



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

KARLA REBECA SILVA DA LUZ

**CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA MARGEM EQUATORIAL NORTE E
NORDESTE BRASILEIRA**

SÃO LUÍS/MA

2025

KARLA REBECA SILVA DA LUZ

**CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA MARGEM EQUATORIAL NORTE E
NORDESTE BRASILEIRA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão para a
obtenção do grau em bacharelado em
Oceanografia.

Orientador (a): Profa. Dra. Samara Aranha
Eschrique.

SÃO LUÍS/MA

2025

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

Luz, Karla Rebeca Silva da.

Caracterização Hidroquímica da Margem Equatorial Norte
e Nordeste Brasileira / Karla Rebeca Silva da Luz. - 2025.
79 f.

Orientador(a): Samara Aranha Eschrique.

Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís - Ma, 2025.

1. Rio Amazonas. 2. Golfão Maranhense. 3.
Nutrientes. 4. Exploração de Petróleo. 5. Oligotrófico.
I. Eschrique, Samara Aranha. II. Título.

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA MARGEM EQUATORIAL NORTE E NORDESTE BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão para a
obtenção do grau em bacharelado em
Oceanografia.

APROVADO (A) EM: 17/08/2025

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Samara Aranha Eschrique (Orientadora)
Departamento de Oceanografia e Limnologia/UFMA

Prof. Dr. Adilson Matheus Borges Machado (Membro Interno)
Universidade Federal do Maranhão – UFMA/Campus Pinheiro

Profa. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos (Membro Externo)
Universidade Federal da Amazônia - UFRA

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu querido Jesus, por ter me ensinado o valor da fé, da paciência e da perseverança. Foi Ele quem semeou em meu coração o sonho de me tornar uma oceanógrafa. Sem Sua presença e direção, nada disso teria sido possível. Sei que Ele estava comigo em cada noite virada, lágrimas silenciosas e pequenos passos dados com coragem. Que essa conquista seja apenas o começo.

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou com amor e firmeza ao longo da minha estrada acadêmica. Em especial, agradeço à minha mãe Rosângela, meu pai Carlos e minha tia e “boadrasta” Carla. Seus conselhos, incentivos constantes e investimentos foram fundamentais para que eu pudesse concluir este ciclo. Obrigada por caminharem ao meu lado e acreditarem em mim.

Aos meus irmãos Mateus e Ana Ester, agradeço pelos momentos de risadas e pelo suporte. Obrigada por estarem sempre por perto.

À minha orientadora, Samara Aranha Eschrique, minha querida mãe científica, agradeço pela orientação dedicada, pela paciência, palavras de carinho e conselhos, e por acreditar na minha capacidade, mesmo quando eu mesma duvidei. Seu tempo e esforço foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

À coordenadora do curso, Katiene Régia Silva Sousa, minha gratidão especial por ter me ensinado estatística de forma generosa, mesmo entre múltiplos compromissos da coordenação. Suas explicações na própria sala e nos momentos disponíveis, foram fundamentais para minha compreensão e desenvolvimento acadêmico.

Aos professores do departamento de Oceanografia – DEOLI/UFMA, deixo minha gratidão por cada aula, incentivo e oportunidade. Cada ensinamento contribuiu para minha formação científica.

Ao Laboratório de Biogeociclos dos Constituintes Químicos da Água – LABCICLOS, obrigada pelo acolhimento e trocas enriquecedoras. Agradeço a minha querida veterana Ana Laura por cada ensinamento, aos meus amigos de laboratório Moisés, Maristela, Andrey e Micael, pela ajuda nas análises e por tornarem os dias mais leves.

Agradeço, em especial, à técnica do laboratório LABCICLOS e grande amiga Suzy, que além de me ensinar diariamente sobre química analítica com dedicação e generosidade, compartilhou comigo conversas leves e aleatórias que tornaram a rotina muito mais agradável. Sua presença foi um presente nesta caminhada.

Aos meus amigos de graduação, que caminharam comigo entre risos, prazos e desafios, meu carinho especial. Obrigada por fazerem parte dessa jornada.

Agradeço aos funcionários do departamento de oceanografia e limnologia, em especial a secretária do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Yasmin, por cada conversa e incentivo pensando no futuro. Obrigada por acreditar em mim, sua amizade foi fundamental na reta final.

Ao núcleo da UFMA, o Farol, agradeço profundamente por ter sido um lugar de renovação e fortalecimento da fé. Gratidão especialmente a Samara e Stefany, por nunca desistirmos e nos mantermos firmes no propósito de Deus.

Aos meus líderes de célula, Danilo e Marcela e cada amigo da igreja, sou profundamente grata. As orações, palavras de ânimo e companhia ao longo da jornada fizeram toda a diferença. À minha igreja, IBA, deixo meu reconhecimento e carinho por ser refúgio espiritual e lugar onde fui continuamente edificada e fortalecida no Senhor.

Ao Navio Ciências do Mar II, registro meu sincero agradecimento por ter possibilitado a realização das coletas que fundamentaram este estudo. Vivenciar cada campanha embarcada foi uma experiência transformadora e essencial para minha formação enquanto oceanógrafa.

À minha prima Gabriele, que sempre acreditou em mim, meu agradecimento cheio de amor. Obrigada por ser abrigo, incentivo e esperança, mesmo que remotamente.

Ao meu melhor amigo e companheiro de quatro patas, Fred, agradeço por estar ao meu lado silenciosamente durante os momentos solitários da escrita. Sua presença constante, fiel e carinhosa foi testemunha dos surtos, lágrimas e dos avanços.

Por fim, agradeço novamente a Jesus, pois Ele é meu começo, meio e fim, que me sustentou todos os dias, me ouviu nas madrugadas, enxugou minhas lágrimas e renovou minhas forças quando pensei em desistir. Que toda honra, glória e gratidão sejam dadas à Ele.

EPÍGRAFE

“Eu só tento fazer as pessoas entenderem o mar, não amá-lo.”

Jacques Yves Cousteau

RESUMO

A plataforma continental (PC) é considerada uma zona de transição entre ambientes costeiros e oceânicos, caracterizada pela influência simultânea de processos continentais e hidrodinâmicos. A área de estudo deste trabalho compreende uma porção da plataforma continental dos estados do Pará, Maranhão e Ceará, localizados dentro da Margem Equatorial Norte-Nordeste Brasileira (MEB) e compreendendo as bacias sedimentares do Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e do Ceará, delimitadas pela legislação das Zonas Econômicas Exclusivas (ZEE). O objetivo deste estudo compreendeu em caracterizar a distribuição dos parâmetros hidroquímicos na água superficial ao longo de três radiais (PCPA, PCMA e PCCE) perpendiculares à costa norte e nordeste do Brasil, durante a estação sazonal chuvosa, visando contribuir com informações dos recursos naturais na MEB e na PC, que equilibre interesses exploratórios com a conservação ambiental. As amostras na PCPA foram coletas no ano de 2023 em oito pontos, na PCMA no ano de 2014 em sete pontos, e na PCCE no ano de 2024 em 5 pontos, considerando o limite externo de cada PC. A temperatura da água, salinidade, condutividade, sólidos totais dissolvidos (TDS), pH, oxigênio dissolvido e percentual de saturação do oxigênio dissolvido foram obtidos *in situ* por meio da Sonda HANNA HI 98494. O oxigênio dissolvido para a PCMA foi determinado pela metodologia de Strickland e Parsons (1972), considerando o método analítico iodométrico de Winkler (1988). A determinação do material particulado em suspensão (MPS) foi realizada pelo método APHA (2001), segundo Strickland e Parsons (1972). As concentrações do silicato, fosfato e nitrito dissolvidos na água foram determinadas pelo método colorimétrico de acordo com Grasshoff et al. (1999). Os parâmetros hidroquímicos nas plataformas apresentaram um gradiente esperado para as condições de mudança costa-oceano no período chuvoso nas regiões, refletindo os processos continentais na plataforma interna, uma zona de mistura na plataforma intermediária e características marinhas na plataforma externa. Com relação a disponibilidade dos nutrientes, foi observado na PCCE predominância de características oligotróficas para fosfato e nitrito, com médias de $0,02 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $0,04 \mu\text{mol L}^{-1}$ respectivamente, enquanto na PCPA apresentou enriquecimento de silicato comparado as demais, com média de $21,33 \mu\text{mol L}^{-1}$, indicando a influência do aporte de rios nessas regiões e apontando condições favoráveis para atividades fotossintetizantes. No geral, as PC's estudadas apresentaram condições de um ambiente natural para plataformas continentais localizadas em região equatorial. Em adição, este estudo contribuiu para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, em especial o ODS 14 - "Vida na água" e com conhecimento sobre as regiões que possam servir de suporte para os

gestores e governos locais, sobretudo para o Plano Maranhão 2050, como subsídio para fomentar políticas públicas e estratégias de gestão, que possam mitigar os efeitos negativos da exploração de petróleo e gás natural na MEB.

Palavras-chave: Rio Amazonas; Golfão Maranhense; Nutrientes; Exploração de petróleo; Oligotrófico.

ABSTRACT

The continental shelf (CP) is considered a transition zone between coastal and oceanic environments, characterized by the simultaneous influence of continental and hydrodynamic processes. The study area of this work comprises a portion of the continental shelf of the states of Pará, Maranhão, and Ceará, located within the Brazilian North-Northeast Equatorial Margin (MEB) and encompassing the sedimentary basins of the Amazon River Mouth, Pará-Maranhão, and Ceará, delimited by the Exclusive Economic Zones (EEZ) legislation. The objective of this study is to characterize the distribution of hydrochemical interferences in surface water along three radials (PCPA, PCMA, and PCCE) perpendicular to the north and northeast coast of Brazil during the rainy season, contributing information on natural resources in the MEB and CP, balancing exploratory interests with environmental conservation. Samples were collected at eight points in PCPA in 2023, seven points at PCMA in 2014, and five points at PCCE in 2024, considering the outer limit of each PC. Water temperature, salinity, conductivity, total dissolved solids (TDS), pH, dissolved oxygen, and percent dissolved oxygen saturation were obtained in situ using a HANNA HI 98494 probe. Dissolved oxidation for PCMA was determined by the methodology of Strickland and Parsons (1972), considering the iodometric analytical method of Winkler (1988). The determination of suspended particulate matter (SPM) was performed by the APHA method (2001), according to Strickland and Parsons (1972). The concentrations of silicate, phosphate, and nitrite distributed in the water were determined by the colorimetric method according to Grasshoff et al. (1999). Hydrochemical interventions on the shelves showed a gradient expected for coastal-oceanic change conditions during the rainy season in these regions, reflecting continental processes on the inner shelf, a mixing zone on the distributed shelf, and marine characteristics on the outer shelf. Regarding nutrient availability, oligotrophic characteristics were observed in the PCCE for phosphate and nitrite, with averages of $0.02 \mu\text{mol L}^{-1}$ and $0.04 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectively. While the PCPA showed silicate enrichment compared to the others, with an average of $21.33 \mu\text{mol L}^{-1}$, indicating the influence of river transport in these regions and targeting specific conditions for photosynthetic activity. Overall, the PCs studied reflect natural environmental conditions for continental shelves located in the equatorial region. Furthermore, this study contributed to the UN Sustainable Development Goals, especially SDG 14 - "Life below water" and with knowledge about the regions, especially for the Maranhão 2050 Plan, that can serve as support for managers and local

governments, as a subsidy to promote public policies and management strategies, which can mitigate the negative effects of oil and natural gas exploration in the MEB.

Key words: Amazon River; Maranhão Gulf; Nutrients; Oil exploration; Oligotrophic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das bacias sedimentares onde estão situadas as plataformas continentais dos estados do Pará (PCPA), Maranhão (PCMA) e Ceará (PCCE).	21
Figura 2. Localização dos pontos de coleta nas Plataformas Continentais dos Estados do Pará (PCPA), Maranhão (PCMA) e Ceará (PCCE).	27
Figura 3. Equipamentos utilizados na coleta de água: (A) Embarcação “Ciências do Mar II”; (B) Garrafa de <i>Niskin</i> na <i>Rosset</i> ; (C) Coleta de água; (D) Armazenamento das amostras de MPS; (E) Multiparâmetro HANNA HI 98494 para a medição dos parâmetros hidroquímicos; (F) Determinação do oxigênio dissolvido pelo método de Winkler.	28
Figura 4. Curvas de maré (m) registradas na PCPA (a), PCMA (b) e PCCE (c) no período chuvoso. As barras representam o intervalo de coleta durante o ciclo da maré.	35
Figura 5. Distribuição superficial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) registrada nas PC's deste estudo.	38
Figura 6. Distribuição superficial de salinidade (g kg^{-1}) registradas nas PC's deste estudo. ...	40
Figura 7. Distribuição de superficial condutividade (mS cm^{-1}) registradas nas PC's deste estudo.	43
Figura 8. Distribuição superficial de TDS (g L^{-1}) nas PC's registradas neste estudo.	45
Figura 9. Distribuição superficial de pH nas PC's registradas neste estudo.	47
Figura 10. Distribuição superficial de OD (mg L^{-1}) registradas nas PC's deste estudo.	49
Figura 11. Distribuição superficial de %OD registradas nas PC's deste estudo.	51
Figura 12. Distribuição superficial de MPS (mg L^{-1}) registrada nas PC's deste estudo.	53
Figura 13. Distribuição superficial de silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) registrada nas PC's deste estudo. .	55
Figura 14. Distribuição superficial de fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) superficial registrada nas PC's deste estudo.	57
Figura 15. Distribuição superficial de nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$) superficial registrada nas PC's deste estudo.	60
Figura 16. Análise de Componentes Principais (ACP) para a PCPA.	65
Figura 17. Análise de Componentes Principais (ACP) para a PCMA.	66
Figura 18. Análise de Componentes Principais (ACP) para a PCCE.	67
Figura 19. Dendrograma de cluster resultante da análise de agrupamento para verificar a dissimilaridade das PC's.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores mínimos, máximos, médios, medianas e desvio padrão de parâmetros hidroquímicos das Plataformas Continentais dos estados do Pará (PCPA), Maranhão (PCMA) e Ceará (PCCE).	37
Tabela 2. Valores estatísticos do teste de Shapiro-Wilk, ANOVA, Kruskal-Wallis e diferenças significativas para PCPA, PCMA e PCCE. Os dados sublinhados e em negrito indicam a distribuição não normal.	63

LISTA DE SIGLAS E UNIDADES

%OD – Saturação do Oxigênio Dissolvido.

