

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE SÃO BERNARDO - CCSB
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS/QUÍMICA

MARIA NAIARA SILVA JUSTO

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO AMBIENTE
MARINHO ASSOCIADO AO NAVIO ALINE RAMOS, TUTÓIA-MA**

SÃO BERNARDO - MA

2026

MARIA NAIARA SILVA JUSTO

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO AMBIENTE
MARINHO ASSOCIADO AO NAVIO ALINE RAMOS, TUTÓIA-MA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/
Química, da Universidade Federal do Maranhão,
Centro de Ciências São Bernardo, como requisito
para obtenção do título de Licenciado em Ciências
Naturais/Química.

Orientadora: Prof.^a Dra Maria Do Socorro
Evangelista Garreto

SÃO BERNARDO- MA

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva Justo, Maria Naiara.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO AMBIENTE
MARINHO ASSOCIADO AO NAVIO ALINE RAMOS, TUTÓIAMA / Maria
Naiara Silva Justo. - 2026.

44 f.

Orientador(a): Maria do Socorro Evangelista Garreto.
Monografia (Graduação) - Curso de Ciências Naturais -
Química, Universidade Federal do Maranhão, São Bernardo,
2026.

1. Qualidade da Água. 2. Corrosão Marinha. 3.
Impacto Ambiental. 4. Coliformes Termotolerantes. 5.
Tutóia-ma. I. Garreto, Maria do Socorro Evangelista. II.
Título.

MARIA NAIARA SILVA JUSTO

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO AMBIENTE
MARINHO ASSOCIADO AO NAVIO ALINE RAMOS, TUTÓIA-MA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/
Química, da Universidade Federal do
Maranhão, Centro de Ciências São Bernardo,
como requisito para obtenção do título de
Licenciado em Ciências Naturais/Química.

Orientadora: Prof.^a Dra Maria Do Socorro
Evangelista Garreto.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em: 08/07/2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 MARIA DO SOCORRO EVANGELISTA GARRETO
Data: 14/07/2026 21:10:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Maria do Socorro Evangelista Garreto (Orientadora)
Universidade Federal do Maranhão - CCNQ CCSB

Documento assinado digitalmente
 MARIA ALVES FONTENELE
Data: 16/07/2026 11:52:38-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Maria Alves Fontenele (Membro 01)
Universidade Federal do Maranhão - CCNQ CCSB

Documento assinado digitalmente
 ROSA MARIA PIMENTEL CANTANHEDE
Data: 16/07/2026 09:28:23-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Rosa Maria Pimentel Cantanhede (Membro 02)
Universidade Federal do Maranhão - CCNQ CCSB

Dedico este trabalho à minha família, que sempre foi meu alicerce e minha maior motivação para seguir em frente. Em especial, aos meus pais, Soledade e João Justo, por todos os ensinamentos e valores que me trouxeram até aqui. Que este trabalho represente o resultado de todos os esforços, sonhos e aprendizados compartilhados ao longo dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, pela saúde, pela força e pela sabedoria concedidas ao longo desta caminhada acadêmica. Em todos os momentos de dificuldade, foi a fé que me sustentou e me permitiu seguir em frente até a conclusão deste trabalho.

À minha mãe, Soledade, expresso minha mais profunda gratidão por todo amor, cuidado, dedicação e incentivo ao longo da minha vida. Obrigada por acreditar em mim, por estar sempre ao meu lado e por todos os esforços realizados para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Ao meu pai, João Justo, agradeço pelo apoio, pelos ensinamentos e pelo incentivo constante durante minha formação. Sua contribuição foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

À minha irmã, Verônica, agradeço pelo carinho, pela amizade e pelo apoio em todos os momentos. Sua presença e incentivo foram muito importantes durante essa trajetória.

À minha orientadora, Professora Dra Maria do Socorro Evangelista Garreto, agradeço pela orientação, paciência, dedicação e pelos conhecimentos compartilhados durante a realização deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa e para meu crescimento acadêmico.

Agradeço ao departamento de tecnologia química – programa controle e qualidade de alimentos e água UFMA, onde pude obter resultados das análises microbiológicas ao em laboratório de análises de água da Companhia de Águas e esgotos do Maranhão (CAEMA)/ Santa Quitéria – MA em que foram realizadas as análises físico- químicas.

Estendo meus agradecimentos a todos os familiares, amigos, colegas, professores e demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Seja por meio de orientações, incentivo, compreensão ou apoio nos momentos mais desafiadores, cada contribuição foi importante para a conclusão desta etapa.

Por fim, agradeço a todos que acreditaram no meu potencial e fizeram parte desta conquista. Este trabalho representa não apenas o resultado de um esforço individual, mas também o apoio e a colaboração de muitas pessoas que estiveram presentes ao longo dessa caminhada.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

Os ambientes marinhos possuem grande importância ecológica e econômica, porém estão sujeitos a impactos decorrentes das atividades humanas, incluindo a presença de embarcações naufragadas. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade físico-química e microbiológica da água do mar nas proximidades do navio Aline Ramos, encalhado na Praia da Barra, em Tutóia-MA, verificando possíveis impactos ambientais associados ao processo de corrosão da estrutura metálica. A pesquisa caracterizou-se como um estudo de caso de natureza quantitativa e qualitativa, realizado por meio da coleta de quatro amostras de água em diferentes pontos da área de estudo. Foram analisados os parâmetros físico-químicos temperatura, pH e turbidez, além dos parâmetros microbiológicos coliformes totais e coliformes termotolerantes. Os resultados foram comparados com dados da literatura científica, especialmente do estudo hidroquímico das águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão, e com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A temperatura registrada foi de 30 °C, valor ligeiramente superior ao encontrado na literatura, possivelmente em razão das condições climáticas observadas durante a coleta. Os valores de turbidez apresentaram-se baixos, enquanto os resultados de pH indicaram valores abaixo dos limites recomendados em pontos próximos ao navio. As análises microbiológicas revelaram elevadas concentrações de coliformes termotolerantes nas amostras coletadas no interior e nas proximidades da embarcação, ultrapassando os limites estabelecidos pela legislação ambiental. Conclui-se que a presença prolongada do navio Aline Ramos pode contribuir para alterações na qualidade da água, especialmente nos parâmetros microbiológicos, evidenciando a necessidade de monitoramento ambiental contínuo da área.

Palavras-chave: qualidade da água; corrosão marinha; impacto ambiental; coliformes termotolerantes; Tutóia-MA.

ABSTRACT

Marine environments play an important ecological and economic role but are subject to impacts resulting from human activities, including the presence of shipwrecks. This study aimed to evaluate

the physicochemical and microbiological quality of seawater near the Aline Ramos shipwreck, located at Praia da Barra, Tutóia, Maranhão, Brazil, and to identify possible environmental impacts associated with the corrosion of its metallic structure. The research was conducted as a qualitative and quantitative case study based on the collection of four water samples from different points in the study area. Temperature, pH, turbidity, total coliforms, and thermotolerant coliforms were analyzed. The results were compared with data reported in the scientific literature, particularly studies on the hydrochemistry of the Maranhão Continental Shelf, and with the standards established by CONAMA Resolution No. 357/2005. The recorded temperature was 30 °C, slightly higher than values reported in the literature. Turbidity values were low, while pH values in samples collected near the shipwreck were below recommended limits. Microbiological analyses showed high concentrations of thermotolerant coliforms in samples collected inside and near the vessel, exceeding environmental standards. The results suggest that the prolonged presence of the Aline Ramos shipwreck may contribute to changes in water quality, especially regarding microbiological parameters, highlighting the need for continuous environmental monitoring.

