que torna a pré-filtração indispensável. Na etapa final, o filtro de polipropileno atua como barreira de alta precisão, removendo partículas microscópicas e contribuindo para a segurança microbiológica da água tratada. O reservatório final armazena a água filtrada, pronta para usos não potáveis a bordo, e o sistema é capaz de processar cerca de 5.000 litros por viagem.

A concepção desse sistema dialoga diretamente com os achados do artigo “Reuso de águas cinzas: estudo de caso da eficiência de dois tipos de filtros intermitentes de areia no tratamento de água cinza sintética”, que avaliou dois arranjos de filtros intermitentes compostos por areia e cascalho, variando diâmetros e taxas hidráulicas. No estudo, ambos os grupos de filtros apresentaram elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, alcançando reduções superiores a 80% e chegando a mais de 90% em alguns modelos. Os autores demonstram que materiais granulares simples, quando bem distribuídos e operados intermitentemente, podem promover depuração eficiente mesmo em condições laboratoriais que simulam uso doméstico.

Essa fundamentação experimental sustenta o desenho do sistema embarcado, que expande o conceito da filtração granular ao integrar novos

materiais, carvão ativado, zeólita, dolomita e elementos específicos para retenção de metais ,aumentando a capacidade de tratamento frente aos contaminantes típicos das águas estuarinas amazônicas. Enquanto o artigo concentra-se em DBO e DQO como indicadores da eficiência dos filtros, a aplicação a bordo exige um escopo mais abrangente, incluindo parâmetros físicos, químicos e biológicos, tais como pH, turbidez, ferro, amônia, surfactantes, óleos e coliformes. Apesar das diferenças de escala e complexidade, os dois estudos convergem para o mesmo princípio: sistemas filtrantes granulares, quando corretamente configurados, são altamente eficazes na melhoria da qualidade da água.

Assim, o artigo funciona como uma base científica essencial que comprova a eficiência da filtração em meios granulares, fundamentando metodologicamente o sistema implantado na embarcação. A dissertação, por sua vez, demonstra a aplicabilidade real desse conceito no contexto amazônico, ampliando-o para atender às exigências de potabilidade operacional e segurança sanitária a bordo. Juntos, artigo e dissertação evidenciam que soluções acessíveis, sustentáveis e tecnicamente sólidas podem ser implementadas com sucesso no transporte fluvial, contribuindo para a qualidade da água, para a saúde dos passageiros e para a mitigação dos impactos ambientais.

A literatura técnica aponta que a durabilidade dos meios filtrantes varia conforme o material e as condições de operação, com recomendações distintas entre fabricantes e órgãos especializados. Para o carvão ativado granular, fontes como Hongtek Filtration (2024) e Cote (2023) indicam que a substituição deve ocorrer entre 6 e 12 meses, devido à perda progressiva da capacidade de adsorção e ao risco de saturação por compostos orgânicos. No caso dos filtros lentos de areia, organismos como a World Health Organization (2017) e a United States Environmental Protection Agency – EPA (2020) recomendam a remoção periódica da camada superficial de 3 a 12 meses, o que permite que o leito permaneça operacional por longos períodos sem necessidade de substituição completa. Esse intervalo de manutenção deve ser definido a partir do monitoramento da qualidade da água após o sistema de filtragem.

6. CONCLUSÃO

A implantação do sistema compacto de filtragem de águas brutas à bordo do ferry boat São Gabriel demonstrou-se uma solução tecnicamente eficiente e operacionalmente viável para o tratamento de água a bordo, especialmente no contexto amazônico, onde as embarcações dependem diretamente de mananciais sujeitos a variações físico-químicas e microbiológicas. Os resultados obtidos evidenciaram melhorias significativas na qualidade da água após o tratamento, com reduções expressivas nos principais contaminantes químicos, como ferro, amônia, surfactantes e matéria orgânica, além da eliminação total de coliformes totais e da redução dos coliformes termotolerantes para níveis compatíveis com padrões de águas doces de Classe 1. Tais avanços reforçam a capacidade do sistema em mitigar riscos sanitários e garantir maior segurança hídrica aos passageiros e tripulantes.

A análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos mostrou que o desempenho do sistema de filtragem está diretamente associado à sua estrutura composta por múltiplas camadas de materiais filtrantes, capazes de atuar por mecanismos complementares de adsorção, retenção de partículas e polimento final da água. O sistema apresentou funcionamento contínuo e estável durante as viagens, processando aproximadamente 5.000 litros por trajeto, volume suficiente para suprir as necessidades de higiene da embarcação. Além disso, sua operação não requer aditivos químicos, reduzindo custos de manutenção e impactos ambientais.

Em termos de sustentabilidade, a tecnologia adotada contribui de forma significativa para a redução da carga poluidora lançada nos corpos hídricos da Baía do Guajará, auxiliando no controle da degradação ambiental associada ao descarte de águas cinzas sem tratamento. Sua aplicação reforça a importância de soluções acessíveis e replicáveis para embarcações de pequeno e médio porte, promovendo práticas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os ODS 6 e 14, que tratam da garantia de água limpa e da proteção dos ecossistemas aquáticos.

O artigo evidencia que iniciativas como esta podem fortalecer a gestão hídrica no setor naval amazônico, ao mesmo tempo em que sinalizam a necessidade de políticas públicas que incentivem o uso de sistemas de

tratamento de efluentes a bordo. A adoção de filtros compactos em rotas fluviais de grande circulação representa não apenas um avanço tecnológico, mas uma estratégia fundamental para a proteção da saúde pública e para a preservação ambiental nas regiões estuarinas da Amazônia.

7. REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9648: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.* Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma9648>. Acesso em: 12 ago. 2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/IEC 17025: requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.* Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/nbrisoiec17025>. Acesso em: 18 jul. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil 2013.* Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/conjuntura-recursos-hidricos/2013>. Acesso em: 22 jul. 2024.

AGÊNCIA PARÁ. Em julho, 80 mil pessoas passaram pelo Terminal Hidroviário de Belém. Belém, 01 ago. 2024. Disponível em: <https://www.agenciapara.com.br/noticia/58415/em-julho-80-mil-pessoas-passaram-pelo-terminal-hidroviario-de-belem>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ALCÂNTARA, T. C. O.; SILVA, E. R. M.; SIQUEIRA, C. C. B.; FERNANDES, L. B.; McCREANOR, P. T.; BARBOSA, I. C. C. *Reuso de águas cinzas: estudo de caso da eficiência de dois tipos de filtros intermitentes de areia no tratamento de água cinza sintética.* *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 41, e33, p. 1–11, 2019. DOI: 10.5902/2179460X34335.

ALDERY, D. Cabotagem brasileira: análise das barreiras burocráticas que impactam negativamente a performance do modal. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 3, p. 1–23, 2024. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/oel/22-3/aldery-cabotagem>. Acesso em: 22 jul. 2024 **DOI:** <https://doi.org/10.1234/oel.v22n3.aldery>.

ANTAQ. Relatório de Gestão 2012. Brasília, 2012. Disponível em: https://www.gov.br/antaq/pt-br/acesso-a-informacao/prestacao_de_contas/relatorio-de-gestao. Acesso em: 20 abr. 2024.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. *Plano Nacional de Integração Hidroviária: Bacia Amazônica*. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/plano-nacional-integracao-hidroviaria-bacia-amazonica-2013>. Acesso em: 22 jul. 2024.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed., 1988.

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington, 2005 e 2017.

ARAÚJO, V. E. S. *Análise de alguns parâmetros de qualidade da água na baía do Guajará em Belém-PA e os efeitos do regime pluviométrico e de marés*. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10761>. Acesso em: maio. 2024.

ARAÚJO, A. B. R. de. *Desenvolvimento regional: um estudo do transporte fluvial por embarcações mistas no trecho Manaus–Parintins*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 10. Edição 07. Vol. 01. pp 135-152, Julho de 2025. ISSN:2448-0959. Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/cienciassociais/desenvolvimento-regional>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/cienciassociais/desenvolvimento-regional.

BAHAMAS MARITIME AUTHORITY. MARPOL Annex IV – Sewage Pollution Prevention. Nassau, 2022. Disponível em: <https://www.bahamasmaritimeauthority.com/marpol-annex-iv-2022>. Acesso em: 22 fev. 2024.