$\mu\text{mol L}^{-1}$ – Micromol por litro.

ACP – Análise dos Componentes Principais.

ANOVA – Análise de Variância.

APHA – *American Public Health Association*.

AT – Água Tropical do Atlântico Sul

CE – Ceará.

CNB – Corrente Norte do Brasil.

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

DEOLI – Departamento de Oceanografia e Limnologia.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação.

et al. – Entre outros.

g kg^{-1} – Gramas por quilogramas.

m – Metros.

MA – Maranhão.

MEB – Margem Equatorial Brasileira

mg L^{-1} – Miligramas por Litro.

ml – Mililitro.

mS cm^{-1} – Milisiemens por centímetro.

MO – Matéria Orgânica

MPS – Material Particulado em Suspensão

NO₂ – Nitrito.

NTU – Unidades Nefelométricas de Turbidez.

°C – Graus *Celsius*.

OD – Oxigênio Dissolvido.

PA – Pará.

PC – Plataforma Continental

PCPA – Plataforma Continental do Pará

PCCE – Plataforma Continental do Ceará

PCMA – Plataforma Continental do Maranhão

pH – Potencial Hidrogeniônico.

PO_4^{-3} – Fosfato.

SiO_4 – Silicato.

TDS – Sólidos Totais Dissolvidos

TSS – Totais Sólidos em Suspensão

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

UFMA – Universidade Federal do Maranhão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1. OBJETIVO GERAL	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1. MARGEM EQUATORIAL	21
3.2. PLATAFORMA CONTINENTAL	22
3.2.1. Plataforma Continental do Pará (PCPA)	23
3.2.2. Plataforma Continental do Maranhão (PCMA)	24
3.2.3. Plataforma Continental do Ceará (PCCE).....	25
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1. COLETA DE DADOS	26
4.2. VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS.....	27
4.3. DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	29
4.3.1. Oxigênio Dissolvido (OD)	29
4.3.2. Material Particulado em Suspensão (MPS)	30
4.3.3. Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos	30
4.4. PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS	32
4.4.1. Dados Pluviométricos	32
4.4.2. Dados de Maré.....	32
4.5. ANÁLISE DE DADOS	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E HIDRODINÂMICOS.....	33
5.2. PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS.....	36
5.2.1. Temperatura da Água	38
5.2.3. Salinidade.....	40

5.2.3. Condutividade	42
5.2.3. Sólidos Totais Dissolvidos – TDS	44
5.2.4. pH	46
5.2.5. Oxigênio Dissolvido – OD	48
5.2.6. Saturação do OD	51
5.2.7. Material Particulado em Suspensão – MPS	53
5.2.8. Silicato	55
5.2.9. Fosfato	57
5.2.10. Nitrito	60
5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	62
6. CONCLUSÃO	70
7. REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

A importância do oceano na atualidade tem sido cada vez mais reconhecida no cenário global, especialmente através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), em particular o ODS 14, “Vida na Água”, que enfatiza a necessidade urgente de reduzir a poluição marinha, conservar ecossistemas aquáticos e promover o uso sustentável dos recursos oceânicos. As iniciativas como a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030), coordenada pela Comissão Oceanográfica Internacional da UNESCO, reforçam o papel da ciência na construção de um futuro sustentável para os oceanos (Almeida et al., 2023).

Nesse contexto, surge o conceito de Economia Azul, que propõe o crescimento econômico aliado à conservação marinha, envolvendo setores como pesca, turismo, transporte marítimo e exploração *offshore* de recursos naturais (Brasil, 2022). Com base na definição do Banco Mundial, a Economia Azul busca integrar as dimensões ambiental, social e econômica, promovendo o uso sustentável dos ambientes marinhos e costeiros sem comprometer a integridade dos ecossistemas (Borges, 2024).

Assim, no Brasil, a plataforma continental e a margem equatorial brasileira são territórios de grande importância ecológica e econômica para o país. Estas regiões se formaram durante o processo de separação dos continentes sul-americano e africano por meio de falhas transcorrentes que moldaram a costa Atlântica, incorporando características biogeoquímicas específicas (Santos, 2023). Além de abrigarem uma rica biodiversidade marinha, essas zonas são fundamentais para a atividade pesqueira, o equilíbrio dos ecossistemas costeiros e o transporte de massas d'água que influenciam o clima e a produtividade primária.

Em relação a margem equatorial sul americana, no qual é definida pelas fronteiras marítimas dos países Venezuela, Suriname, Guiana, Guiana Francesa e do Brasil, delimitadas pela legislação das Zonas Econômicas Exclusivas (ZEE), onde cada país tem autonomia exclusiva para utilização econômica dos recursos marítimos, a Margem Equatorial Brasileira (MEB) é uma região oceânica e geológica situada ao longo da costa norte-nordeste do país, também delimitada por essa legislação. Esta área compreende cinco bacias sedimentares: a Bacia da Foz do Amazonas, a Bacia do Pará-Maranhão, a Bacia de Barreirinhas, a Bacia do Ceará e a Bacia Potiguar, todas propícias à formação de hidrocarbonetos (Rio, 2023).

A área offshore sob jurisdição brasileira, denominada Amazônia Azul de acordo com a Marinha do Brasil, representa uma zona estratégica de exploração econômica, especialmente

pela presença de expressivas reservas de petróleo e gás natural (Araújo, 2023). Essa região, cuja importância é comparada à da Floresta Amazônica, devido à sua riqueza natural, abriga as reservas do pré-sal, que atualmente despertam grande interesse econômico e político, sobretudo nas regiões norte e nordeste do país. No entanto, a maior parte da produção desses recursos ainda se concentra nos estados situados entre o Espírito Santo e Santa Catarina, responsáveis por aproximadamente 85% da produção de petróleo e 75% da de gás natural (Corado; Santos, 2024).

No contexto da MEB, destaca-se a importância da Plataforma Continental (PC), cuja delimitação segue os critérios estabelecidos pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS) e pelo Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC). A PC é definida como uma extensão submersa do continente, que se projeta desde a linha de costa até o talude continental (Gruber; Nicolodi, 2003), podendo alcançar profundidades de até 200 metros. Sua largura é variável ao longo do litoral brasileiro, refletindo características geológicas e oceanográficas distintas (Santos, 2023).

De igual modo, a plataforma continental é considerada uma zona de transição entre os ambientes costeiro e oceânico, caracterizando-se pela influência simultânea de processos continentais e hidrodinâmicos (Figueiredo et al., 2016). Sua feição sofre variações ao longo do tempo geológico, principalmente em função das oscilações do nível médio do mar. Conjuntamente, essa região exerce um papel essencial na mediação dos ciclos biogeoquímicos, atuando como um elo importante na troca de matéria e energia entre o continente e o oceano (Oliveira *et al.*, 2023).

Bem como, a dinâmica física da plataforma continental é representada por correntes geostróficas, ressurgência costeira e marés, onde o movimento associado ao Sol e a Lua causam elevação no nível do mar ao longo de toda a costa, podendo obter variações de aproximadamente 8 metros nas regiões da foz do Rio Amazonas e na Baía de São Marcos no Maranhão, que inevitavelmente interagem com as áreas adjacentes (Oliveira *et al.*, 2023). Além disso, a plataforma continental brasileira abrange diversas zonas climáticas, cujas influências se manifestam tanto na área continental quanto no aporte de cargas líquidas e sólidas aos ambientes costeiros e até mesmo os oceânicos, moldando diretamente os sistemas hidrográficos de cada plataforma (Szczipanski, 2021).

Em virtude da crescente exploração de recursos naturais e a intensificação das atividades antrópicas na PC do país, a necessidade de analisar o estado ambiental desses ecossistemas costeiros tem se intensificado. Visto que há uma lacuna no conhecimento sobre a

hidroquímica antes da exploração destes recursos, especialmente no que diz a respeito sobre a qualidade da água e à saúde dos ecossistemas marinhos (Almeida *et al.*, 2023).

Considerando esse quadro, as Plataformas Continentais dos estados do Pará, Maranhão e Ceará estão inclusas na Margem Equatorial Brasileira, sendo zonas alvo para a exploração offshore, com importâncias econômicas, sociais e ambientais. Obter uma abordagem íntegra dos corpos e cursos d'água, da biodiversidade e da economia é necessária para uma gestão e planejamento dos recursos hídricos, visando conciliar a produção com a preservação ambiental (Silveira *et al.*, 2020).

Adicionalmente, é pertinente ressaltar que, no estado do Maranhão, foi instituído o Plano Maranhão 2050 aprovado por meio de legislação em 2024. No qual teve a finalidade de formular estratégias voltadas à promoção do desenvolvimento socioeconômico e à ampliação de oportunidades para a população maranhense, mediante a atuação integrada entre o poder público, o setor privado, a sociedade civil e a comunidade acadêmica. Entre seus objetivos, o plano complementa a valorização e a resiliência do meio ambiente, por meio da implementação de projetos orientados pela perspectiva da sustentabilidade (Maranhão 2050, 2022).

Sendo assim, a compreensão e análise interdisciplinar do comportamento do ambiente é essencial não apenas para entender os impactos atuais, mas também para informar políticas públicas e estratégias de gestão que possam mitigar os efeitos negativos da exploração de petróleo e gás natural.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Caracterizar os parâmetros físicos e químicos da água e as condições ambientais da Plataforma Continental Brasileira, ao longo de três radiais distribuídos perpendicularmente na costa norte e nordeste do Brasil, durante a estação sazonal chuvosa, visando contribuir com informações dos recursos naturais na MEB e na PC, que equilibre interesses exploratórios com a conservação ambiental.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da Plataforma Continental do Pará, Maranhão e do Ceará;
- Correlacionar os parâmetros hidroquímicos com as condições ambientais de cada região;
- Analisar a vulnerabilidade ambiental das PC's estudadas diante dos interesses antrópicos para a exploração de petróleo offshore.

3. REVISÃO DE LITERATURA

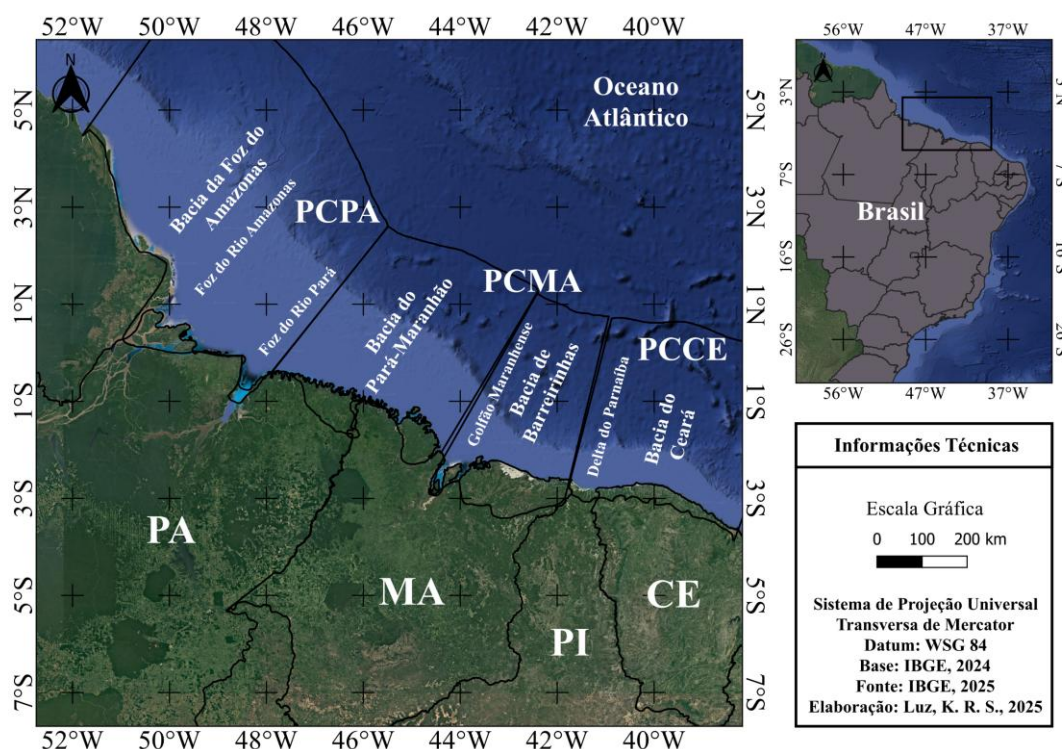
3.1. MARGEM EQUATORIAL

A teoria da Deriva Continental, proposta por Wegener (1929), construiu fundamentos para que a teoria geofísica da Tectônica de Placas fosse desenvolvida. A partir disso, a separação do grande continente Pangeia resultou na separação dos continentes da América do Sul e da África sucedendo na integralização da Margem Equatorial Continental, durante o Cretáceo Inferior (Szatmari, 1987).