Keywords: water quality; marine corrosion; environmental impact; thermotolerant coliforms; Tutóia-MA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Embarcação inclinada e afetada por corrosão marinha	16
Figura 2 - Navio Aline Ramos antes do processo de deterioração, Tutóia (1982)	26
Figura 3 - Destroços navio.....	28
Figura 4: Imagens do a) pHmetro utilizado para medição de pH; b) Turbidímetro utilizado para medição de turbidez; c) Colorímetro utilizado para medição de cor aparente.....	29
Figura 5 - Registros no mapa dos pontos de coleta	30
Figura 6 - Verificação da temperatura da água da praia de Tutóia- MA	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Temperatura das amostras e das águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão	32
Tabela 2: Valores de turbidez descritos na literatura qual para a Plataforma Continental do Maranhão e para as amostras da praia de Tutóia	33
A Tabela 3- valores de pH determinados para as amostras coletadas na área de estudo, permitindo a comparação entre os diferentes pontos analisados	35
Tabela 4 – Padrões de Coliformes Termotolerantes para Águas Salinas Classe 1 segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005	36
Tabela 5: Dados das análises microbiológicas	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APHA - American Public Health Association

CCET - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

MA - Maranhão

NMP - Número Mais Provável

NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez

PIB - Produto Interno Bruto

pH - Potencial Hidrogeniônico

SSM - Salinidade da Superfície do Mar

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

UFMA - Universidade Federal do Maranhão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Corrosão e impactos ambientais em ambientes marinhos.....	14
2.2 Estudos oceanográficos e a relação com fatores ambientais	16
2.3 Diretrizes ambientais para a qualidade da água	17
2.4 Química analítica e suas aplicações no estudo da água do mar	18
2.5 Aspectos microbiológicos da qualidade da água do mar	18
2.6 Parâmetros físico-químicos da qualidade da água do mar	20
2.6.1 Temperatura	21
2.6.2 Potencial hidrogeniônico (pH).....	22
2.6.3 Dureza	23
2.6.4 Alcalinidade	23
3 METODOLOGIA	24
3.1 Área de estudo	25
3.2 Coleta das amostras	25
3.3 Análises de pH e turbidez	26
3.3.3 Análises microbiológicas	27
3.4 Tratamento e análise dos dados	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 Caracterização da área de estudo	30
4.2.1 Temperatura	30
4.2.2 Turbidez	32
4.2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)	34

4.3 Caracterização microbiológica	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes marinhos desempenham um papel essencial na manutenção do equilíbrio ecológico do planeta, além de contribuírem de forma significativa para o desenvolvimento socioeconômico das populações que habitam as regiões costeiras. Os oceanos sustentam uma grande diversidade de espécies e viabilizam atividades fundamentais, como a pesca, o turismo, o transporte marítimo e o comércio internacional. Nesse sentido, compreender a importância econômica dos mares é relevante, pois diversos setores produtivos dependem diretamente dos recursos oceânicos (Kildow; McIlgorm, 2010).

Nas comunidades litorâneas, a pesca artesanal e comercial constitui uma das principais bases de sustento, sendo o pescado importante fonte alimentar e econômica. Além de garantir a segurança alimentar, essa atividade também contribui para a geração de renda e para o fortalecimento das economias locais (FAO, 2022).

Apesar de sua relevância ambiental e econômica, os ecossistemas marinhos estão constantemente expostos a impactos resultantes da ação humana. Entre esses impactos, destaca-se a presença de estruturas metálicas abandonadas e embarcações encalhadas ou naufragadas, que permanecem em contato prolongado com a água do mar, sedimentos e organismos marinhos. Essas estruturas podem atuar como fontes de contaminação e provocar alterações nas características naturais do ambiente, afetando tanto a qualidade da água e dos sedimentos quanto a dinâmica ecológica local (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Além das alterações físico-químicas, os processos microbiológicos também exercem influência significativa sobre a corrosão em ambientes marinhos. Microrganismos como bactérias redutoras de sulfato, bactérias oxidantes de ferro e outros grupos microbianos estão associados ao processo conhecido como corrosão microbiologicamente induzida (VIDELA; HERRERA, 2005).

Esses organismos utilizam componentes metálicos em suas atividades metabólicas, modificando as condições químicas do meio e acelerando a degradação das estruturas de ferro. Dessa forma, a interação entre fatores físico-químicos e biológicos é fundamental para compreender os impactos ambientais provocados por estruturas metálicas abandonadas em áreas costeiras (BEECH; SUNNER, 2004).

Diante disso, torna-se essencial o desenvolvimento de estudos que analisem de forma integrada os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de ambientes marinhos influenciados por embarcações encalhadas. Esse tipo de análise permite compreender

melhor os processos de degradação metálica, identificar possíveis impactos ambientais e fornecer bases científicas para ações de gestão e preservação dos ecossistemas costeiros.

Assim, este trabalho tem como foco a investigação das características físico-químicas e microbiológicas do ambiente marinho associado ao navio Aline Ramos, encalhado na Praia da Barra, em Tutóia – MA, contribuindo para a compreensão dos efeitos da corrosão metálica em ecossistemas costeiros do litoral maranhense.

Diante disso, o objetivo geral deste estudo foi avaliar as características físico-químicas e microbiológicas da água do ambiente marinho na região de influência do navio Aline Ramos, na Praia da Barra, Tutóia–MA, buscando compreender possíveis alterações associadas à presença da embarcação. Como específicos têm-se: Determinar os parâmetros físico-químicos da água do mar em diferentes pontos da região de influência do navio Aline Ramos, incluindo temperatura, turbidez e pH; Quantificar os grupos microbiológicos indicadores da qualidade da água, como coliformes totais e coliformes termotolerantes; Comparar os resultados obtidos com valores de referência da literatura e com legislações ambientais vigentes, especialmente a Resolução CONAMA nº 357/2005, alterada pela Resolução nº 397/2008, quando aplicável;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Corrosão e impactos ambientais em ambientes marinhos

A corrosão representa a tendência de metais retornarem ao seu estado de menor energia, semelhante à forma em que são encontrados na natureza antes dos processos de extração e beneficiamento industrial (PANNONI, 2004).

Segundo Pannoni (2004), a corrosão é considerada um dos principais problemas relacionados à durabilidade de estruturas metálicas, sendo responsável por prejuízos econômicos e ambientais em diversos setores. Em ambientes aquáticos, especialmente em

regiões costeiras e marinhas, esse processo ocorre de forma mais intensa devido às características físico-químicas da água do mar, que favorecem as reações de oxidação e redução responsáveis pela deterioração dos metais.

Os ambientes marinhos apresentam condições altamente favoráveis ao desenvolvimento da corrosão devido à elevada concentração de sais dissolvidos, principalmente os íons cloreto. Esses sais aumentam a condutividade elétrica da água, facilitando a ocorrência de reações eletroquímicas sobre as superfícies metálicas expostas (GENTIL, 2011).

Além disso, a presença constante de umidade e de oxigênio dissolvido contribui para acelerar os processos corrosivos, tornando o ambiente marinho um dos mais agressivos para estruturas metálicas (GENTIL, 2011).

Outro aspecto importante relacionado à corrosão em ambientes marinhos refere-se à interação entre os processos químicos e os organismos presentes no meio aquático. Com o passar do tempo, superfícies metálicas submersas tornam-se locais propícios para a fixação de microrganismos, algas e outros organismos aquáticos. A colonização dessas superfícies resulta na formação de biofilmes, estruturas compostas por comunidades microbianas aderidas ao metal e envolvidas por substâncias produzidas pelos próprios microrganismos (HAMILTON, 1975).

A participação dos microrganismos nos mecanismos corrosivos é conhecida como corrosão microbiologicamente induzida. Esse tipo de corrosão ocorre quando a atividade biológica influencia direta ou indiretamente os processos eletroquímicos responsáveis pela deterioração dos metais (HAMILTON, 1975).

Além dos prejuízos estruturais, a corrosão microbiologicamente induzida pode contribuir para alterações ambientais localizadas, especialmente em áreas onde grandes estruturas metálicas permanecem submersas por longos períodos. A interação entre produtos corrosivos, sedimentos e comunidades microbianas cria um ambiente dinâmico, capaz de influenciar diversos parâmetros utilizados na avaliação da qualidade ambiental (HAMILTON, 1975).

Dessa forma, a corrosão em ambientes marinhos representa um fenômeno complexo que envolve processos químicos, eletroquímicos e biológicos. A elevada concentração de sais dissolvidos, a presença de oxigênio, a umidade constante e a atividade microbiana contribuem para acelerar a deterioração de estruturas metálicas expostas à água do mar (GENTIL, 2011; HAMILTON, 1975).

A figura 1 apresenta o estado atual do navio, estando levemente declinado para a esquerda, dessa forma, a permanência prolongada do navio Aline Ramos na Praia da Barra pode contribuir para alterações ambientais locais, afetando organismos marinhos, atividades pesqueiras e a população que utiliza os recursos naturais da região.