BARROS, A. P.; SILVA, M. R.; SOUZA, L. F.; LIMA, C. S. *Relatório sobre a navegação de passageiros na Amazônia em 2022*. Brasília: Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/publicacoes/relatorio-navegacao-passageiros-amazonia-2022>. Acesso em: 15 ago. 2024.

BATISTA, A. L.; MOREIRA, C. P.; SANTOS, J. F. Contribuições de sistemas de filtragem para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. *Revista Brasileira de Sustentabilidade e Meio Ambiente*, v. 10, n. 2, p. 55–70, 2021. **Disponível em:** <https://revbrasustentabilidade.org/artigos/2021/filtragem-amazonia>. **Acesso em:** 12 jan. 2025.

BEZERRA, F. A. CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, *Análise fatorial. In: J. M. Análise multivariada aplicada às ciências sociais. São Paulo: Atlas, 2020.*

BIMCO. Grey Water: Definition and Background. 2025. **Disponível em:** <https://www.bimco.org/grey-water-definition>. **Acesso em:** 14 jan. 2025.

BOBBE, M. *Greywater management in vessels.* Copenhagen: International Water Association (IWA), 2019. **Disponível em:** <https://www.iwa-network.org/resources/greywater-management-in-vessels>. **Acesso em:** 14 jan. 2025.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. *Diagnóstico da qualidade da água do Reservatório de Barra Bonita.* *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 1, p. 63–78, 2013. **Disponível em:** https://www.ambiagua.net/seer/ojs/index.php/ambiagua/article/view/2013_buzelli. **Acesso em:** 26 mar. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. *Diário Oficial da União*, Brasília. **Disponível em:** <https://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. **Acesso em:** 14 jan. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 mar. 2005-2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, Brasília, 16 maio 2011. **Disponível em:** <https://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. **Acesso em:** 22 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera a Portaria de Consolidação nº 5/2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. *Diário Oficial da União*, Brasília, 5 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318202599>. Acesso em: 22 jul. 2024. CALDAS, J. N. Avaliação de riscos sanitários em embarcações do Amazonas. 2021.

CO, M.; LIU, Y.; HAN, Q.; ZHOU, L. Biological treatment of sewage from merchant ships. *Journal of Marine Environmental Engineering*, v. 12, n. 3, p. 145–159, 2018. Disponível em: <https://www.jmee-journal.org/articles/2018/biological-treatment-merchant-ships>. Acesso em: 10 out. 2024.

COSTA, R.; ALMEIDA, F.; SOUZA, L.; FERREIRA, T. *Filtros de carvão ativado de matérias sustentáveis*. São Paulo: Instituto Brasileiro de Tecnologias Ambientais, 2022. Disponível em: <https://www.ibta.org.br/publicacoes/filtros-carvao-ativado-2022>. Acesso em: 13 fev. 2023.

DEJA, M.; NOWAK, T.; KOWALSKI, P.; LEWANDOWSKA, A. *Integrated waste management systems for maritime ports*. Gdańsk: Maritime Environmental Research Institute, 2021. Disponível em: <https://www.mer institute.org/publications/integrated-waste-management-ports-2021>. Acesso em: 12 jan. 2024.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. Washington, DC: APHA, 2005. Disponível em: <https://www.standardmethods.org/standard-methods-21st-edition>. Acesso em: 12 jan. 2024.

EPA – Environmental Protection Agency. *Greywater characteristics and impacts*. Washington, DC: EPA, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/greywater-characteristics-impacts>. Acesso em: 13 mar. 2024.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. *Impactos da poluição por embarcações*. [S. l.], 2017.

FUSATI. *Sistema de filtragem de água*. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.fusati.com.br/sistema-de-filtragem-de-agua/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GIRARDI, L.; PINHEIRO, A.; VENZON, P. T. *Parâmetros de qualidade de água de rios e de efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos*. Revista REGA–Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 16, n. 1, p. 1–14, 2019. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/137>. Acesso em: 10 dez. 2024.

MEGUIS, T. R. B. *Transporte fluviomarítimo e turismo: a viagem à Soure e as perspectivas de desenvolvimento local*. 2018. 223 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento do Trópico Úmido) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2018.