Assim, a Margem Equatorial Brasileira (MEB), geologicamente, apresenta três feições sedimentares: a plataforma continental, o talude e elevação continental. As larguras das plataformas continentais ao longo da costa variam entre 8 km e 330 km, onde cada uma possui sua dinâmica costeira única dependendo da região (Perovano *et al.*, 2009).

Desta forma, o presente estudo foi conduzido em três regiões distintas da MEB, nas zonas situadas entre a linha de costa e o talude continental, as plataformas continentais do estado do Pará, do estado do Maranhão e do estado do Ceará, localizados nas bacias sedimentares da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, e Ceará, respectivamente (Figura 1).

Figura 1. Localização das bacias sedimentares onde estão situadas as plataformas continentais dos estados do Pará (PCPA), Maranhão (PCMA) e Ceará (PCCE).



Fonte: Luz (2025).

Essas áreas foram selecionadas por apresentarem transição e conexão entre os ambientes costeiros aos oceânicos, relevância socioeconômica e ambiental para o contexto estudado, além de funcionar como uma área de grande produção primária, ciclos biogeoquímicos e transporte de matéria.

Em cada uma dessas regiões foram realizadas coletas de dados hidroquímicos, durante o período sazonal chuvoso, visando à comparação espacial dos parâmetros analisados e levando em consideração os principais aspectos da dinâmica oceanográfica de cada plataforma continental.

3.2.PLATAFORMA CONTINENTAL

A plataforma continental, compreende a zonas submarinhas estendidas do território de um estado até 200 milhas náuticas, ou 350 milhas de acordo com o fundo marinho da área. Esta região também compreende a zona nerítica dos oceanos, rica em biodiversidade e alta produção, oriundas da descarga de sedimentos terrígenos e sedimentos resultantes de processos químicos ou biológicos, orgânicos ou inorgânicos (Andrade, 1995).

Dessa forma, a plataforma continental de cada estado brasileiro possui suas características com zonas climáticas distintas e aporte dos rios diferenciados, que diferenciam a disponibilidade de nutrientes, o tipo de sedimento de fundo e a largura da margem continental (Muehe; Garcez, 2005).

3.2.1. Plataforma Continental do Pará (PCPA)

A Plataforma Continental do Pará (PCPA) está localizada ao norte da costa do Brasil, possuindo características únicas devido à forte influência do sistema fluvial amazônico. A largura é variada ao longo da sua extensão, aumentando em direção da desembocadura do rio Amazonas (Santos, 2004).

Além do grande aporte fluvial do Rio Amazonas, que possui uma vazão de $230.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ anual, o maior e mais volumoso rio do planeta, transportando sedimentos do rio para o Oceano Atlântico, o ambiente do estudo recebe o aporte do Rio Pará no qual é formado por outros rios cujas as águas desembocam nele formando mais de 300 km de extensão e possui uma vazão de média anual de $20.946 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com 44% da vazão vinda do Rio Amazonas através do Estreito de Breves (Prestes *et al.*, 2020). Esses dois grandes rios juntos apresentam cerca de mais de 30% da água doce, formando uma circulação estuarina, chegando a empurrar uma pluma fluvial barrenta adentro do Oceano Atlântico (Menezes *et al.*, 2023).

A pluma fluvial extensa característica dessa região possui em média 200 km do mar, 30 metros de coluna d'água até o fundo, especialmente durante os períodos de maré de sizígia. A pluma rica em sedimentos e alta turbidez afeta a transparência da água, que atua na dinâmica ecológica, dividindo organismos marinhos das espécies estuarinas (Araújo, 2023). Bem como, a concentração de material em suspensão na PCPA influencia significativamente o destino de muitos elementos químicos, como o silício (Si), determinando diretamente a distribuição e composição do ecossistema (Santos, 2023).

O regime de maré é caracterizado por macromaré semidiurna, com amplitudes que frequentemente excedem 4 m durante a maré de sizígia (Menezes *et al.*, 2023), nos quais podem adentrar regiões estuarinas influenciando a geomorfologia e a dinâmica do sistema (Andrade, 2018). Na região do estudo a força de Coriolis é fraca ou quase nula e a circulação é executada por outros fatores como os ventos, favorecendo fluxos mais retos ou paralelos à costa (Santos, 2023).

Adicionalmente, a Corrente Norte do Brasil (CNB) é uma corrente superficial que transporta águas quentes e salinas do Atlântico Sul para o Atlântico Norte, fluindo ao longo da

costa noroeste do Brasil com velocidades elevadas, aumentando a extensão da pluma costeira em direção à Guiana e ao Caribe com o transporte de sedimentos em suspensão (Olivier *et al.*, 2024).

O clima da PCPA é caracterizado como tropical quente e úmido com altas temperaturas médias anuais e elevados índices pluviométricos de médias anuais de 2300 mm (Araújo, 2023). A região apresenta duas estações bem definidas: chuvoso (dezembro a maio) e seca (junho a novembro). O principal sistema responsável pelas chuvas, principalmente nos meses de janeiro e maio, é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no qual é correlacionada com os ventos alísios associados a variação sazonal desse sistema (Andrade, 2018).

Os sedimentos constituídos na PCPA são predominantemente finos, como silte e argila silicosa, característico de material terrígeno. A presença de areia é mais comum na porção externa da plataforma. Os processos físicos nas proximidades da foz dos rios podem favorecer a ressuspensão de sedimentos, impulsionados por correntes de fundo geradas pelas interações entre o rio e o oceano (Santos, 2023).

3.2.2. Plataforma Continental do Maranhão (PCMA)

A Plataforma Continental do Maranhão (PCMA) localizada na borda oeste do Oceano Atlântico Equatorial, dentro do domínio da Margem Equatorial Brasileira, possuindo 640 km de extensão. A PCMA se estende desde a região do Delta do Parnaíba, no limite com o Piauí, até o oeste do estado, próximo ao Delta do Rio Gurupi, na divisa com o Pará, sendo consideradas uma das maiores plataformas da costa brasileira (Garcia, 2019).

A PCMA pode ser classificada como uma plataforma continental homogênea, pois os valores de temperatura e salinidade da superfície e do fundo são próximos, e a cobertura sedimentar é predominantemente composta por areia, propícias ao acúmulo de elementos metálicos e compostos carbonáticos, são influenciadas pelo transporte intenso de materiais em suspensão oriundos do Complexo do Golfão Maranhense (Carvalho, 2020).

O Golfão Maranhense é uma grande reentrância costeira no qual representa uma faixa de transição entre os ambientes fluviais, estuarinos e marinhos, submetidos a intensa dinâmica da maré, em que está situado o complexo estuarino da baía de São Marcos e da baía de São José, onde deságuam dois grandes rios da Ilha de São Luís, o Rio Mearim e o Rio Itapecuru, fornecendo um grande aporte de sedimentos para a PCMA. Além disso, o Golfão abriga diversos pequenos estuários maranhenses, como os dos rios Pindaré, Grajaú, Anil, Bacanga e Paciência, incluídos a baía de São Marcos e São José (Lopes, 2024).

Como consequência desses aportes fluviais, as águas costeiras são particularmente turvas próximo a costa, aumentando as taxas de material particulado em suspensão na coluna d'água (Corrêa, 2021).

A costa maranhense possui um dos maiores regimes de maré do Brasil, com uma periodicidade semidiurna (duas preamares e duas baixa-mares por dia), tratando-se de um ambiente de macromaré, podendo chegar a alturas de até 7 metros em marés de sizígia, o que favorece a mistura entre águas doces e salgadas (Soares, 2021).

O clima na região é característico do clima tropical, com elevadas temperaturas durante o ano, girando em torno de médias de 28°C (Cavalcanti, 2018). É marcado por duas estações, a chuvosa, nos meses de janeiro a junho e a estação de estiagem, nos meses de julho a dezembro. Adicionalmente a este clima, a ZCIT é o principal gerador de chuvas na região, tornando a existência de variabilidade na precipitação, com uma média anual de 1.896 mm (Corrêa, 2021).

Ademais, outros elementos como os ventos alísios de nordeste que predominam durante o ano e os sistemas de brisa terrestre (durante à noite) e marítima (durante o dia) influenciam o clima do local.

A vegetação associada à PCMA está ligada aos ambientes costeiros e estuarinos como os manguezais, cujas as espécies mais abundantes são *Rhizophora mangle*, *Avecennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, delimitados por áreas de Proteção Ambiental, como a Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses. Não só os manguezais, a plataforma contam também com a presença de bancos de algas, fanerógamas marinhas e substratos lamosos no fundo da plataforma (Gratão, 2023).

3.2.3. Plataforma Continental do Ceará (PCCE)

A Plataforma Continental do Ceará (PCCE) é caracterizada por ser estreita comparada a PCMA, com uma largura de 75 a 80 km, uma cobertura de sedimentos de origem siliciclásticos (origem terrígena) e bioclásticas (origem biogênica) (Lima, 2021). Em diversos trechos pode-se verificar o desenvolvimento de antigas feições geológicas de antigos percursos de rios submersos, preenchidos ou parcialmente preenchidos, formados em épocas regressivas do nível do mar (Lima Filho, 2019).

A costa do Ceará está inclusa na costa Semiárida, delimitada pela baía de São Marcos, no Maranhão, até o Cabo de Calcanhar, no Rio Grande do Norte. O clima característico é seco,

temperaturas quentes (Silva *et al.*, 2023), dunas móveis, falésias e rios que contribuem com pequenos volumes de água (Nascimento, 2023).

Somado a isso, o sistema climático da região costeira cearense tem como principal sistema atmosférico a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O deslocamento sazonal da ZCIT é um dos fatores que causam variações nos padrões de vento e chuva ao longo da Margem Equatorial da região nordeste. Durante os meses de janeiro a maio, a ZCIT se desloca para o sul, resultando na diminuição da intensidade dos alísios e na ocorrência de chuvas na região (Augusto, 2022).

Assim como as outras plataformas estudadas neste trabalho, a sazonalidade da PCCE é definida pela estação chuvosa, nos meses de fevereiro a maio, com precipitação média de 1.032,3 mm, e a estação de seca, nos meses de junho a janeiro. A temperatura média é alta em torno dos 26°C a 28°C, com pouca variação anual (Lima, 2021).

Quanto o regime de marés, a periodicidade de enchentes e vazantes é classificada como semidiurna por deter dois picos de preamar e dois de baixamar durante 24h e 50min. Esse padrão é caracterizado como mesomaré e é marcado por amplitudes que podem atingir 3,3 metros (Barros; Guerra; Fernandes, 2020). A PCCE recebe influência da circulação da Corrente Norte do Brasil (CNB), com uma velocidade média de 50 a 80 cm/s (Nascimento, 2023).

O maior curso fluvial do Estado do Ceará é o Rio Jaguaribe, no qual é temporário, apresentando uma vazão com média anual de $51,53 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ apenas durante a estação chuvosa e alguns meses após o seu término (Rocha *et al.*, 2021). Durante a estação seca, o rio seca completamente, resultando na redução do escoamento de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica para o oceano (Costa *et al.*, 2020), como consequência a descarga continental é baixa, tendo uma maior influência oceânica e com menor turbidez.

4. MATERIAL E MÉTODOS

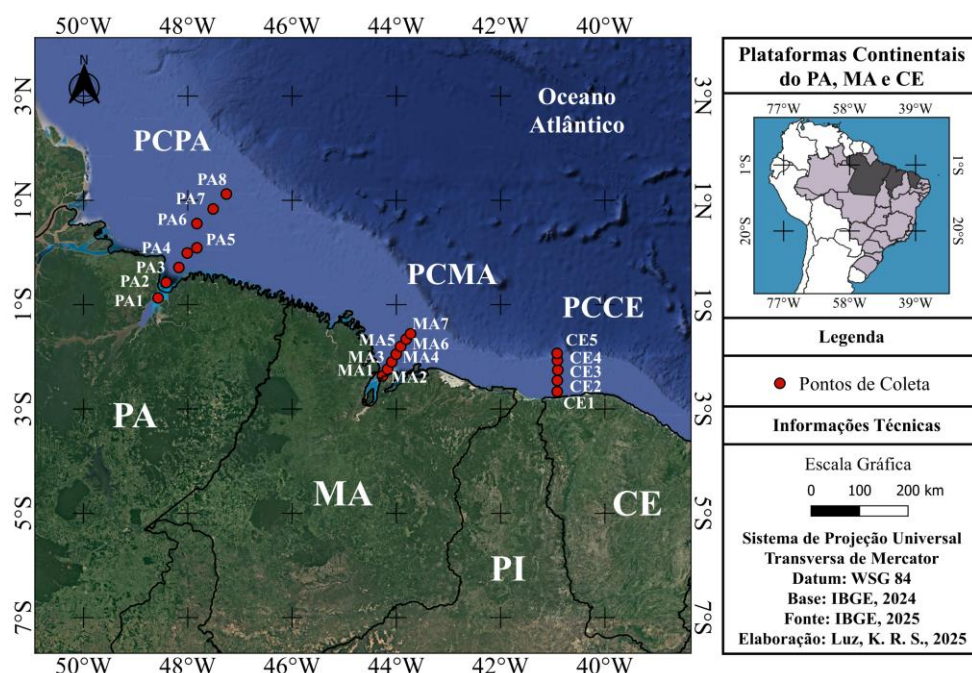
4.1. COLETA DE DADOS

O estudo foi realizado em três radiais perpendiculares à linha de costa, considerando as plataformas continentais dos estados do Pará (PCPA), Maranhão (PCMA) e Ceará (PCCE), sendo oito pontos na PCPA, sete pontos na PCMA e cinco pontos na PCCE (Figura 2), respeitando a extensão do limite de cada plataforma antes de adentrar ao talude continental. O

ponto 1 em cada radial estava situado ao mais próximo à costa de cada estado e o ultimo no final da plataforma continental.