Figura 1: Embarcação inclinada e afetada por corrosão marinha.



Fonte: Autoria própria, 2026;

2.2 Estudos oceanográficos e a relação com fatores ambientais

Os estudos oceanográficos são fundamentais para a compreensão das características físicas, químicas e biológicas dos ambientes marinhos. A oceanografia investiga os processos naturais que ocorrem nos oceanos e zonas costeiras, permitindo compreender a dinâmica das massas de água e suas interações com a atmosfera, os organismos vivos e o ambiente terrestre. Para esse entendimento, são realizadas análises de diversos parâmetros ambientais, como temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, pH, turbidez e nutrientes, que fornecem informações importantes sobre a qualidade da água e o funcionamento dos ecossistemas marinhos (CALAZANS, 2011).

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e a Salinidade da Superfície do Mar (SSM) possuem grande importância nos processos de interação entre oceano e atmosfera, influenciando condições climáticas, dinâmica costeira e ecossistemas marinhos (HASTENRATH, 1984; NOBRE; SHUKLA, 1996).

No litoral maranhense, esses fatores ambientais exercem influência direta sobre a

biodiversidade, a pesca e os processos químicos que ocorrem na água do mar, tornando essencial o monitoramento da qualidade ambiental em regiões costeiras.

Entre os parâmetros mais estudados na oceanografia destacam-se a temperatura e a salinidade. A temperatura da água influencia diretamente os processos físicos, químicos e biológicos dos ambientes marinhos. Variações térmicas podem afetar a solubilidade dos gases, a distribuição dos organismos e a velocidade das reações químicas que ocorrem na água do mar. Além disso, a temperatura desempenha papel fundamental na circulação oceânica e nas trocas de energia entre oceano e atmosfera (CALAZANS, 2011).

2.3 Diretrizes ambientais para a qualidade da água

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece critérios para a avaliação da qualidade da água, definindo parâmetros que auxiliam no monitoramento ambiental dos corpos hídricos. Esses parâmetros permitem identificar alterações nas características naturais da água e contribuem para a conservação dos ecossistemas aquáticos e da biodiversidade associada (CONAMA, 2005).

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos permite acompanhar as condições ambientais dos ecossistemas aquáticos, auxiliando na identificação de possíveis fontes de contaminação e na adoção de medidas voltadas à conservação da qualidade da água (LIBÂNIO, 2016; ESTEVES, 2011).

A classificação dos corpos hídricos estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/2005 tem como objetivo assegurar a qualidade da água compatível com seus usos preponderantes, contribuindo para a proteção da vida aquática e para a manutenção do equilíbrio ambiental (CONAMA, 2005).

Nesse contexto, a avaliação da qualidade da água torna-se uma importante ferramenta para o monitoramento de ambientes costeiros sujeitos a interferências naturais e antrópicas. A análise de parâmetros como temperatura, pH, turbidez, alcalinidade, dureza e indicadores microbiológicos possibilita uma melhor compreensão das condições ambientais da área estudada, permitindo identificar possíveis alterações nos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 2011; APHA; AWWA; WEF, 2017).

Considerando a permanência da embarcação Aline Ramos na Praia da Barra e o processo de deterioração de sua estrutura metálica, o monitoramento desses parâmetros pode fornecer informações relevantes sobre possíveis alterações na qualidade da água do entorno. Dessa forma, os resultados obtidos contribuem para a avaliação das condições a

compreensão da influência de estruturas metálicas degradadas em ambientes marinhos (GENTIL, 2011; ROSSI et al., 2007; RAMALHO, 2018).

2.4 Química analítica e suas aplicações no estudo da água do mar

A química analítica possui ampla aplicação em diversas áreas do conhecimento, como química, biologia, medicina, engenharia e ciências ambientais. Seu principal objetivo é identificar e quantificar substâncias presentes em diferentes tipos de amostras. (SKOOG et al., 2014).

No estudo da água do mar, a química analítica permite avaliar a presença de compostos

químicos, metais dissolvidos e possíveis contaminantes liberados no ambiente. Essas análises podem ser qualitativas, quando identificam quais substâncias estão presentes, ou quantitativas, quando determinam suas concentrações. (HARRIS, 2017).

Em regiões costeiras, fatores ambientais como salinidade, maresia e presença de estruturas metálicas podem contribuir para alterações químicas na água. No caso do navio Aline Ramos, a deterioração da estrutura metálica pode favorecer a liberação gradual de compostos de ferro e outros materiais no ambiente marinho. Assim, a aplicação da química analítica é importante para compreender possíveis alterações ambientais associadas à presença prolongada da embarcação na Praia da Barra.

2.5 Aspectos microbiológicos da qualidade da água do mar

As análises microbiológicas constituem uma importante ferramenta para a avaliação da qualidade das águas marinhas, permitindo identificar possíveis fontes de contaminação e os riscos associados à saúde humana e ambiental. Esses estudos são amplamente utilizados em programas de monitoramento ambiental, especialmente em áreas destinadas à recreação, pesca, aquicultura e conservação dos ecossistemas costeiros. A presença de microrganismos indicadores fornece informações sobre as condições sanitárias da água e auxilia na identificação de impactos decorrentes das atividades humanas (APHA, 2017).

Os coliformes totais correspondem a um grupo de bactérias encontradas naturalmente no solo, na vegetação em decomposição e em diversos ambientes aquáticos. Sua presença na água pode estar relacionada a processos naturais de decomposição da matéria orgânica, não sendo necessariamente indicativa de contaminação fecal. Entretanto, concentrações

elevadas podem indicar alterações na qualidade ambiental e a necessidade de investigações complementares sobre possíveis fontes de poluição (VON SPERLING, 2014).

Os coliformes termotolerantes, por sua vez, constituem um subgrupo dos coliformes capaz de se desenvolver em temperaturas mais elevadas. Esses microrganismos estão associados principalmente ao trato intestinal de seres humanos e animais de sangue quente, sendo amplamente utilizados como indicadores de contaminação fecal. Sua presença em amostras de água sugere a introdução recente de esgoto doméstico ou resíduos de origem animal no ambiente aquático, representando um importante indicador das condições sanitárias do local (VON SPERLING, 2014).

A avaliação microbiológica da água é realizada por meio de métodos laboratoriais padronizados que permitem estimar a concentração de microrganismos presentes nas amostras coletadas. Entre as metodologias mais utilizadas destaca-se o método do Número Mais Provável (NMP), amplamente recomendado para a determinação de coliformes em águas naturais. Esse método baseia-se na inoculação de diferentes volumes da amostra em meios de cultura específicos, possibilitando a estimativa estatística da densidade bacteriana presente na água (APHA, 2017).

O método do Número Mais Provável apresenta diversas vantagens, como simplicidade de execução, confiabilidade dos resultados e ampla aceitação em programas de monitoramento ambiental. Após o período de incubação, a presença ou ausência de crescimento bacteriano nos tubos de ensaio permite calcular a concentração estimada de microrganismos por meio de tabelas estatísticas específicas. Os resultados são geralmente expressos em NMP por 100 mL de amostra analisada (APHA, 2017).

Nas regiões costeiras, o monitoramento microbiológico assume papel ainda mais importante devido à intensa utilização desses ambientes para atividades econômicas e recreativas. Praias, estuários e áreas de pesca estão frequentemente sujeitos à influência de ocupações urbanas, lançamento de efluentes e aumento da circulação de pessoas, fatores que podem contribuir para a deterioração da qualidade da água (BRASIL, 2005). Nesse contexto, as análises microbiológicas fornecem informações essenciais para a gestão ambiental e para a adoção de medidas de controle da poluição (VON SPERLING, 2014).

A utilização de metodologias padronizadas é fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos nas análises microbiológicas (APHA, 2017). Dessa forma, os resultados podem ser comparados com padrões estabelecidos pela legislação e utilizados como suporte para estudos ambientais e ações de gestão costeira (BRASIL, 2005).

2.6 Parâmetros físico-químicos da qualidade da água do mar

Os parâmetros físico-químicos são importantes indicadores da qualidade ambiental da água do mar, permitindo avaliar possíveis alterações naturais ou antrópicas no ambiente costeiro (ESTEVES, 2011). Essas análises possibilitam identificar mudanças nas características da água, auxiliando na compreensão das condições ambientais da área estudada e fornecendo subsídios para a interpretação dos processos ecológicos que ocorrem no meio aquático.