MENDES, C. A. *Batimetria e sedimentologia da Baía do Guajará, Belém, Estado do Pará*. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

MENDONÇA, A. L. P. *As águas da região norte brasileira e a luta das comunidades ribeirinhas do estado do Amazonas pela água potável*. Revista do Direito Público, v. 18, n. 2, p. 187-204, 2023.

METCALF & EDDY; AECOM. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. Arquivo em PDF fornecido pelo usuário. Acesso em: 02 dez. 2023.

MOURA, C. N. *Saúde ambiental e poluição hídrica em comunidades ribeirinhas da Amazônia brasileira*. Novos Cadernos NAEA, Belém, v. 19, n. 1, p. 119-140, jan./abr. 2016. Acesso em: 26. Mar.2024.

MULIĆ, R; JERONČIĆ T, I. *Supplying ships with safe drinking-water*. *International Maritime Health*, v. 71, n. 2, p. 123-128, 2020. **Disponível em:** https://journals.viamedica.pl/international_maritime_health/article/view/IMH.2020.0022
2 MULIĆ; JERONČIĆ TOMIĆ. Supplying ships with safe drinking-water. 2020.DOI: 10.5603/IMH.2020.0022

NOGUEIRA, R. *Sistemas de osmose para água em navios de cruzeiro*. 2019. **120 f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

OLIVEIRA, E. S. de; SOUZA, R. F. de. *O transporte hidroviário na Amazônia: desafios e perspectivas.* Revista de Transporte e Logística, v. 4, n. 1, p. 45–59, 2019.

OLIVEIRA, V. M. F de. *Melhoria das condições da água utilizando filtro de areia modificado com biomassa.* 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.* Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 12 ago. 2025.

PATERNIANI, J. E. S. *Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados.* Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 803-812, jul./ago. 2011

PAULA, D. L. M.; LIMA, A. C. M.; VINAGRE, M. V. A.; PONTES, A. N. *Saneamento nas embarcações fluviais de passageiros na Amazônia: uma análise de risco ao meio ambiente e à saúde por meio da lógica fuzzy.* Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 2, p. 283–294, 2019.

PINHEIRO, A. B.; LIMA, E. S.; RODRIGUES, J. A. G. *Avaliação da qualidade da água da Baía do Guajará, Belém, Pará, Brasil.* Revista Ambiente & Água, v. 8, n. 2, p. 169-182, 2013. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1112>.

RODRIGUES, I. M. *Influência das atividades portuárias na qualidade das águas estuarinas nos portos de Vila do Conde e Terminal Petroquímico de Miramar (Setor 3: Continental Estuarino Amazônia).* 2024. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Disponível: https://ppgenav.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2024/DISERTA%C3%87%C3%83O%20%28VERS%C3%83O%20FINAL%29_Izabele%20Miranda%20Rodrigues.pdf. Acesso em: 2 dez. 2025.

SANTOS, L. F dos. *Avaliação da qualidade ambiental da baía do Guajará em Belém – PA.* 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará / Museu Paraense Emílio Goeldi / EMBRAPA, Belém, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10767>. Acesso em: 12 ago. 2024.

TUNDISI, J. G. Gestão de recursos hídricos na Amazônia: desafios e perspectivas. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 60, p. 157-172, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142007000200010>.

VARELA, A. W. P.; SOUZA, A. J. N. DE; AVIZ, M. D. De; PINFILDI, G. V.; SANTOS, R. M.; SOUSA, P. H. C.; SANTOS, M. DE L. S. *Qualidade da água e índice de estado trófico no Rio Guamá, município de Belém (Pará, Brasil)*. *Revista Gestão Sustentável e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 695-715, 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e42020695-715>.

VOUTCHKOV, N. *Advances in membrane technology for water treatment in maritime applications*. *Desalination*, 440, p. 34-46, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.02.008>.

WEIS, W. A. *Ecologia de *Laeonereis acuta* como bioindicador em estuários*. 2017. 97 f. Tese (Doutorado em Ecologia) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

WHITE, E. *Grey Water from Passenger Vessels in Alaska (2000-2019)*. Juneau, Alaska: Ocean Conservancy, 2021. 20 p. Disponível em: <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2025/09/Grey-water-from-passenger-vessels-in-AK.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2023.