As coletas de água espaciais foram realizadas no período sazonal chuvoso de cada região, sob a influência da maré de sizígia. A amostragem na PCPA ocorreu no mês de maio/2023, na PCMA no mês de maio/2014 e na PCCE no mês de maio/2024.

Figura 2. Localização dos pontos de coleta nas Plataformas Continentais dos Estados do Pará (PCPA), Maranhão (PCMA) e Ceará (PCCE).



Fonte: Luz (2025).

4.2. VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS

A bordo do navio escola “Ciências do Mar II” (Figura 3A) as amostras de água foram obtidas com o auxílio de garrafas oceanográficas do tipo *Niskin* de 5L (Figura 3B e 3C) na camada superficial da água (0 – 0,5 m) e armazenadas em frascos de polietileno de 1L, previamente ambientados (Figura 3D), posteriormente estocados em freezer e subsequente levados ao Laboratório de Biogeociclos dos Constituintes Químicos da Água (LABCICLOS), no Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), na Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

Figura 3. Equipamentos utilizados na coleta de água: (A) Embarcação “Ciências do Mar II”; (B) Garrafa de *Niskin* na *Rosset*; (C) Coleta de água; (D) Armazenamento das amostras de MPS; (E) Multiparâmetro HANNA HI 98494 para a medição dos parâmetros hidroquímicos; (F) Determinação do oxigênio dissolvido pelo método de Winkler.



Fonte: Luz (2025).

In situ, a medição dos parâmetros hidroquímicos de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Salinidade (g kg^{-1}), TDS (g L^{-1}), Condutividade (mS cm^{-1}), pH, Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1}) e Porcentual de Oxigênio Dissolvido (%), foram obtidos através da sonda multiparâmetro modelo HANNA HI 98494 (Figura 3E), previamente calibrada, utilizando a solução de calibração recomendada. Além da sonda, foi utilizado o método químico descrito por Strickland e Parsons (1972), baseado no método clássico de Winkler (titrimetria de oxidação e redução) para a determinação do Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1}) (Figura 3F).

A precisão para os parâmetros fora observada no manual da Sonda, sendo para temperatura $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$, salinidade $\pm 0,01 \text{ g kg}^{-1}$, TDS $\pm 1 \text{ mg L}^{-1}$, condutividade $\pm 1 \text{ mS cm}^{-1}$, pH $\pm 0,02$, oxigênio dissolvido $\pm 5\%$ de leitura de 20,00 a 50,00 mg L^{-1} e o percentual de oxigênio dissolvido $\pm 0,1\%$ de leitura de 0,0 a 200,0 % de saturação.

Na determinação das concentrações do Material Particulado em Suspensão e dos Nutrientes dissolvidos, as amostras foram transportadas ao laboratório e submetidas a análises para Material Particulado em Suspensão (MPS), Silicato (SiO_4), Nitrito (NO_2) e Fosfato (PO_4^{3-}), conforme descrito na determinação analítica deste estudo.

4.3. DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

4.3.1. Oxigênio Dissolvido (OD)

Para a determinação do Oxigênio Dissolvido na PCMA, foi utilizada a metodologia descrita por Strickland e Parsons (1972), no qual é baseado no método iodométrico de Winkler (1888).

As amostras foram coletadas em frascos de âmbar de DBO e adicionado 1 ml de reagente R1 (Sulfato de Manganês) e 1 ml de reagente R2 (Iodeto Alcalino de Potássio), formando um precipitado marrom após a mistura. Em seguida os frascos foram armazenados no escuro para posterior análise.

Na determinação analítica, nas amostras retiradas do escuro foram adicionadas 1 ml de ácido sulfúrico concentrado e retirada 3 alíquotas de 50 ml, para a titulação, onde uma dessas foi para o teste do branco. As demais alíquotas foram tituladas com tiossulfato de sódio até um tom amarelo claro, em seguida adicionado 1 ml do indicador de amido para continuar a titulação até o líquido ser incolor. Os valores gastos para cada titulação das amostras foram anotados para cálculos futuros.

Para a padronização foi utilizado água destilada no lugar das amostras e adicionado os reagentes (R1 e R2) e o ácido sulfúrico, seguindo o mesmo processo analítico para a determinação das amostras, com apenas a ordem inversa da adição dos reagentes. A equação 1 a seguir foi utilizada para determinar a concentração de OD:

$$[\text{O}_2] \text{ ml L}^{-1} (\text{in situ}) = \frac{M (V-b) \cdot 1000}{\text{vol do Frasco de DBO calibrado}} \cdot 22,4 \cdot \frac{T}{273} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V= Volume médio (ml) da solução de tiossulfato da amostra.

b= Volume (ml) do teste em branco (tiossulfato ou iodato).

M= C_1 = concentração exata em mol L^{-1} da solução de tiossulfato.

T= Temperatura absoluta (K) da amostra in situ ($1^{\circ}\text{C}=273\text{ K}$).

4.3.2. *Material Particulado em Suspensão (MPS)*

Para a determinação do Material Particulado em Suspensão (MPS) presentes nas amostras, foi utilizado o método gravimétrico descrito por Strickland & Parsons (1972), para a quantificação de Sólidos Suspensos Totais (TSS). No entanto, neste estudo, adotou-se a nomenclatura de Material Particulado em Suspensão (MPS), considerando a aplicabilidade do termo.

Antes das coletas em campo, foram preparados filtros de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro e porosidade nominal de $2,0\text{ }\mu\text{m}$, inseridos em um aparato de filtração e passados por um volume de 60 ml de água destilada para lavagem dos filtros. Depois foram secos em estufa a 100°C por 1 hora.

Na quantificação do MPS, as amostras de água foram homogeneizadas e transferidas para uma proveta graduada de 50 ml, até que toda a amostra de 1L tivesse sido filtrada ou até que o filtro fosse obstruído ou entupido. Ao fim da filtração, o volume final foi anotado para posteriormente serem utilizados em uma equação para a determinação. Todos os filtros foram colocados em estufa a 100°C por 1 hora para serem secos e transferidos ao dessecador até atingirem temperatura ambiente, e após o resfriamento foram pesados na balança analítica, com precisão de $\pm 0,0001\text{g}$ e seus pesos foram anotados.

A diferença entre o peso final e o peso inicial forneceu o peso do material particulado em suspensão para o exato peso filtrado, com os resultados na unidade de mg L^{-1} , conforme a equação 2 a seguir:

$$MPS (\text{mg L}^{-1}) = \frac{(B-A).1000}{\text{Volume da amostra (mL)}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

A = Peso do filtro pré-pesado;

B = Peso do filtro seco após a filtragem da amostra

4.3.3. *Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos*

As concentrações dos nutrientes dissolvidos na água, sendo nitrito, fosfato e silicato, foram determinadas conforme o método colorimétrico descrito por Grasshoff *et al.* (1999). A

quantificação dos nutrientes foi realizada utilizando a espectrofotometria, com comprimentos de onda específicos: 540 nm para o nitrito (NO_2), 880 nm para o fosfato (PO_4^{3-}) e 810 nm para o silicato (SiO_4).

A precisão do método para a determinação do nitrito foi de $\pm 0,02 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o método utilizado. Para o fosfato foi $\pm 15\%$ em concentrações baixas ($0,2 \mu\text{mol L}^{-1}$), $\pm 5\%$ em concentrações médias ($0,9 \mu\text{mol L}^{-1}$) e $\pm 2\%$ em concentrações elevadas ($2,8 \mu\text{mol L}^{-1}$). O silicato, as precisões foram de $\pm 4\%$ em $4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$, $\pm 2,5\%$ em $0,9 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $\pm 6\%$ em $150 \mu\text{mol L}^{-1}$.

O branco das cubetas foi determinado antes da leitura das amostras e o branco dos reagentes foi feito utilizando água deionizada ao invés das amostras para cada nutriente.

Para a padronização das amostras foi realizado uma curva de calibração, sendo necessário a preparação de uma solução intermediária de concentração de $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ a partir da solução estoque de silicato de $5.000 \mu\text{mol L}^{-1}$ para a análise de SiO_4 , de $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ a partir da solução estoque de nitrito de $10.000 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o NO_2 e uma solução intermediária de concentração de $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ a partir da solução estoque de fosfato de $10.000 \mu\text{mol L}^{-1}$ para a análise do PO_4^{3-} . Utilizando a equação 3:

$$C_1.V_1 = C_2.V_2 \text{ Equação 3}$$

Onde:

C_1 = Concentração inicial da solução;

V_1 = Volume inicial da solução;

C_2 = Concentração final da solução;

V_2 = Volume final da solução.

Alguns cuidados foram estabelecidos para a determinação analítica dos nutrientes. As vidrarias utilizadas para a determinação do silicato eram todas de plástico para que a sílica não reagisse ao entrar em contato com o vidro. Todo o material foi previamente lavado e reservado para que não houvesse qualquer risco de contaminação.

Para a determinação de fosfato, as vidrarias foram precedentemente separadas e lavadas para que não ocorresse contaminação. Na lavagem, não foi utilizado detergente Extran neutro MERCK, pois na sua composição há presença de fosfato e poderia causar contaminação nos tubos de ensaio de vidro. Assim, na lavagem, apenas ácido clorídrico diluído foi utilizado nas vidrarias.

4.4. PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

4.4.1. *Dados Pluviométricos*

Os dados de precipitação local das regiões estudadas foram obtidos por meio dos registros realizados no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para os dias de coleta nas regiões.

4.4.2. *Dados de Maré*

A obtenção dos dados de maré para os dias de coleta foi extraída do website da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), no qual apresenta dados médios das preamares e baixamares.

4.5. ANÁLISE DE DADOS

Os dados adquiridos foram organizados em planilhas do programa Excel 2019, no qual permitiu a obtenção de gráficos para avaliar a distribuição dos parâmetros hidroquímicos ao longo das Plataformas Continentais do Pará, Maranhão e do Ceará.

Para testar a normalidade da distribuição dos dados, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk, recomendado para amostras pequenas ($n \leq 50$).

O teste da ANOVA one-way (Análise de Variância de um fator) foi utilizado para verificar as diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos parâmetros entre as três radiais (grupos independentes). Nos dados que não apresentaram distribuição normal, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, alternativo à ANOVA. Para identificar quais plataformas se diferenciaram, por parâmetro, os testes post hoc de Tukey (ANOVA) e Dunn (Kruskal-Wallis) foram utilizados.

A Análise de Componentes Principais foi aplicada para identificar quais variáveis influenciaram a variação dos dados em cada plataforma. A análise de agrupamento hierárquico, utilizando a distância Euclidiana como medida de dissimilaridade, foi empregada para determinar padrões de similaridade entre as plataformas continentais.

Na obtenção dos testes estatísticos foi utilizado o software livre de aquisição Past® versão 4.11.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E HIDRODINÂMICOS

A pluviosidade nas PC's do Pará, Maranhão e Ceará são fortemente influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atua de forma sazonal sobre a região equatorial. O regime caracteriza uma estação chuvosa bem definida com variações de intensidade conforme a localização de cada PC.

Na PCPA a presença de precipitações diárias durante o período de coleta, aumentam a descarga fluvial para a plataforma continental, o que pode impactar a salinidade, turbidez e nutrientes nos pontos iniciais da radial. Na PCMA a presença de chuvas na hora da coleta também influencia os parâmetros físicos e químicos da. Em relação a PCCE, situado mais a leste, durante as estações de coleta, o estado estava sob a influência do fim do El Niño, como relatado no boletim de junho/2024 do INMET, o que reduz a presença de chuvas na região.

A drenagem dos rios Pará e Amazonas, na PCPA, em conjunto com fatores climáticos, como a presença das chuvas diárias geradas pela alta evaporação resultando em nuvens carregadas de precipitação, aumentam a descarga de água doce na região da plataforma interna, resultando em alterações nos parâmetros hidroquímicos. A cima de tudo com a presença da extensa pluma fluvial que se alonga até a plataforma interna.

Na PCMA, a presença dos rios Mearim e Pindaré (afluente do Mearim) que deságuam na Baía de São Marcos e a vazão dos rios Itapecuru e Munim, na Baía de São José, carregam características hidrológicas para a plataforma interna do Maranhão formando o sistema do Golfão Maranhense, influenciando as características dessa região.

A localização da PCCE não possui uma presença de rios desaguardo na margem costeira, o que distingue das outras plataformas caracterizadas neste estudo. Assim, a plataforma do Ceará tem uma predominância de aspectos oceânicos desde a linha de costa, que favorecem processos de oceano aberto.