No presente estudo, esses parâmetros podem contribuir para a verificação de possíveis alterações associadas ao processo de oxidação da estrutura metálica do navio Aline Ramos, uma vez que a presença prolongada de materiais metálicos em ambiente marinho pode influenciar diretamente a composição química da água e suas propriedades físicas (GENTIL, 2011; ESTEVES, 2011).

As modificações naturais estão associadas a fatores que ocorrem sem interferência humana, como ventos, marés, correntes marítimas e chuvas, os quais podem influenciar as características físicas e químicas da água de forma sazonal ou momentânea (ESTEVES, 2011). Já as variações antrópicas são provenientes das atividades humanas e podem estar relacionadas à poluição, ao desmatamento, ao lançamento de efluentes, à presença de embarcações naufragadas e a outras intervenções realizadas no ambiente costeiro (ESTEVES, 2011).

Esses dois grupos de influência podem atuar simultaneamente, tornando a análise da qualidade da água um processo complexo, que exige a consideração de múltiplos fatores ambientais. Dessa forma, a interpretação dos parâmetros físico-químicos deve levar em conta tanto as condições naturais da região quanto possíveis impactos decorrentes de atividades humanas (ESTEVES, 2011).

Entre os parâmetros físicos mais relevantes destacam-se a temperatura, turbidez, pH e cor. A cor e a turbidez estão relacionadas à presença de partículas em suspensão e substâncias dissolvidas na água, podendo indicar tanto processos naturais de ressuspensão de sedimentos quanto interferências externas no ambiente aquático (APHA; AWWA; WEF, 2017). Esses parâmetros auxiliam na avaliação das condições ambientais do meio, uma vez que refletem diretamente a transparência da água e sua capacidade de penetração de luz solar, fator essencial para os processos fotossintéticos (ESTEVES, 2011).

A temperatura, por sua vez, exerce influência direta sobre processos biológicos,

químicos e físicos nos ecossistemas marinhos, sendo considerada um dos parâmetros mais importantes na regulação das condições ambientais (LIBÂNIO, 2016). Pequenas variações de temperatura podem afetar significativamente a densidade da água, a circulação de correntes e a disponibilidade de oxigênio dissolvido, impactando diretamente a vida marinha.

Entre os parâmetros químicos, destacam-se o potencial hidrogeniônico (pH), a salinidade, a dureza, a alcalinidade e a presença de metais dissolvidos (ESTEVES, 2011). Esses elementos são fundamentais para compreender a composição química da água e suas variações ao longo do tempo e do espaço.

A análise dessas variáveis permite uma melhor compreensão da dinâmica dos ecossistemas marinhos, contribuindo para a avaliação da qualidade ambiental e para a identificação de possíveis alterações relacionadas à presença de fontes de impacto, como estruturas metálicas degradadas. Além disso, esses parâmetros auxiliam na identificação de processos de degradação ambiental que podem não ser perceptíveis apenas por observação visual.

2.6.1 Temperatura

A temperatura da água do mar exerce influência direta sobre organismos aquáticos e sobre diversos processos físico-químicos do ambiente marinho, sendo um dos principais fatores de controle da dinâmica ecológica. Alterações de temperatura podem afetar a respiração, reprodução, alimentação e sobrevivência de espécies marinhas, influenciando diretamente a distribuição da biodiversidade nos ecossistemas costeiros (MARINHA DO BRASIL, 2024).

Além disso, a temperatura interfere na solubilidade de gases dissolvidos na água, como oxigênio e dióxido de carbono, afetando processos biogeoquímicos essenciais para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Também influencia a velocidade das reações químicas presentes na água, podendo acelerar ou retardar processos naturais e reações de degradação de materiais (MARINHA DO BRASIL, 2024).

Em ambientes costeiros, a temperatura pode variar em função de fatores como incidência solar, profundidade, movimentação das marés e presença de correntes marítimas. Essas variações são importantes para a compreensão da dinâmica ambiental da área estudada, especialmente em regiões sujeitas à influência de estruturas metálicas submersas ou encalhadas, como o navio Aline Ramos.

Dessa forma, a análise da temperatura torna-se essencial para a interpretação integrada dos demais parâmetros físico-químicos, permitindo uma avaliação mais completa das condições ambientais da água do mar e suas possíveis alterações ao longo do tempo.

2.6.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) indica o grau de acidez ou alcalinidade da água, sendo expresso em uma escala que varia de 0 a 14. Valores inferiores a 7 indicam meio ácido, enquanto valores superiores a 7 indicam meio alcalino (LIBÂNIO, 2016). O equilíbrio do Ph é fundamental para a estabilidade dos sistemas aquáticos, uma vez que pequenas variações podem afetar diretamente as condições físico-químicas do ambiente (ESTEVES, 2011).

Em ecossistemas marinhos, o pH apresenta relativa estabilidade devido à presença de sistemas tampão naturais, especialmente aqueles associados ao equilíbrio entre bicarbonatos, carbonatos e dióxido de carbono dissolvido. No entanto, essa estabilidade pode ser alterada por fatores naturais e antrópicos, como variações de temperatura, precipitação, decomposição de matéria orgânica e presença de estruturas metálicas em processo de corrosão (ESTEVES, 2011; GENTIL, 2011).

O pH exerce influência direta sobre a solubilidade de substâncias químicas presentes na água, podendo aumentar ou reduzir a disponibilidade de determinados compostos. Em ambientes aquáticos, alterações no pH podem interferir na toxicidade de substâncias dissolvidas, afetando organismos sensíveis e comprometendo o equilíbrio ecológico (LIBÂNIO, 2016).

Além disso, o pH está intimamente relacionado aos processos biológicos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos, como respiração, fotossíntese e decomposição de matéria orgânica. Essas atividades podem provocar variações naturais no pH ao longo do dia, especialmente em ambientes costeiros com alta produtividade biológica (ESTEVES, 2011).

Em regiões onde há presença de estruturas metálicas submersas ou parcialmente expostas, como embarcações encalhadas, o processo de corrosão pode influenciar o pH local. A oxidação do ferro e outros metais pode gerar microambientes com características químicas distintas da água ao redor, contribuindo para a formação de zonas com maior acidez ou alcalinidade localizada (GENTIL, 2011).

Dessa forma, o pH pode ser considerado um importante indicador de qualidade da água, pois reflete tanto as condições naturais do ambiente quanto possíveis interferências

externas. Sua análise permite identificar alterações que podem estar associadas a processos de degradação ambiental e à presença de estruturas metálicas em ambiente marinho (CONAMA, 2005).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas salinas destinadas à recreação e à proteção da vida aquática, o pH deve se manter em faixas compatíveis com a manutenção do equilíbrio ecológico, não devendo sofrer alterações significativas em relação às condições naturais do corpo hídrico (CONAMA, 2005).

A manutenção desse equilíbrio é essencial para garantir condições adequadas à sobrevivência dos organismos aquáticos, uma vez que variações extremas podem comprometer processos fisiológicos e a biodiversidade marinha. Dessa forma, o monitoramento do pH torna-se uma ferramenta indispensável em estudos de qualidade da água em ambientes costeiros sujeitos a interferências naturais e antrópicas (LIBÂNIO, 2016; ESTEVES, 2011).

2.6.3 Dureza

A dureza da água está relacionada à concentração de sais dissolvidos, principalmente cálcio e magnésio. Em ambientes marinhos, a elevada presença desses íons contribui para altos valores de condutividade elétrica. (LIBÂNIO, 2016; ESTEVES, 2011).

A dureza também possui importância biológica, pois organismos marinhos utilizam cálcio e outros minerais na formação de estruturas calcárias, como conchas e esqueletos. conchas e esqueletos (ESTEVES, 2011).

2.6.4 Alcalinidade

A alcalinidade corresponde à capacidade da água de neutralizar ácidos, funcionando como um sistema tampão responsável pela estabilidade do pH. (LIBÂNIO, 2016). Em ambientes aquáticos, a alcalinidade está associada principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos dissolvidos. Valores adequados de alcalinidade contribuem para o equilíbrio químico da água e para a manutenção da fauna e flora marinha. (ESTEVES, 2011; SPERLING, 2014).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, alterações excessivas no pH natural da água podem comprometer a qualidade ambiental e os organismos aquáticos. s aquáticos (CONAMA, 2005).