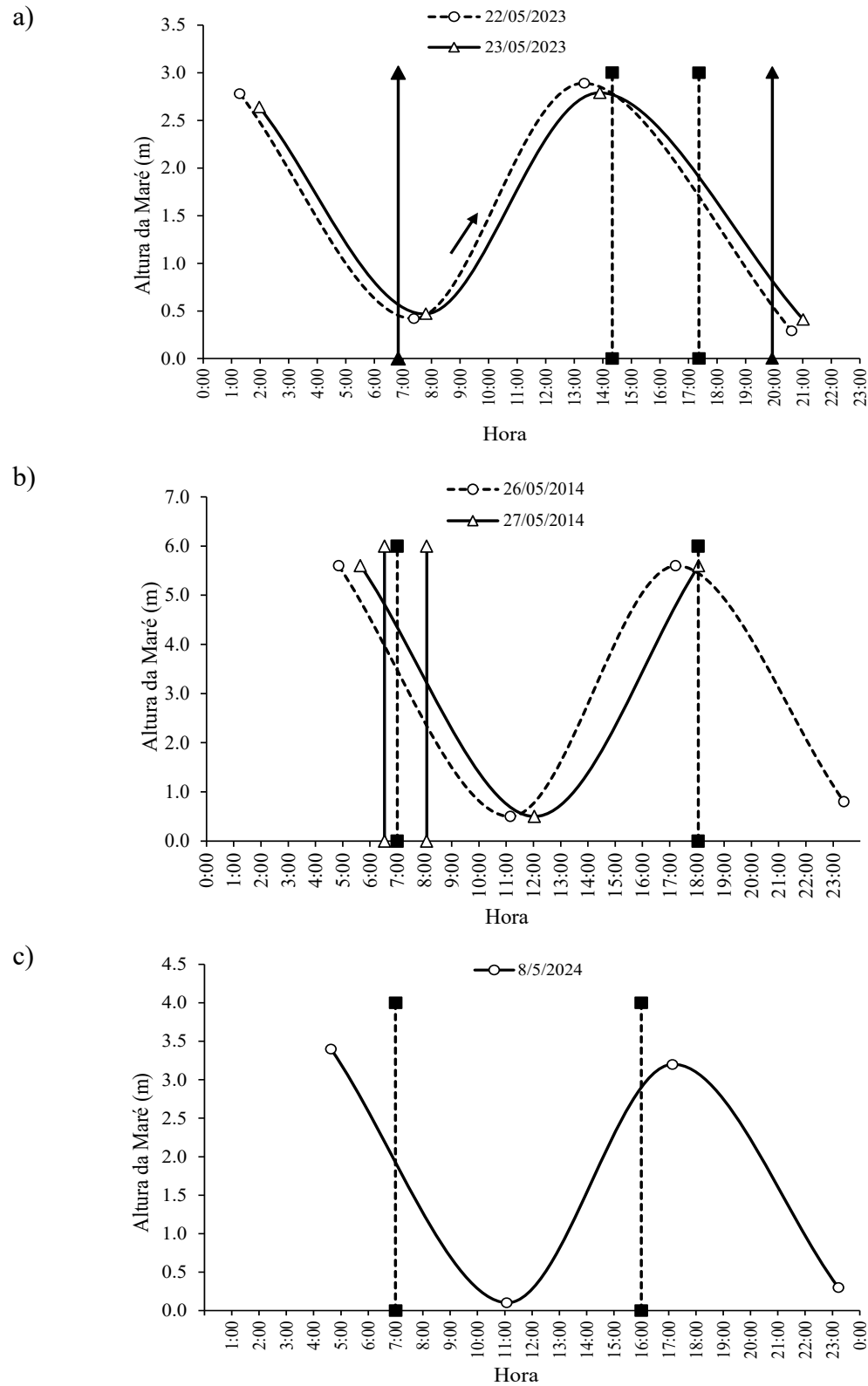
As variações de altura de maré para o período de estudo são apresentadas na Figura 4, todas no período chuvoso de cada região, sob as condições de maré de sizígia, conforme o calendário lunar. A influência da maré foi considerada para caracterizar a hidroquímica dos

pontos localizados na margem costeira, onde a interação das águas doce com águas mais salinas expressa gradientes na plataforma interna e intermediária.

Assim, a curva de maré na PCPA para o dia 22 de maio de 2023 obteve oscilações de maré com mínima de 0,29 m e máxima de 2,89 m e para o dia 23 de maio de 2023, a mínima foi 0,41 m e a máxima foi 2,79 m. Para a PCMA, nos dias 26 e 27 de maio de 2024, a mínima foi de 0,50 m e a máxima foi 5,6 m. Na PCCE o valor mínimo na altura da maré para o dia 23 de maio de 2024 foi 0,1 m e o máximo foi 3,4 m (Figura 4).

Compreender as oscilações de maré é essencial para interpretar os processos hidroquímicos, proporcionando um entendimento do transporte de nutrientes e materiais particulados em suspensão, sujeitos as flutuações da subida e descida da maré, sobretudo na região de zona costeira e a zona de plataforma continental interna (Garcia, 2025).

Figura 4. Curvas de maré (m) registradas na PCPA (a), PCMA (b) e PCCE (c) no período chuvoso. As barras representam o intervalo de coleta durante o ciclo da maré.



Fonte: Luz (2025).

5.2. PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS

Os valores de mínimos, máximos, médios, medianos e desvio padrão dos parâmetros hidroquímicos na superfície da coluna d'água nas plataformas continentais dos estados do Pará, Maranhão e Ceará para o período chuvoso destas regiões serão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores mínimos, máximos, médios, medianas e desvio padrão de parâmetros hidroquímicos das Plataformas Continentais dos estados do Pará (PCPA), Maranhão (PCMA) e Ceará (PCCE).

PC	Valores	Temp. (°C)	Sal. (g kg ⁻¹)	TDS (g L ⁻¹)	Cond. (mS cm ⁻¹)	pH	OD (mg L ⁻¹)	OD (%)	MPS (g L ⁻¹)	Silicato (μmol L ⁻¹)	Fosfato (μmol L ⁻¹)	Nitrito (μmol L ⁻¹)
PCPA	Mín.	27,27	0,02	0,02	0,04	6,90	6,26	92,30	18,18	5,96	0,00	0,00
	Máx.	28,65	35,10	26,55	53,03	8,25	8,32	110,30	50,42	33,71	2,39	0,59
	Média	28,00	17,21	13,34	26,66	7,67	7,24	101,56	31,52	21,33	0,75	0,16
	Med.	28,06	18,41	14,72	29,43	7,92	7,18	103,35	30,89	23,15	0,53	0,11
	Despad.±	0,58	15,50	11,72	23,44	0,63	0,68	7,38	10,37	9,89	0,91	0,19
PCMA	Mín.	29,00	25,95	20,51	40,61	7,65	3,80	86,36	0,00	2,14	0,09	0,00
	Máx.	29,54	35,60	27,03	53,84	8,47	5,00	112,87	70,00	12,85	0,76	0,23
	Média	29,28	32,19	24,19	48,56	8,11	4,51	101,23	19,53	5,76	0,52	0,05
	Med.	29,19	31,94	24,50	49,35	8,10	4,47	100,45	6,50	5,34	0,66	0,01
	Despad.±	0,20	3,44	2,77	5,55	0,24	0,39	9,52	27,09	3,41	0,28	0,09
PCCE	Mín.	28,65	36,48	27,50	55,00	8,16	6,12	97,20	11,80	3,15	0,00	0,01
	Máx.	29,15	38,40	37,70	57,53	8,21	6,44	102,90	34,22	6,58	0,11	0,09
	Média	28,92	37,63	30,08	56,53	8,19	6,30	100,40	24,03	4,71	0,02	0,04
	Med.	28,95	37,76	28,36	56,72	8,19	6,30	100,60	28,00	4,33	0,02	0,02
	Despad.±	0,19	0,76	4,29	1,01	0,03	0,13	2,25	9,21	1,68	0,07	0,04

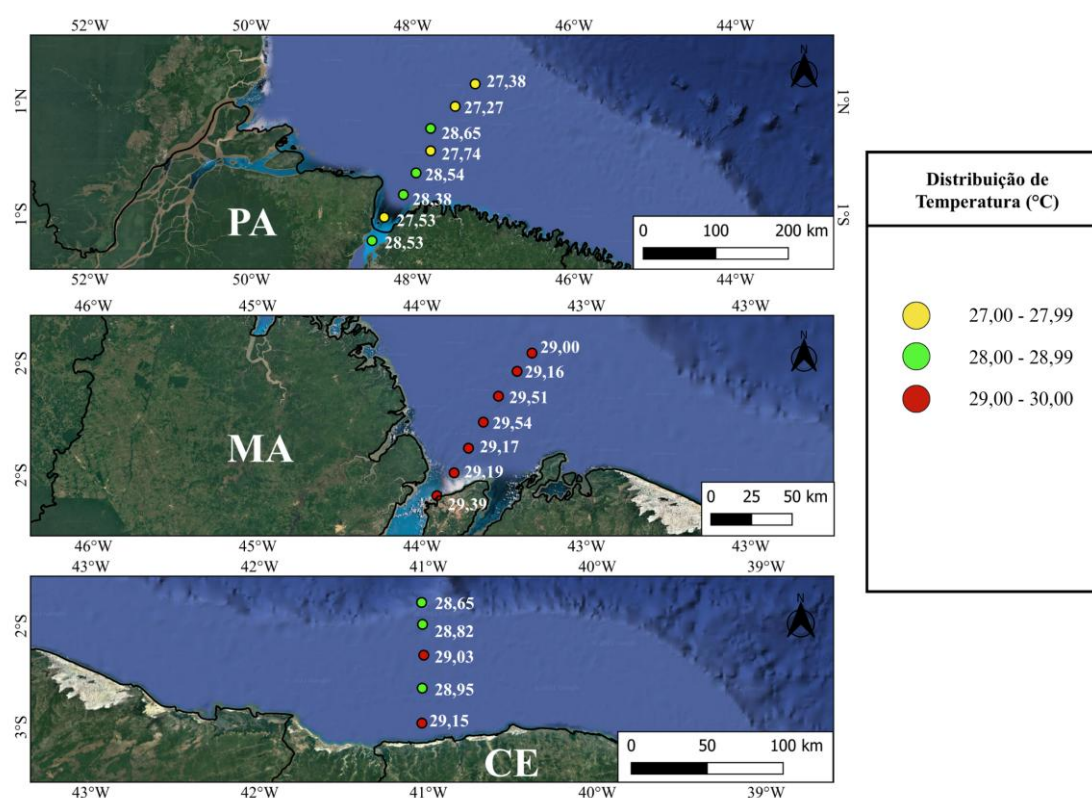
Fonte: Luz (2025).

5.2.1. Temperatura da água

A análise da distribuição superficial da temperatura da água nos diferentes pontos de coleta ao longo das radiais revelou pequenas variações entre os estados do Pará (PA), Maranhão (MA) e Ceará (CE). Os valores se mantiveram relativamente homogêneos, associados a localização equatorial das plataformas, somado a fatores locais e ao horário da coleta. Essa uniformidade térmica sugere um padrão de estabilidade sazonal típico da região, onde as oscilações de temperatura superficial tendem a ser menos acentuadas.

A figura 5 exibe a distribuição dos valores da temperatura superficial da água do mar ao longo das plataformas obtidas neste estudo.

Figura 5. Distribuição superficial de temperatura (°C) registrada nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

A temperatura registrada na radial PCPA apresentou um valor médio de 28,00°C (Tabela 1), sendo inferior às demais radiais (PCMA e PCCE). Essa diferença entre as plataformas pode ser atribuída à forte influência da descarga dos rios Amazonas e Pará, que transportam águas continentais para a plataforma continental norte do Brasil. Além

disso, a alta pluviosidade da região e a presença de nuvens no horário da coleta, contribuem para a modulação da temperatura, reforçando o caráter estuarino e dinâmico da PCPA. A pouca variação térmica observada entre os pontos evidenciou uma influência da localização equatorial da PCPA.

Em contrapartida, a PCMA apresentou as maiores temperaturas em grande parte dos pontos analisados, além de apresentar a maior média em relação as outras PC's, sendo de 29,28°C (Tabela 1). Esses dados apontam para a localização da PCMA próxima a linha do Equador, que geram temperaturas elevadas durante todo o ano, favorecendo o acúmulo de calor nas águas superficiais. Adicionalmente, uma possível retenção térmica na região, associados à incidência de radiação solar durante as coletas, considerando que as condições atmosféricas eram estáveis, sem ocorrência de precipitações e com céu limpo.

A PCCE apresentou valor médio de 28,92°C (Tabela 1), próximo ao observado na PCMA, indicando uma baixa amplitude térmica, refletindo uma menor variabilidade e um perfil mais estável ao longo da radial. Essa estabilidade também está relacionada a localização equatorial da PCCE, além do horário da coleta que influencia na temperatura da água no local. Vale considerar que, a PCCE é caracterizada pela ausência de grandes aportes fluviais, o que contribui para a homogeneidade térmica observada na plataforma do Ceará.

A média da distribuição de temperatura superficial (28,82°C) no período chuvoso na PCPA, registrada no estudo de Silva (2001), corroborou com a média obtida neste trabalho (Tabela 1), apenas com uma pequena diferença entre os estudos. Contudo, é necessário levar em consideração que a região da plataforma do Pará possui condições de tempo instáveis causados pela circulação de ventos em diferentes níveis atmosféricos combinados com a alta umidade regional, assim gerando essa variação.

A temperatura da água na PCMA no período chuvoso relatado no trabalho de Silva, Costa e Pinheiro (2007) apresentou uma média de 28,90°C, obtido através do Programa "REVIZEE/SCORE-NO" em 1999, no mesmo mês da coleta realizada neste estudo para a região da PCMA.