A alcalinidade corresponde à capacidade da água de neutralizar ácidos, funcionando

como um sistema tampão responsável pela estabilidade do pH (LIBÂNIO, 2016). Em ambientes aquáticos, a alcalinidade está associada principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos dissolvidos (ESTEVES, 2011; VON SPERLING, 2014). Valores adequados de alcalinidade contribuem para o equilíbrio químico da água e para a manutenção da fauna e flora marinha (ESTEVES, 2011; VON SPERLING, 2014).

Além disso, a alcalinidade exerce papel fundamental na resistência do meio aquático a variações bruscas de pH, evitando oscilações que poderiam comprometer processos biológicos essenciais (LIBÂNIO, 2016). Em ecossistemas marinhos, esse equilíbrio químico é particularmente importante devido à constante influência de fatores externos, como marés, chuvas e entrada de substâncias oriundas do continente (ESTEVES, 2011).

A presença de sistemas tampão eficientes contribui para a estabilidade das condições ambientais, favorecendo a sobrevivência de organismos sensíveis a alterações químicas (VON SPERLING, 2014). Dessa forma, a alcalinidade pode ser considerada um indicador indireto da capacidade de autodepuração do ambiente aquático (ESTEVES, 2011).

Em ambientes costeiros sujeitos a interferências antrópicas, como a presença de estruturas metálicas submersas ou em processo de corrosão, alterações na alcalinidade podem ocorrer devido à liberação de íons metálicos e outros compostos químicos (GENTIL, 2011; ESTEVES, 2011).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, alterações excessivas no pH natural da água podem comprometer a qualidade ambiental e os organismos aquáticos (CONAMA, 2005). A manutenção desse equilíbrio é essencial para garantir condições adequadas à vida aquática e aos usos múltiplos dos corpos hídricos (CONAMA, 2005).

Dessa forma, o monitoramento da alcalinidade, juntamente com outros parâmetros físico-químicos, torna-se uma ferramenta importante para avaliar possíveis impactos ambientais em áreas costeiras, permitindo uma análise mais completa da qualidade da água e de suas variações ao longo do tempo (LIBÂNIO, 2016; ESTEVES, 2011).

3 METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza qualitativa e quantitativa, com caráter descritivo e exploratório. Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico em livros, artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos relacionados à corrosão do ferro, ambientes marinhos e impactos ambientais de estruturas metálicas costeiras. Esse levantamento serviu de base para a compreensão teórica dos fenômenos químicos envolvidos.

Em seguida, foi conduzido um estudo de campo na Praia da Barra, no município de Tutóia–MA, com foco na região onde está localizado o navio Aline Ramos. Foram realizados registros fotográficos e anotações descritivas das condições estruturais da embarcação, enfatizando os aspectos visíveis do processo de oxidação, como coloração, textura e grau de deterioração do material metálico.

3.1 Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa compreendeu a Praia da Barra, localizada no município de Tutóia, Maranhão, com enfoque na região próxima aos destroços do navio Aline Ramos, também conhecido como Barão do Amazonas. O estudo possui natureza quantitativa e qualitativa, uma vez que foram obtidos dados numéricos referentes à qualidade da água e, posteriormente, realizada a interpretação ambiental dos resultados encontrados.

A avaliação da qualidade da água foi fundamentada na literatura especialmente no estudo hidro químico das águas superficiais da plataforma continental do Maranhão e nos parâmetros estabelecidos pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre os padrões de qualidade das águas destinadas à recreação e ao consumo, considerando parâmetros microbiológicos e físico-químicos, como coliformes totais, coliformes termotolerantes, potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, cor e temperatura.

3.2 Coleta das amostras

As coletas de água foram realizadas no dia 25 de abril de 2026, durante o período de maré vazante e estação chuvosa da região. Para a coleta, utilizaram-se garrafas PET previamente esterilizadas e devidamente identificadas como amostras 1, 2, 3 e 4. A temperatura de cada amostra foi medida logo após a coleta.

A amostra 1 foi coletada no interior da estrutura do navio, como mostra na figura 4 a aproximadamente 200 metros da margem e profundidade de 45 cm, nas coordenadas -2,7563567 de latitude e -42,2614944 de longitude.

A amostra 2 foi coletada na área destinada ao banho, localizada no lado leste da praia, em profundidade aproximada de 43 cm, correspondente à altura do antebraço, a cerca de 2 metros dos destroços do navio, nas coordenadas geográficas -2,7591607 de latitude e -42,2622532 de longitude.

A amostra 3 foi retirada próxima aos destroços do navio, no lado oeste, em profundidade aproximada de 43 cm e a cerca de 200 metros da margem, nas coordenadas -2,7566347 de latitude e -42,2620027 de longitude.

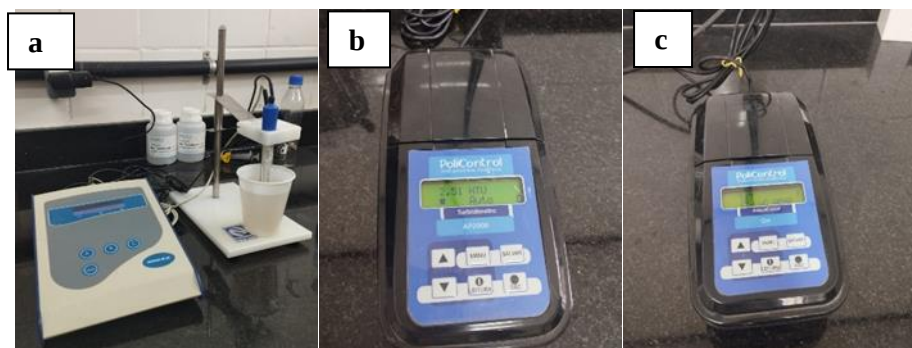
A amostra 4 foi coletada na área localizada no lado oeste da praia, em profundidade aproximada de 43 cm, correspondente à altura do antebraço, a cerca de 2 metros dos destroços do navio, nas coordenadas geográficas de latitude -2,7585161 e longitude -2,7585161, -42,2625526. O ponto foi selecionado com o objetivo de avaliar as características da água em uma região oposta à amostra 2.

3.3 Análises físico-químicas

3.3.1 Analise de pH e Turbidez

As análises físico-químicas foram conduzidas em laboratório de análises de água da Companhia de Águas e esgotos do Maranhão (CAEMA) localizado no município de Santa Quitéria do Maranhão – MA. A determinação do pH, turbidez e a cor aparente foram analisadas por meio de pHmetro, turbidímetro e colorímetro, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 2 a, b e c. Tais parâmetros são amplamente utilizados como indicadores da qualidade da água, sendo essenciais na avaliação da eficiência de processos de coagulação, seguindo as metodologias padronizadas para a determinação de pH, turbidez e cor aparente, parâmetros físico-químicos essenciais para a caracterização da qualidade da água e para a avaliação da eficiência dos processos de tratamento.

Figura 2: Imagens do a) pHmetro utilizado para medição de pH; b) Turbidímetro utilizado para medição de turbidez; c) Colorímetro utilizado para medição de cor aparente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.3.2 Temperatura

A temperatura da água do mar foi determinada à distância de 5 metros da margem da área de banho da praia, utilizando um termômetro de vidro da marca Incoterm com escala de -10 a +110 °C. A medição foi realizada imediatamente após a coleta da amostra, com o equipamento sendo inserido diretamente na água até que a leitura se estabilizasse.

3.3.3 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório PCQA/UFMA, empregando metodologia baseada na técnica do Número Mais Provável (NMP) para determinação de coliformes totais e coliformes termotolerantes, conforme procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2023). Os resultados foram expressos em Número Mais Provável por 100 mL de amostra (NMP/100 mL).

3.4 Tratamento e análise dos dados

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas e microbiológicas foram organizados em tabelas e submetidos à análise descritiva, possibilitando a comparação entre os diferentes pontos de coleta na área de influência do navio Aline Ramos, localizado na Praia da Barra, município de Tutóia-MA.

Para a interpretação dos parâmetros microbiológicos, foram utilizados como referência os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, considerando os padrões de qualidade para águas salinas, especialmente aqueles relacionados aos coliformes termotolerantes. Ressalta-se que a comparação dos resultados teve caráter referencial, não implicando no enquadramento oficial do corpo hídrico estudado nessa classe de uso (BRASIL, 2005).

Para os parâmetros físico-químicos, a interpretação dos resultados foi realizada por comparação com dados disponíveis na literatura científica, uma vez que a legislação brasileira não estabelece valores de referência para todos os parâmetros avaliados em águas marinhas. Nesse contexto, foram utilizados como base estudos desenvolvidos na Plataforma Continental do Maranhão, especialmente o trabalho de Azevedo et al. (2014), além de obras clássicas sobre qualidade da água e processos físico-químicos em ambientes aquáticos (ESTEVES, 2011).

A análise dos resultados considerou, ainda, as características ambientais da área de estudo, incluindo a influência das marés, a dinâmica sedimentar, a circulação das águas costeiras e a presença da embarcação encalhada, buscando identificar possíveis variações espaciais dos parâmetros analisados, sem estabelecer relações de causalidade que não fossem sustentadas pelos dados obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram analisados de forma comparativa entre os pontos de coleta, relacionando os parâmetros físico-químicos e microbiológicos com a presença da estrutura metálica do navio. A discussão foi fundamentada na literatura científica, de forma específica, na Resolução CONAMA de nº 357, de 17 de Março de 2005 e no documento das águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão.

buscando compreender os possíveis impactos ambientais associados ao processo de corrosão.

4.1 Caracterização da área de estudo

O navio Aline Ramos transportava sal, encalhou praia da barra município de Tutóia – MA, possuía 17 pessoas a bordo, duas faleceram no momento do acidente. A (figura 2) mostra o navio antes do naufrágio, a tragédia aconteceu no dia 16 de novembro de 1981

Figura 3 – Navio Aline Ramos antes do processo de deterioração, Tutóia (1982).



Fonte: Navios e Portos. Disponível em: g1 Maranhão (2021)

Atualmente, a estrutura da embarcação permanece exposta às condições ambientais típicas do litoral maranhense, como elevada salinidade, intensa umidade, ação constante dos ventos,

presença de oxigênio dissolvido e variações de temperatura. A (figura 4) exhibe os destroços do navio. Esses fatores favorecem processos de corrosão e oxidação da estrutura metálica do navio, especialmente do ferro presente em sua composição.

Figura 4: Destroços do navio



Fonte: Autoria própria, 2026

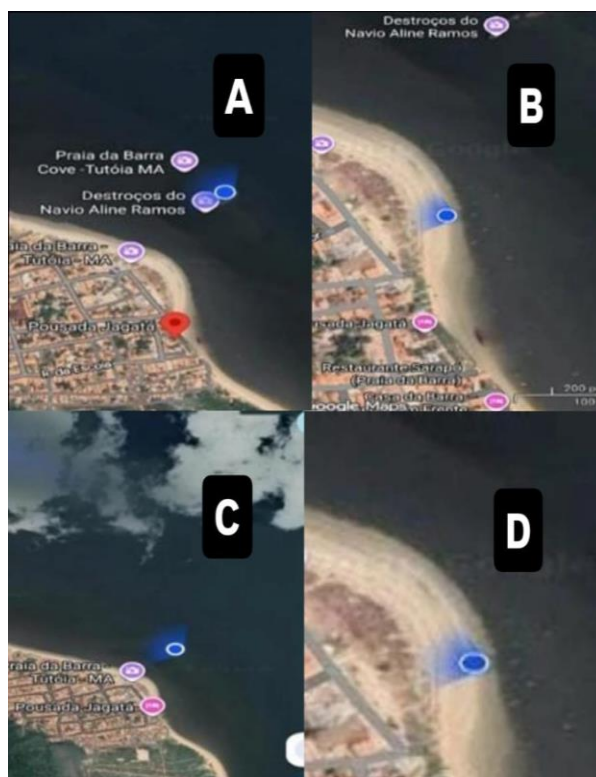
Além do Aline Ramos, existem registros de outras embarcações naufragadas na região de Tutóia, embora ainda haja escassez de estudos científicos sobre esses casos. O acervo digital “Naufrágios no Maranhão” apresenta registros de embarcações como Barreto de Menezes (1954), Casco (1923), Gregory (1920), Patriota (1865), Pincaré (1947), Príncipe de Grão Pará (1881) e Sírios (1950). A presença dessas embarcações em áreas costeiras próximas pode contribuir para alterações ambientais ao longo do tempo, devido à liberação gradual de substâncias metálicas e resíduos no ambiente marinho.

Nesse contexto, estudos relacionados à qualidade da água do mar tornam-se importantes para avaliar possíveis alterações físico-químicas e microbiológicas causadas pela presença prolongada dessas estruturas metálicas. Além disso, tais alterações podem afetar organismos aquáticos, atividades pesqueiras e comunidades que dependem economicamente dos recursos marinhos da região.

Para as análises coletaram-se amostras representativas. Os pontos de coleta estão representados em mapa georreferenciado (Figura 4) identificados com 4ª interior do navio, 4B área de banho lado (leste), 4C ao lado do navio (oeste) e 4D área de banho lado (oeste), possibilitando a análise espacial da qualidade da água em diferentes áreas da praia. Esse procedimento permitiu comparar regiões próximas afastadas dos destroços do navio,

considerando a influência das atividades de pesca, circulação de banhistas e possíveis impactos decorrentes da corrosão da estrutura metálica.

Figura 5: registros no mapa dos pontos de coleta



Fonte: Autoria própria, com base no Google Earth Pro (2026).

4.2 Caracterização físico-química

A caracterização físico-química da água constitui uma etapa essencial para a avaliação da qualidade ambiental dos ecossistemas marinhos, uma vez que os parâmetros analisados permitem compreender as condições naturais do meio e possíveis alterações decorrentes de fatores antrópicos, como a presença de estruturas metálicas expostas ao ambiente costeiro (ESTEVEES, 2011).

4.2.1 Temperatura

Entre os parâmetros avaliados, a temperatura destaca-se por exercer influência direta nos processos físicos, químicos e biológicos da água, interferindo na solubilidade de gases, na atividade metabólica dos microrganismos e na velocidade das reações químicas, incluindo os processos de corrosão metálica. Dessa forma, a determinação desse parâmetro é fundamental para a interpretação das condições ambientais da área de estudo (ESTEVES, 2011; BRASIL, 2005).

Neste estudo, a temperatura da água foi medida pós a coleta (Figura 6) à 5 metros de distância .

Figura 6: Verificação da temperatura da água da praia de Tutóia- MA



Fonte: Autoria própria, 2026;

A Tabela 1 apresenta os valores de referência de temperatura observados em estudos realizados nas águas superficiais da plataforma continental do Maranhão, utilizados como parâmetro comparativo para a análise dos resultados obtidos na área de estudo.

Tabela 1: Temperatura das amostras e das águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão.

Amostra	Temperatura da amostra (°C)	Temperatura média (°C)	Comparação/Interpretação
1- Interior do navio	30°C	30 °C	Média de 28,14 °C máximo de 28,9 °C Valor típico de regiões tropicais durante o período seco. AZEVEDO et al., 2014.
2- Área de banho (lado leste)	30°C		
3- Próxima ao navio (lado oeste)	30°C		
4- Área de banho (lado oeste)	30°C		

Fonte: Autoria própria (2026) e adaptado de Azevedo et al. (2014).

Os valores de temperatura obtidos neste estudo foram comparados com os padrões descritos para as águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão. Segundo Azevedo et al. (2014), a temperatura média registrada nessas águas foi de aproximadamente 28,14 °C, apresentando pequena variação espacial e temporal, característica de ambientes marinhos tropicais. Dessa forma, os resultados encontrados na área de estudo podem indicar condições naturais da região ou possíveis alterações locais associadas a fatores ambientais, como incidência solar, regime de marés, profundidade da água e influência de aportes continentais.