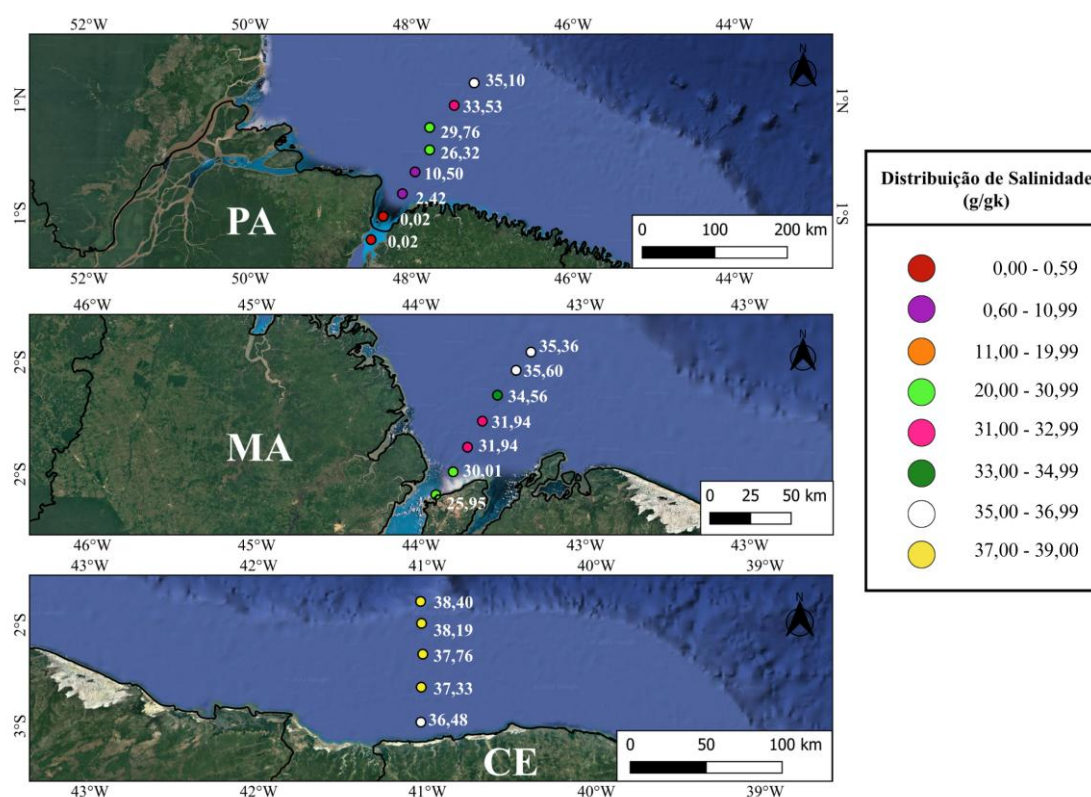
Na PCCE, Lopes (2021) relatou que temperatura da superfície do mar, nos meses de março a junho, variou entre 27°C e 29°C, durante o seu estudo, corroborando com a média (28,92°C) registrada nesta análise.

5.2.3. Salinidade

A média de salinidade nos oceanos é de 35 g kg^{-1} , contudo ocorre uma variação função da entrada e saída, como presença de descarga de água doce, zonas de evaporação e precipitação, e correntes oceânicas (IDEA, 2025).

A distribuição superficial de salinidade ao longo das três radiais de coleta (PCPA, PCMA e PCCE) revelou padrões distintos, devido à influência continental, marinha e da precipitação, conforme demonstra a figura 6.

Figura 6. Distribuição superficial de salinidade (g kg^{-1}) registradas nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005, os corpos hídricos marinhos e estuarinos são classificados com base na salinidade presente no ambiente, sendo considerados água doce aquelas com salinidade entre 0 e $0,5 \text{ g kg}^{-1}$, águas salobras aquelas com salinidade de $0,5$ e 30 g kg^{-1} , e águas salinas aquelas com salinidade superior a 30 g kg^{-1} .

Com base nessa classificação, observamos um gradiente crescente de salinidade ao longo dos pontos na PCPA (Figura 6). Esses dados evidenciam a influência continental

nos pontos mais costeiros e uma progressão predominante nas águas marinhas nos pontos localizados na plataforma externa.

Na região da zona costeira, onde estão localizados os pontos P1 e P2, nas desembocaduras do rio Pará, foi observado teores de salinidade extremamente baixos (mínimo de $0,02 \text{ g kg}^{-1}$, Tabela 1), típicos de ambientes dominados por águas doces continentais. Sobretudo pela descarga de grandes rios amazônicos, como o Rio Pará e seus afluentes, que promovem a formação de uma pluma de baixa salinidade sobre a plataforma. Além disso, esses dois pontos foram coletados durante a vazante da maré, permitindo que a água doce dominasse mais essa região, reduzindo a salinidade.

A partir do P3, a salinidade passa a refletir uma zona de transição estuarina, indicando mistura entre águas continentais e marinhas, o que se estende até o P6, classificando essa região como águas salobras. Nos últimos pontos da radial, a salinidade da superfície da água apresenta uma característica mais estável, típicas de águas oceânicas. No P8, foi observado uma característica homogênea de salinidade, no qual ocorre próximo ao limite da PC, onde a influência continental já é quase mínima.

A temperatura e salinidade na PCPA apresentaram uma estratificação horizontal, com uma zona de transição marcada gradientes simultâneos de temperatura e salinidade indicando locais de mistura entre águas continentais quentes e doces com águas marinhas frias e salinas.

Na PCMA o valor de mínimo e máximo registrado foi de $25,95 \text{ g kg}^{-1}$ e $35,60 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 1), respectivamente. Os valores de salinidade também apresentaram um gradiente crescente entre os pontos mais próximos da costa até à plataforma continental mais externa. Esse aumento progressivo na PCMA caracterizou a região costeira influenciada por descargas fluviais, onde há atuação de diversos rios, como o Itapeturu e o Mearim, que contribuem para a formação de plumas fluviais. O valor mais baixo registrado no P1 indicou forte influência dessas águas continentais, enquanto os valores acima de 30 g kg^{-1} indicaram a presença predominante de águas marinhas.

Interpretando essas águas conforme a classificação da Resolução CONAMA (nº 357/2005), os valores de salinidade encontrados enquadraram-se nas classes de água salobras e salinas, onde apenas o P1 ficou na classificação de salobra, localizado na zona de transição estuarina. A estabilidade dos valores nos pontos intermediários sugere uma zona de mistura bem estabelecida, onde as massas de água continental e oceânica interagem. Enquanto a elevação observada a partir do P5 reflete o avanço da influência marinha sobre a plataforma externa.

A PCCE apresentou classificação de águas salinas, com uma média de 37,63 g kg⁻¹ (Tabela 1). Os dados obtidos permaneceram altos ao longo de toda a radial, evidenciando um ambiente predominantemente salino no sentido costa-oceano. Essa variação não tão expressiva, é característica de ambientes de plataforma continental sob influência direta de águas oceânicas e com baixa interferência de águas continentais, de tal forma que a salinidade mais baixa registrada foi no P1, com águas caracterizadas oceânicas.

A salinidade superficial presente nas águas tropicas da plataforma do MA, no estudo realizado por Kampbel e Novo (2016) apresentou valores menores ou iguais a 36,0 g kg⁻¹, obtidos durante o Programa REVIZEE III, classificando grande parte da área da plataforma como águas salinas, no decorrer dos meses de maio a junho de 1999, corroborando com os dados registrados neste estudo para a PCMA, onde quase todos os pontos da plataforma foram salinos, com exceção do P1.

Um outro trabalho realizado na PCMA por Carvalho (2023) observou o valor de salinidade máxima de 35,20 g kg⁻¹, com a influência de chuvas na região, corroborando, aproximadamente, com o valor de máximo encontrado no ano de coleta nesta análise (Tabela 1).

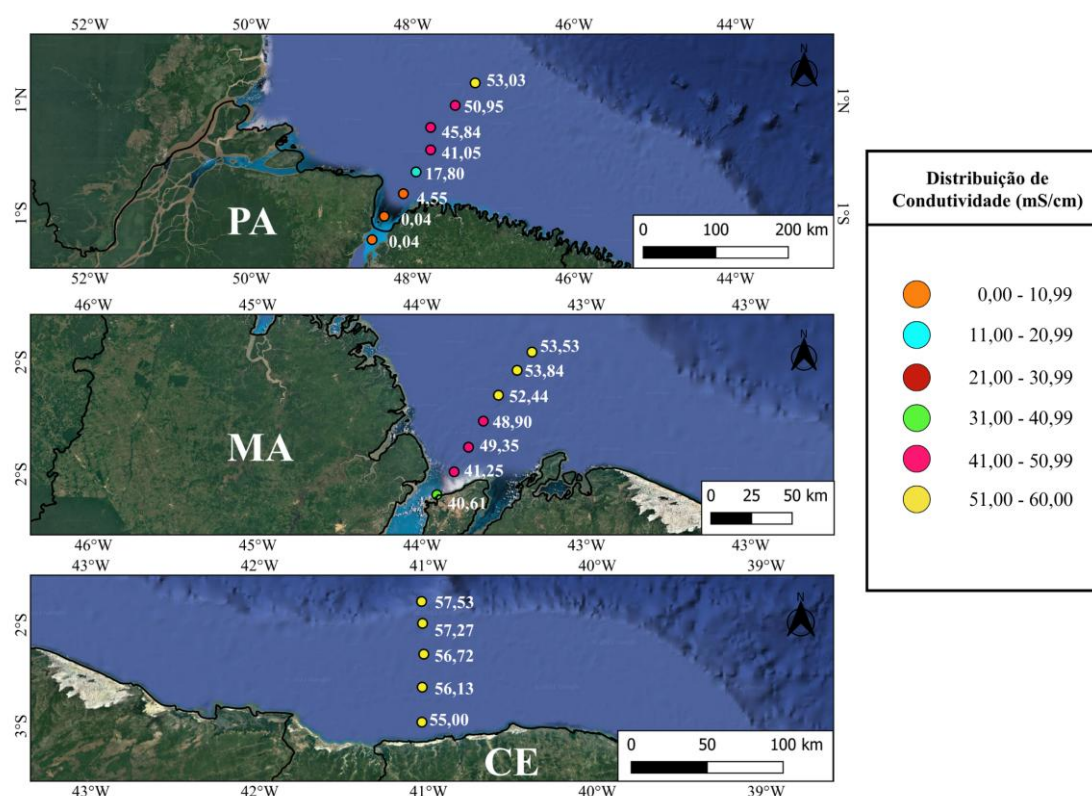
Adicionalmente, Medeiros (2022) relatou em seu trabalho realizado na plataforma do Pará, que durante o período chuvoso, a salinidade apresentou valores mínimos de salinidade de 0 g kg⁻¹ e máxima de 34 g kg⁻¹, semelhante aos analisados neste estudo (Tabela 1).

Os teores de salinidade na região da PCCE apresentaram distribuições homogêneas conforme relatado por Nascimento (2023) em seu estudo, onde a salinidade nas regiões costa-oceano apresentou valores maiores ou igual à 35 g kg⁻¹, semelhantes com os valores determinados para a salinidade neste presente estudo.

5.2.3. Condutividade

A condutividade da água indica a capacidade que a água tem em conduzir a eletricidade por meio da presença de íons e da temperatura na coluna d'água, associados a condições geológicas e/ou da própria água do mar (Nolasco et al., 2020). A distribuição superficial de condutividade (mS cm⁻¹) para a PCPA, PCMA e PCCE está disponível na figura 7.

Figura 7. Distribuição de superficial condutividade (mS cm^{-1}) registradas nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

A condutividade ao longo da radial PCPA mostrou a influência do aporte continental na região costeira e a transição gradual para o meio oceânico, com o valor mínimo de $0,04 \text{ mS cm}^{-1}$ e máximo de $53,03 \text{ mS cm}^{-1}$ (Tabela 1). Nos pontos mais próximos à costa, os menores valores indicaram a presença de águas continentais e observamos a intensificação do gradiente crescente em direção a plataforma externa, refletindo a predominância de condutividade elétrica elevada por meio dos íons, corroborando com os valores de salinidade analisados, reforçando a presença da água doce na zona mais interna da plataforma.

Os dados observados na PCMA, obtiveram um mínimo de $40,61 \text{ mS cm}^{-1}$ e um máximo de $53,84 \text{ mS cm}^{-1}$ (Tabela 1), exibindo um aumento gradual em direção a plataforma externa do Maranhão, semelhante ao padrão que ocorreu na PCPA.

A distribuição da condutividade na PCCE evidenciou também um gradiente crescente, porém com características marítimas desde o ponto localizado na plataforma interna, apresentando mínimo de $55,00 \text{ mS cm}^{-1}$ e máximo de $57,53 \text{ mS cm}^{-1}$ (Tabela 1), aumentando gradativamente em direção ao talude continental, o que indica uma presença

de massas d'águas quentes e salinas nesta plataforma, e com a menor influência de processos fluviais e costeiros.

Essa tendência é esperada para a PCCE, pois a mesma recebe os efeitos da CNB, que transporta águas superficiais salinas provenientes do Atlântico Tropical, que somado as características de baixos índices pluviométricos e baixo aporte fluvial, favorece os valores da alta condutividade ao longo da radial. Além disso, a fisiografia da PCCE é relativamente estreita, o que favorece para uma rápida ou nula transição de características costeiras para oceânicas.