Os resultados deste estudo mostram que a água do mar de Tutoia, na região estudada, teve média de 30°C, valor superior ao comparado. Na literatura, a temperatura das águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão, foi medida em período seco, diferente deste estudo em que a temperatura foi determinada em período de inverno e maré vazante, além disso, as condições meteorológicas ensolaradas ou à distância de 5 metros em que foi medida a temperatura, podem ter também contribuído para o aumento da temperatura

4.2.2 Turbidez

A turbidez é um importante parâmetro físico de qualidade da água, pois está relacionada à presença de partículas suspensas, como sedimentos, matéria orgânica, plâncton e outros materiais que reduzem a transparência do meio aquático. Em ambientes marinhos e costeiros, esse parâmetro pode ser influenciado pela dinâmica das marés, pela suspensão dos sedimentos

(Esteves, 2011); e pela presença de estruturas metálicas submetidas a processos de corrosão (Gentil, 2011).

No caso de embarcações encalhadas ou naufragadas, como o navio Aline Ramos, a oxidação da estrutura metálica pode promover a liberação de partículas de óxidos de ferro para o ambiente, contribuindo para alterações na composição da água e, consequentemente, influenciando os valores de turbidez observados. Dessa forma, a avaliação da turbidez torna-se relevante para compreender possíveis alterações físico-químicas associadas à permanência da embarcação no ecossistema costeiro. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 2, juntamente com os valores de turbidez de referência descritos na literatura para a Plataforma Continental do Maranhão.

Tabela 2: Valores de turbidez descritos na literatura qual para a Plataforma Continental do Maranhão e para as amostras da praia de Tutóia.

Amostra	Turbidez (NTU)	Águas superficiais da Plataforma Continental Maranhão, Brasil / Interpretação (Azevedo et al., 2014)	
		Turbidez mínima	Turbidez máxima
1- Interior do navio	1,27	0 a 5,8 NTU	24,5 a 37,0 NTU
2- Área de banho (lado leste)	3,17		
3- Próxima ao navio (lado oeste)	1,02	Menores valores observados nas estações mais afastadas da costa.	Maiores valores observados nas estações próximas da costa.
4- Área de banho (lado oeste)	3,17		

Fonte: Autoria própria (2026) e adaptado de Azevedo et al. (2014).

Para os estudos realizados na Plataforma Continental do Maranhão os resultados demonstraram valores de turbidez variando entre 0,0 e 37,0 NTU, sendo os maiores registros observados nas áreas mais próximas da costa em decorrência da influência de aportes continentais e da presença de material particulado em suspensão (Azevedo et al., 2014). Já os valores de turbidez para a praia da barra, em Tutóia -MA, variam entre 1,02 NTU (no interior do navio/área mais afastada da costa) e 3,17 NTU na área de banho (área costeira). Esse resultado indica que os valores obtidos se encontram dentro da faixa naturalmente observada

para ambientes marinhos costeiros do litoral maranhense, sugerindo baixa concentração de material particulado em suspensão na área próxima aos destroços.

Entretanto, a maior turbidez registrada na área de banho, quando comparada à área próxima ao navio, pode estar associada ao acúmulo de sedimentos, matéria orgânica ou devido à praia ser próxima ao mangue.

Dessa forma, embora os valores observados não indiquem alterações expressivas na qualidade da água, a diferença entre os pontos de coleta evidencia a necessidade de considerar a influência local do navio Aline Ramos e a importância do monitoramento contínuo da área para uma melhor compreensão dos processos físico-químicos relacionados ao ambiente costeiro daquela região.

4.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é um importante parâmetro físico-químico utilizado na avaliação da qualidade da água, pois expressa o grau de acidez ou alcalinidade do meio aquático. Sua variação pode influenciar diversos processos químicos e biológicos, como a solubilidade de compostos, a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbológica e os processos de corrosão de estruturas metálicas (ESTEVES, 2011).

Para fins de comparação, foram utilizados os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salinas de Classe 1 (águas destinadas à recreação de contato primário, como banho, mergulho e natação; à proteção das comunidades aquáticas; à aquicultura e à atividade de pesca), que recomenda valores de pH entre 6,5 e 8,5, não devendo ocorrer uma alteração superior a 0,2 unidade em relação ao pH natural do corpo hídrico, mantendo características adequadas para a vida marinha (BRASIL, 2005). Ressalta-se que a utilização desse parâmetro possui caráter comparativo, uma vez que não se confirma, neste estudo, o enquadramento oficial da área da Praia da Barra, em Tutóia-MA, como água salina Classe 1.

Conforme apresentado na Tabela 3, os valores de pH obtidos para as amostras coletadas na área de estudo variaram entre 5,55 e 7,12, evidenciando diferenças entre os pontos de amostragem. A amostra coletada no interior do navio Aline Ramos apresentou o menor valor de pH (5,55), seguida da amostra coletada próxima ao navio no lado oeste (6,05). Já as amostras coletadas na área de banho no lado oeste (6,71) e na área de banho (7,12) apresentaram valores compatíveis com a faixa de referência estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

A Tabela 3: Valores de pH determinados para as amostras coletadas na área de estudo, permitindo a comparação entre os diferentes pontos analisados.

Amostra	pH	Comparação / Interpretação
1 - Interior do navio	5,55	Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005. pH: 6,5 a 8,5
2 - Área de banho (lado leste)	6,71	
3 - Próxima ao navio (lado oeste)	6,05	
4 - Área de banho (lado oeste)	7,12	

Fonte: Autoria própria (2026); adaptado de CONAMA (2005).

Observa-se um aumento gradual dos valores de pH do interior da embarcação em direção à área de banho, indicando um gradiente espacial de acidez entre os pontos analisados. Essa diferença pode estar relacionada às condições específicas existentes no interior do navio, como menor renovação da água devido ao ambiente mais confinado, acúmulo de sedimentos e matéria orgânica e maior atividade microbiológica. Esses fatores podem favorecer a produção de compostos ácidos decorrentes da decomposição da matéria orgânica, contribuindo para a redução do pH da água (ESTEVES, 2011).

Além disso, a presença da estrutura metálica do navio exposta ao ambiente marinho favorece a ocorrência de processos de corrosão, os quais promovem alterações nas condições químicas locais, podendo formar microambientes com valores de pH distintos daqueles observados nas águas adjacentes (GENTIL, 2011). Entretanto, não é possível atribuir exclusivamente a redução do pH à corrosão da embarcação, pois outros fatores naturais, como a dinâmica das marés, o aporte de materiais provenientes do continente e a própria heterogeneidade do ambiente costeiro, também podem influenciar esse parâmetro.

Dessa forma, os resultados sugerem que a região interna do navio Aline Ramos apresenta características físico-químicas diferenciadas em relação às áreas externas, especialmente quanto à maior acidez observada. Esses dados reforçam a importância da realização de estudos complementares envolvendo outros parâmetros físico-químicos, como a concentração de ferro dissolvido, além de análises microbiológicas, para compreender de forma mais abrangente a influência da embarcação sobre a qualidade ambiental da Praia da Barra, em Tutóia–MA.

4.3 Caracterização Microbiológica

A avaliação microbiológica da qualidade da água é de grande importância para a identificação da presença de microrganismos indicadores de contaminação, principalmente aqueles associados à origem fecal. Os coliformes totais correspondem a um grupo de bactérias amplamente distribuídas no ambiente, podendo ser encontradas no solo, na vegetação, em águas naturais e no trato intestinal de animais de sangue quente. Dessa forma, sua presença na água não está necessariamente associada à contaminação fecal, sendo necessária a avaliação de microrganismos mais específicos, como os coliformes termotolerantes, para uma indicação mais precisa da contaminação por resíduos fecais (APHA, 2017; VON SPERLING, 2014). Para fins comparativos, foi utilizado o valor de referência estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salinas (Tabela 4), que considera, para determinados usos, a concentração de até 1.000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas ao longo de um período de um ano (BRASIL, 2005).

Tabela 4: Padrões de Coliformes Termotolerantes para Águas Salinas Classe 1 segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005

Parâmetro	Padrão CONAMA 357/2005	Interpretação
Coliformes termotolerantes (demais usos)	$\leq 1.000/100$ mL em 80% ou mais das amostras	Indica qualidade aceitável para os usos previstos na legislação.
Coliformes totais	Não há limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005	-

Fonte: Adaptado de CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises microbiológicas realizadas nas amostras coletadas na Praia da Barra, em Tutóia–MA. Verifica-se que os valores de Coliformes Totais variaram entre 310 e 333 NMP/100 mL nos diferentes pontos de coleta, demonstrando a presença desses microrganismos em toda a área analisada. Entretanto, esses resultados não podem ser classificados como satisfatórios ou insatisfatórios com base na Resolução CONAMA nº 357/2005, uma vez que essa legislação não estabelece valores máximos permitidos para coliformes totais em águas salinas, sendo esse parâmetro utilizado como uma informação complementar na caracterização microbiológica da água (BRASIL, 2005).

Tabela 5: Dados das análises microbiológicas

Amostra	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Padrão (NMP/100 mL)	Situação
1- Interior do navio	333	2.400	1.000	Insatisfatória
2- Área de banho (lado oeste)	310	< 3	1.000	Satisfatória
3- Próxima ao navio (lado oeste)	333	2.400	1.000	Insatisfatória
4 - Área de banho (lado oeste)	310	< 3	1.000	Satisfatória

Fonte: Autoria Própria, 2026

Em relação aos coliformes termotolerantes, observou-se uma diferença entre os pontos analisados. As amostras coletadas no interior do navio (ponto 1) e na região próxima ao navio, no lado oeste (ponto 3) apresentaram valores de 2.400 NMP/100 mL, ultrapassando o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA que estabelece valor máximo de 1.000 NMP/100 mL para águas destinadas à recreação de contato primário. Esses resultados indicam condição microbiológica insatisfatória, sugerindo possível contaminação decorrente da decomposição de matéria orgânica, presença de resíduos acumulados. Já as amostras coletadas próximas ao navio no lado leste (ponto 2) e na área de banho (ponto 4) apresentaram valores inferiores a 3 NMP/100 mL.

Embora os valores observados nos pontos 1 e 3 sejam superiores ao valor de referência, deve-se considerar que o presente estudo foi realizado a partir de uma única campanha de coleta, não sendo possível afirmar o enquadramento definitivo da área quanto à sua condição microbiológica, pois a própria Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece esse critério considerando pelo menos 6 amostras coletadas ao longo de um ano, com frequência bimestral.

A maior concentração de coliformes termotolerantes observada no interior do navio e na área próxima ao lado oeste indica a existência de condições locais favoráveis à permanência

desses microrganismos. Esse comportamento pode estar relacionado à menor circulação da água no interior da embarcação, ao acúmulo de sedimentos e matéria orgânica, bem como ao transporte de contaminantes pela dinâmica das correntes e marés. Entretanto, não é possível atribuir diretamente a presença dos coliformes ao processo de corrosão da estrutura metálica do navio, uma vez que esses microrganismos estão associados principalmente à contaminação de origem fecal humana ou animal (VON SPERLING, 2014).

Os resultados obtidos evidenciam uma heterogeneidade na distribuição microbiológica da área de estudo, demonstrando que regiões próximas à estrutura do navio podem apresentar condições ambientais distintas das observadas na área de banho. Nesse sentido, recomenda-se a realização de campanhas de monitoramento em diferentes períodos do ano e em diferentes condições de maré, permitindo uma avaliação mais representativa da qualidade microbiológica da água e da influência dos fatores ambientais locais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostraram que os pontos de coleta localizados no interior e nas proximidades do navio apresentaram os maiores índices de contaminação microbiológica. As análises indicaram concentrações elevadas de coliformes termotolerantes nessas amostras, com valores acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Esses resultados demonstram que essas áreas apresentam condições microbiológicas inadequadas para atividades de recreação de contato primário, indicando a necessidade de maior atenção quanto à qualidade da água nesses locais.

Em relação aos parâmetros físico-químicos, a temperatura da água apresentou valor de 30 °C, ligeiramente superior ao encontrado na literatura para as águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão. No entanto, esse resultado pode estar relacionado às condições climáticas observadas durante a coleta, realizada em um dia ensolarado. Os valores de turbidez encontrados foram baixos e apresentaram comportamento semelhante ao descrito em estudos realizados na costa maranhense.

Quanto ao pH, observou-se que as amostras coletadas no interior do navio e em áreas mais próximas à embarcação apresentaram valores abaixo dos recomendados pela legislação ambiental. Esse resultado pode estar associado aos processos de corrosão da estrutura metálica, que permanece exposta há décadas às condições naturais do ambiente marinho, como salinidade elevada, umidade e ação constante da água do mar.

A comparação dos resultados com os dados da literatura e com os padrões estabelecidos pela legislação permitiu verificar que a presença prolongada do navio pode estar influenciando a

qualidade da água em seu entorno, principalmente em relação aos parâmetros microbiológicos e ao pH. Embora este estudo não permita afirmar todos os impactos ambientais causados pela embarcação, os resultados obtidos indicam a importância de acompanhar continuamente as condições ambientais da área.

Por fim, recomenda-se a realização de novos estudos que incluam análises de ferro dissolvido e de outros elementos que possam estar sendo liberados pela corrosão da estrutura metálica. Além disso, o monitoramento periódico dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos poderá contribuir para uma melhor compreensão das alterações ambientais observadas e fornecer informações importantes para a preservação da Praia da Barra e dos recursos naturais da região de Tutóia – MA.

No processo de elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso, foi utilizada uma ferramenta de inteligência artificial para fins de revisão gramatical, organização do texto e da clareza da escrita, o conteúdo foi revisado criticamente pela autora.

REFERÊNCIAS

- MARINHA DO BRASIL. *Ciências do Mar: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil*. Brasília: SECIRM, 2024
- AZEVEDO, I. H. R. et al. Estudo hidroquímico das águas superficiais da Plataforma Continental do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5., 2014, Itajaí. Anais [...] Itajaí: Associação Brasileira de Oceanografia, 2014.
- Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/399615284_ESTUDO_HIDROQUIMICO_DAS_AGUAS_SUPERFICIAIS_DA_PLATAFORMA_CONTINENTAL_DO_MARANHAO. Acesso em: 11 jul. 2026.
- ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- BRASIL MERGULHO. Naufrágios no Maranhão. Disponível em:
<https://www.brasilmergulho.com/naufragios-no-maranhao/>. Acesso em: 9 jul. 2026.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF, 2017.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- CALAZANS, D. K. (Org.). Estudos Oceanográficos: do instrumental ao prático. Rio Grande: Editora da FURG, 2011.
- ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- GENTIL, V. Corrosão. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- HAMILTON, W. A. Sulphate-reducing bacteria and anaerobic corrosion. Annual Review of Microbiology, Palo Alto, v. 29, p. 195-217, 1975.
- PANNONI, F.D. ; Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio. 2. ed. São Paulo: Gerdau Açominas, 2004

. A possível literature que pode ser atribuída são: PANOSSIAN, Z. Corrosão e Proteção Contra Corrosão em Equipamentos e Estruturas Metálicas. São Paulo: IPT, 1993 ou LINS, V. F. C. et al. Avaliação da corrosão de aços em atmosfera marina. Rem: Revista Escola de Minas, v. 60, n. 4, 2007.)

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

LEGISLAÇÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA:

Ministério da Saúde Portarias de N° 518/2004 e Portaria 2.914/2011

BEECH, I. B.; SUNNER, J. Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 15, n. 3, p. 181-186, 2004.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. Rome: FAO, 2022.

HARRIS, D. C. *Análise química quantitativa*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. *Monthly Weather Review*, v. 112, n. 6, p. 1097-1107, 1984.

KILDOW, J. T.; MCILGORM, A. The importance of estimating the contribution of the oceans to national economies. *Marine Policy*, v. 34, n. 3, p. 367-374, 2010.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016.

G1 MARANHÃO. Aline Ramos: conheça a história do navio encalhado em praia maranhense. São Luís, 19 ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/vem-ver-pequeno/noticia/2021/08/19/aline-ramos-conheca-a-historia-do-navio-encalhado-em-praia-maranhense.ghtml>. Acesso em: 16 jul. 2026.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, 1996.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Fundamentos de química analítica*. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

VIDELA, H. A.; HERRERA, L. K. Microbiologically influenced corrosion: looking to the future. *International Microbiology*, v. 8, n. 3, p. 169-180, 2005.

APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 24. ed. Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 18 mar. 2005.

ESTEVES, Francisco de Assis. *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

MELCHERS, Robert E.; WELLS, Tom. The effects of water pollution on the immersion corrosion of mild and low alloy steels. *Corrosion Science*, v. 49, n. 8, p. 3149-3167, 2007.

PEREIRA, Renato Crespo; SOARES-GOMES, Abílio (org.). *Biologia marinha*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2021.