O padrão crescente da condutividade nessas plataformas tropicais reflete uma influência por massas d'águas Tropicais do Atlântico Sul (AT), no qual é caracterizada por elevadas temperaturas e salinidades, que relacionadas entre si, contribuem para o aumento da condutividade elétrica da água em direção ao mar aberto, onde a influência oceânica se sobrepõe às condições costeiras.

Batistell (2024) realizou uma análise temporal acerca da descoberta e exploração dos mares, destacando a contribuição de Hercules Tornóe (1856-1907), ao evidenciar que a salinidade da água do mar poderia ser estimada por meio da condutividade elétrica e da temperatura da água, reforçando o padrão de aumento do gradiente costa-oceano. Além disso, entre os anos 1893 e 1896, durante a Expedição Polar Norueguesa, Fridtjof Nansen realizou a primeira referência documentada à medição da condutividade elétrica em associação com a salinidade da água do mar.

Observou-se uma relação intrínseca entre os valores de salinidade, condutividade e temperatura, evidenciada por um gradiente crescente que reflete a transição ambiental da plataforma continental, indo de áreas costeiras para zonas oceânicas.

Corroborando com a média determinada neste estudo para a PCMA, Carvalho *et al.* (2016) registrou o valor médio de condutividade elétrica na plataforma continental do Maranhão foi de 53,53 mS cm⁻¹ no mês de maio, no período chuvoso na região, apresentando um aumento gradativo no sentido do oceano.

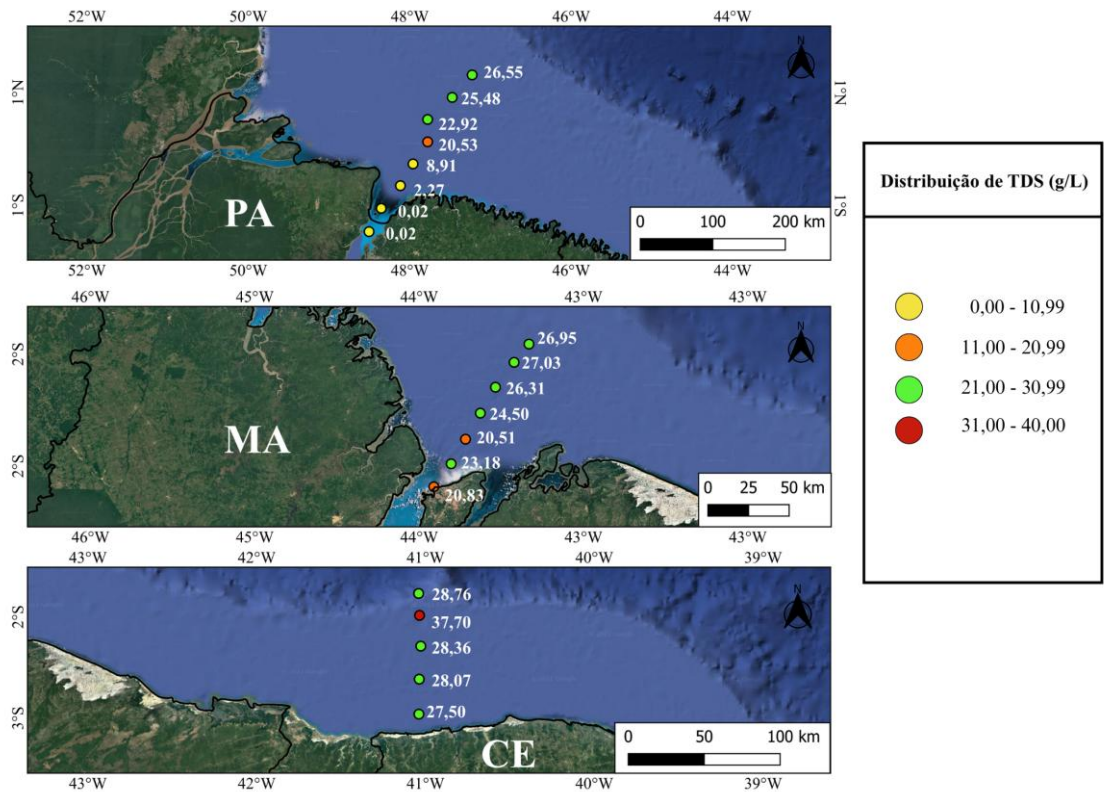
5.2.3. Sólidos Totais Dissolvidos

Os Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) representam a concentração de sais dissolvidos e outras pequenas substâncias presentes na coluna d'água. A concentração do TDS, do mesmo modo que a condutividade, possui origens geológicas, da água do mar ou devido às atividades antrópicas em uma região (Rusydi, 2018). Em algumas condições,

o TDS e a condutividade podem estar correlacionados, dependendo da salinidade e conjuntamente com a temperatura (Dewangan, 2023). Correlacionar estes parâmetros é essencial, pois todos eles estão relacionados com a presença de íons dissolvidos na água.

A distribuição superficial de TDS (g L^{-1}) para as PC's está disponível na figura 8.

Figura 8. Distribuição superficial de TDS (g L^{-1}) nas PC's registradas neste estudo.



Fonte: Luz (2025).

A variação do TDS refletiu a influência dos parâmetros físicos e químicos, sobretudo a salinidade e a condutividade elétrica, que consideram a presença de íons na coluna d'água, indicando uma correlação positiva com o teor de íons dissolvidos no ambiente.

Tendo em vista isso, a PCPA apresentou um gradiente crescente ao longo da radial, com o valor mínimo de $0,02 \text{ g L}^{-1}$, indicando a influência da água doce provenientes dos rios na plataforma interna, e máximo de $26,55 \text{ g L}^{-1}$, onde se estabiliza com valores de $26,55 \text{ g L}^{-1}$, compatíveis com um ambiente de oceano aberto, onde a influência da pluma fluvial é mínima (Tabela 1).

Ao analisar a radial PCMA, uma variação crescente da costa em direção ao oceano também foi observada, seguindo o padrão dos demais parâmetros que levam em consideração a presença de íons para aumentar ou diminuir. O valor mínimo registrado foi de 20,51 g L⁻¹ e o máximo de 27,03 g L⁻¹ (Tabela 1).

O menor valor registrado foi no P1, ponto localizado na zona costeira, refletindo uma influência do aporte continental, tanto da descarga de rios quanto de processos costeiros como drenagem de áreas de mangue e o escoamento superficial, visto que a água doce possui menos sais dissolvidos do que águas oceânicas, e o maior valor no último ponto, sendo proporcional ao aumento de salinidade.

Na PCCE, o valor mínimo de TDS foi de 27,50 g L⁻¹ e a máxima de 37,70 g L⁻¹ (Tabela 1), apontando uma condição típica de águas costeiras influenciadas por processos de mistura, com uma influência de massas de água marinhas.

É importante destacar que, embora os valores para a PCMA e PCCE não apresentaram uma brusca variação, a diferença entre os extremos costeiro e oceânico é suficiente para evidenciar uma zona de transição costeira para oceano aberto, onde ocorre os processos de mistura horizontal, modulados por aporte fluvial, ventos e a circulação da plataforma.

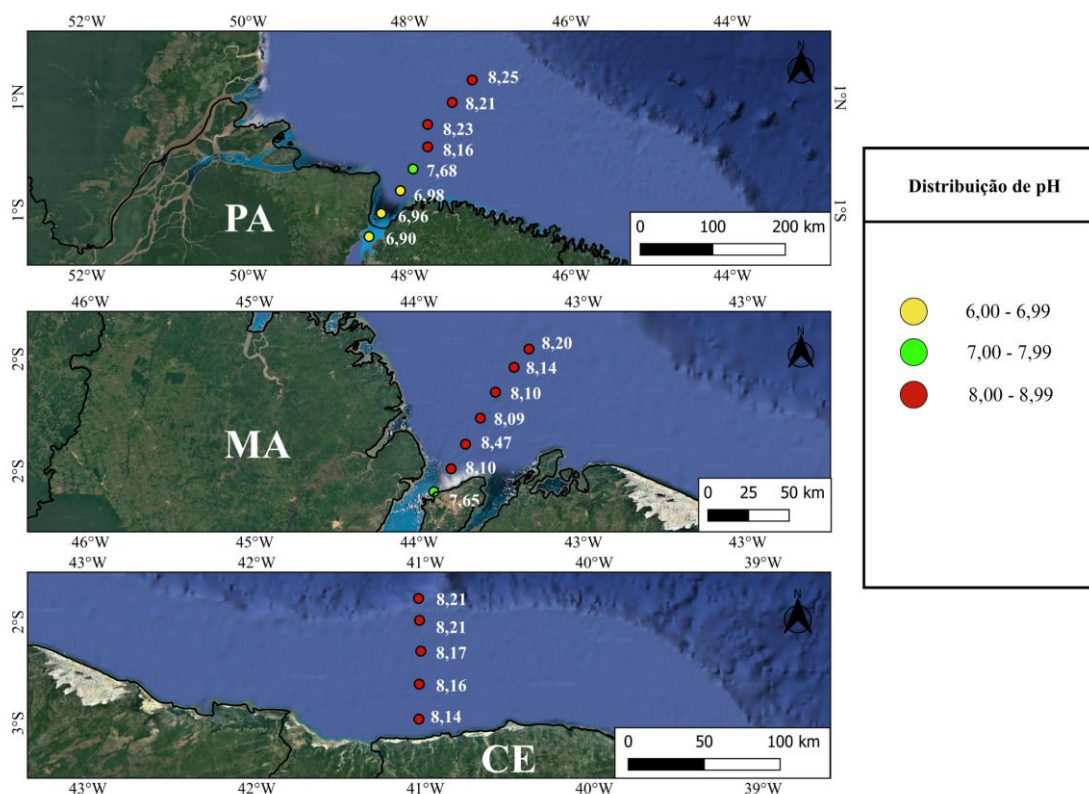
Segundo Moura (2017), as concentrações de TDS possuem uma correlação direta e proporcional com a salinidade e condutividade devido os teores de íons presentes nas amostras, explicando o padrão com gradiente crescente registrado para as PC's neste presente estudo. De maneira adicional, Mascarenhas (2019) encontrou os menores valores de TDS em condições de alta descarga na plataforma amazônica, com uma média de 23,70 g L⁻¹, no período chuvoso.

5.2.4. pH

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é o parâmetro que indica a acidez, neutralidade ou basicidade no meio aquoso, conforme a escala de pH que varia de 0 a 14, onde o 7 representa o neutro, os valores abaixo do 7 representam acidez e acima de 7 representam a água básica (Varela *et al.*, 2022). O pH da água do mar possui tanto variação vertical como horizontal, e o seu aumento geralmente ocorre no período vespertino do dia, pois os organismos que realizam atividade fotossintetizante necessitam do CO₂ para a absorção, reduzindo a concentração desse elemento na coluna d'água e tornando o meio mais básico (Gomes, 2005).

A Resolução CONAMA n° 357/05 determina padrões de qualidade para o pH da água nos ambientes aquáticos. Para águas doces, o valor apropriado está entre 6,0 a 9,0, e para águas salobras e salinas entre 6,5 a 8,5. A distribuição superficial do pH para as plataformas continentais estudadas está disponível na figura 9.

Figura 9. Distribuição superficial de pH nas PC's registradas neste estudo.



Fonte: Luz (2025).

Deste modo, foi observado um gradiente nítido nos valores de pH na PCPA, apresentando um mínimo de 6,90 e um máximo de 8,25 (Tabela 1), que acompanhou a transição de um ambiente costeiro para marinho. Nos pontos mais próximos da costa (P1 ao P3), as águas apresentaram características ácidas e levemente neutras, corroborando com a baixa salinidade analisada nestes pontos, onde o ambiente possui mais influência de águas doces.

A partir do P4, na plataforma intermediária, foi observada uma transição, onde o pH começa a se tornar básico, sinalizando uma redução da influência continental e maior interferência oceânica. Nos pontos mais externos, o pH se manteve estável e básico, característicos de um ambiente marinho.

Na PCMA, os resultados apresentaram uma variação discreta, com valor mínimo de 7,65 e máximo de 8,47 (Tabela 1), se mantendo no básico. O menor valor no P1 indicou uma influência dos processos estuarinos e continentais, possivelmente oriundos das descargas fluviais, dos processos de decomposição bacteriana e respiração de organismos. A partir do P2, observamos uma elevação no pH, permanecendo constante nos demais pontos da radial, refletindo condições oceânicas, com menor influência continental. Além disso, reforçando uma alta atividade fotossintética, onde há remoção do CO₂ pelos fitoplânctons favorecem o aumento do pH.

Na PCCE, notamos uma variação sutil, porém de acordo com a dinâmica da plataforma, que possui uma menor influência fluvial e maior contribuição oceânica. O valor mínimo registrado foi de 8,16 e o máximo de 8,21 (Tabela 1), fornecendo evidências de uma plataforma com características marinhas.

De acordo com os critérios estabelecidos pelo CONAMA 357/05, os valores registrados na PCPA, PCMA e PCCE estão dentro dos parâmetros de qualidade para ambientes costeiros e regiões oceânicas. Ademais, o comportamento de cada radial ratificou com o esperado, sobretudo regiões com processos de drenagem continental e processos de decomposição que contribuem para a acidificação da água, especialmente durante o período chuvoso, onde ocorre uma maior vazão dos rios.

Santos e Muniz (2012), por meio dos dados obtidos do Programa REVIZEE III e IV, registraram na plataforma continental do Pará valores de máxima de 8,30 em maio de 1999, corroborando com a máxima na PCPA registradas nesse trabalho. O pH registrado no trabalho de Carvalho (2016), apresentou valores homogêneos durante toda a radial, sob a influência do período chuvoso na plataforma do Maranhão, onde o valor médio foi de 8,01 e o desvio padrão de 0,28, corroborando com a média e desvio padrão encontrados na PCMA. Na PCCE, Silva (2024) registrou valor médio de 8,15 nas águas superficiais da plataforma do Ceará, semelhante à média encontrada neste presente estudo.

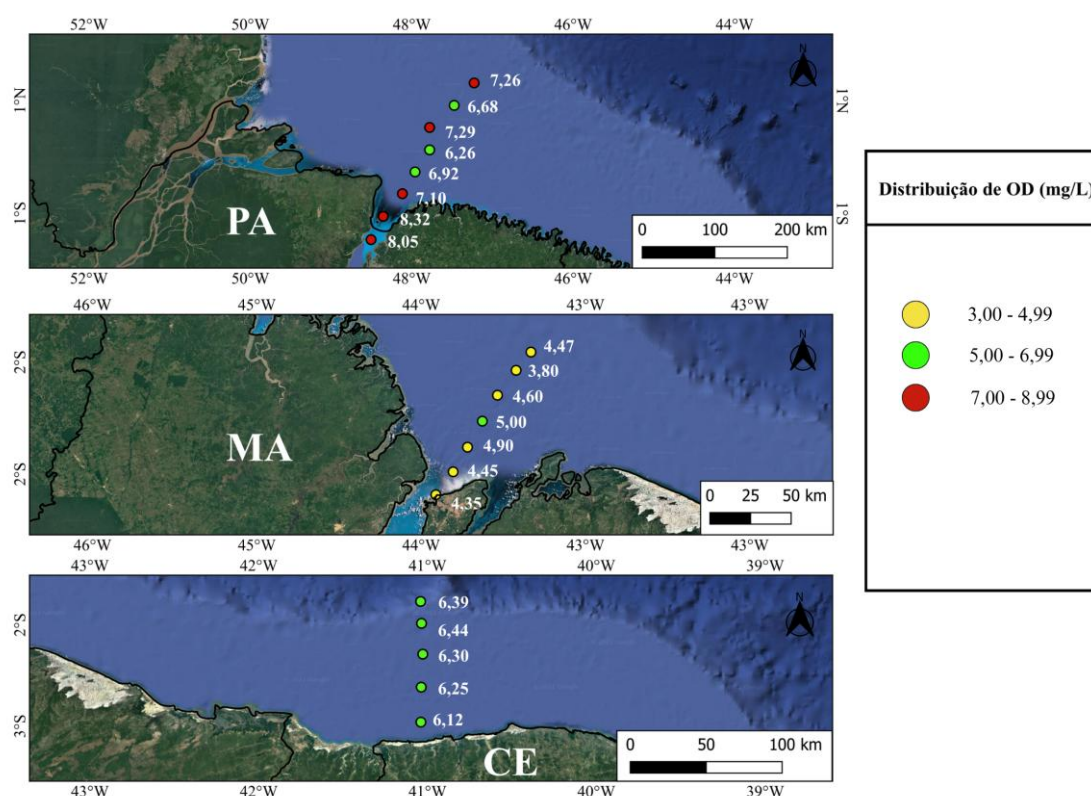
5.2.5. *Oxigênio Dissolvido*

O Oxigênio Dissolvido (OD) representa a quantidade O₂ presente na água disponível para processos como a respiração dos organismos aquáticos. A solubilidade desse gás varia de acordo com a temperatura, que quanto mais elevada ocorre redução na

concentração do OD no ambiente, com os processos biológicos e pela troca de gases com a atmosfera (Ocomana, 2024).

Os critérios estabelecidos pela Legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005) foram seguidos neste estudo. Para águas doces a concentração de OD não deve ser inferior à 6 mg L^{-1} , para águas salobras não inferior à 5 mg L^{-1} e para águas salinas não inferior à 6 mg L^{-1} . A distribuição superficial de OD (mg L^{-1}) para as PC's está apresentada na figura 10.

Figura 10. Distribuição superficial de OD (mg L^{-1}) registradas nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

A PCPA apresentou valores de mínimo $6,26 \text{ mg L}^{-1}$ e máximo $8,32 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1). Os pontos localizados próximos à zona costeira (P1 e P2) foram registradas as maiores concentrações de OD. A presença de águas mais doces, junto com renovação constante, favorece uma maior capacidade de solubilização do oxigênio, além da intensa troca gasosa, devido à uma maior turbulência na coluna d'água.

Nos pontos intermediários da plataforma, observamos uma redução do OD, indicando um avanço para um ambiente mais salobro e um maior consumo de oxigênio por organismos e microrganismos. A partir do P6 foi observado um aumento e uma

estabilidade nas concentrações, caracterizando uma maior produção de atividade fotossintética na plataforma externa, provendo a disponibilidade de OD na coluna d'água.

Na distribuição da PCMA, os valores observados apresentaram mínimo 3,80 mg L⁻¹ e máximo 5,00 mg L⁻¹ (Tabela 1). Os pontos localizados na plataforma interna apresentaram os teores mais baixos nessa radial, podendo estar associados ao aporte de matéria orgânica proveniente do continente, que aumentam os processos da demanda de bioquímica de oxigênio (DBO), típico de ambientes influenciados por rios, que intensificam os processos de decomposição, diminuindo a disponibilidade de oxigênio na água.

Os valores na plataforma intermediária, indicaram a zona de mistura de águas continentais e marinhas, que são mais oxigenadas em comparação a região da plataforma interna. Em particular, no P6 foi registrado o menor valor ao longo da radial. Ressalta-se que a coleta neste local ocorreu durante o período noturno (18h), sendo a última coleta do dia, devido à coleta de fitoplânctons que foi realizada junto com a coleta de água, quando a ausência da luz solar impede a penetração na camada eufótica, inviabilizando o processo de fotossíntese. Nesse contexto, o consumo de oxigênio dissolvido pelos organismos permanece ativo, mas sem reposição fotossintética, resultando na redução da disponibilidade de OD na superfície da água.

Na plataforma externa, os valores voltam a se elevar, possivelmente em decorrência do horário da coleta, realizada no turno da manhã, onde o processo fotossintético é retomado devido a incidência de luz solar.

Na PCCE os dados permaneceram elevados e homogêneos ao longo da radial, com mínimo de 6,12 mg L⁻¹ e máximo de 6,44 mg L⁻¹ (Tabela 1), caracterizando uma plataforma com produção primária ativa e com boa disponibilidade de OD.

De acordo com a resolução vigente do CONAMA 357/05, a PCPA permaneceu dentro dos padrões para águas doces, salobras e salinas, indicando boas condições de oxigenação na coluna d'água, favorecendo a manutenção dos processos ecológicos ao longo da radial. Na PCMA, os teores analisados foram ligeiramente abaixo dos critérios estabelecidos para as águas salobras e salinas, possivelmente em decorrência de características ambientais, como elevado aporte de matéria orgânica fluvial, além do horário da coleta. Tal condição reforça a necessidade de monitoramento contínuo da área, a fim de evitar a progressão para estados de hipóxia. Na PCCE, os valores foram considerados dentro dos padrões adequados para águas salinas conforme a resolução.

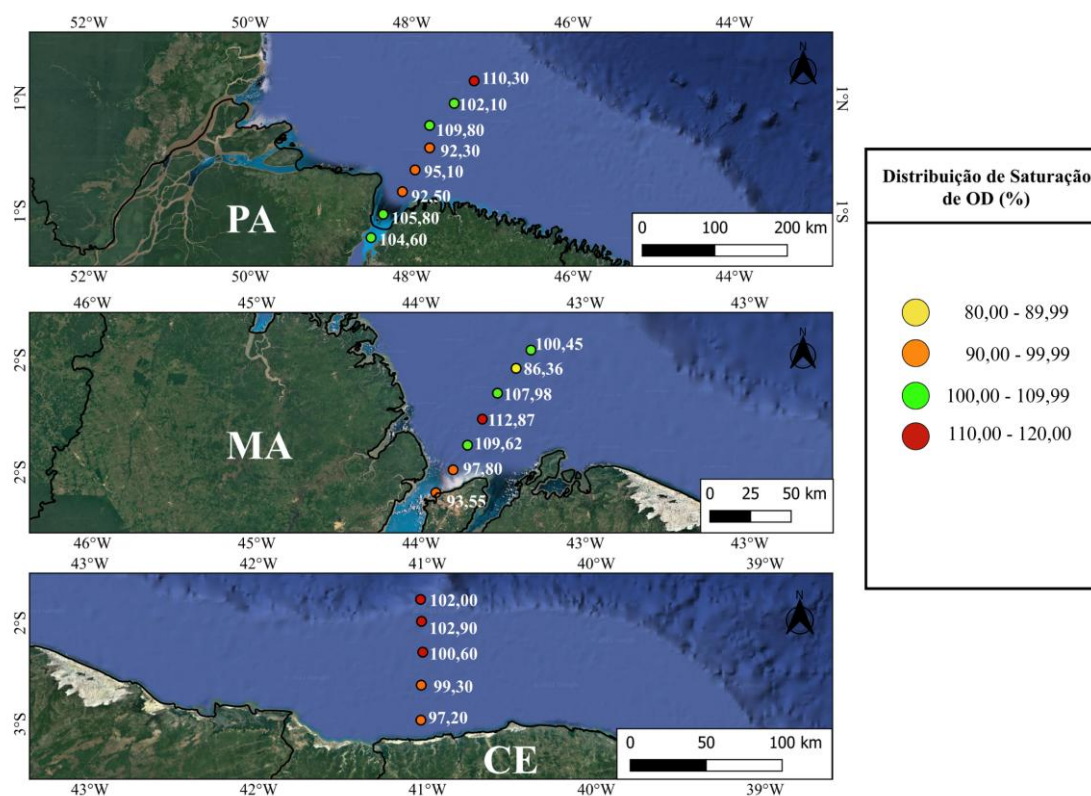
O valor médio dos teores de oxigênio dissolvido registrados no estudo de Carvalho *et al.* (2016) na plataforma continental do Maranhão foi de 4,26 mg L⁻¹ na estação chuvosa, permanecendo estável durante todo o estudo e abaixo dos critérios estabelecidos pela resolução vigente, tal como constatado neste estudo. Ademais, descreveu que as concentrações de OD podem variar entre 0,0 e 8,0 mg L⁻¹, o que corrobora com as variações determinadas na PCPA, PCMA e PCPE.

Nunes e Matos (2017) em seu trabalho na plataforma continental da Bahia observou um teor médio para o OD de 6,35 mg L⁻¹, onde a região apresentava valores de salinidade entre 36 e 39 g kg⁻¹ dispondo uma predominância de Águas Tropicais. De certa forma, esses dados corroboram com o valor médio determinado na PCCE para OD em um ambiente com salinidade elevada ao longo de toda a radial.

5.2.6. Saturação do OD

A distribuição superficial da saturação do OD para a PCPA, PCMA e PCCE está disponível na figura 11 a seguir.

Figura 11. Distribuição superficial de %OD registradas nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

A saturação do oxigênio dissolvido (%OD) ao longo da radial PCPA apresentou valores com leves oscilações e variações de mínimo 92,30 % e máximo de 110,30 % (Tabela 1) mostrando um ambiente com boas condições de oxigenação. Os pontos na região da plataforma interna, apresentaram os maiores índices de oxigenação, caracterizando uma região com alta produtividade primária associada aos rios.

Um leve decréscimo ocorre nos pontos intermediários, coincidindo com os valores de OD registrados nesses pontos. Nos pontos mais externos da radial, os valores de saturação (%OD) foram os mais elevados, indicando um ambiente supersaturado, visto que a plataforma externa da PCPA possui alta disponibilidade de OD.

Quanto a PCMA, o valor mínimo na radial foi 86,36 % e o máximo de 112,87 % (Tabela 1). Na região interna da plataforma, a %OD apresentou valores próximos à saturação, o que pode estar associado a maior presença de matéria orgânica, devido à influência fluvial dos rios que desembocam nessa região, que por sua vez limitam a penetração da luz e a atividade fotossintética.

Na plataforma intermediária, observamos um aumento expressivo chegando a valores de supersaturação (acima de 100%), possivelmente resultados de uma maior liberação de oxigênio na água, gerados por fitoplâncton ou plantas aquáticas. No P6, observamos uma redução da %OD, referente ao horário da coleta (18h) no turno noturno, coincidindo com as determinações de OD para este ponto.

Na plataforma externa, a %OD retorna a se elevar, onde o ambiente possui boas condições de oxigenação, dado a produção primária que volta a ser ativa. É relevante mencionar que, apesar dos valores de OD apresentarem-se relativamente baixos, os percentuais de %OD foram elevados, podendo ser atribuídos à menor capacidade de retenção de oxigênio pela água sob as condições locais de temperatura elevada e salinidade.

Na radial PCCE, os dados apresentaram um gradiente crescente ao longo da radial, com um mínimo registrado de 97,20 % e máximo de 102,90 % (Tabela 1). Os números analisados mostram que essa plataforma possui boas condições de oxigenação, corroborando com os valores observados para o oxigênio dissolvido.

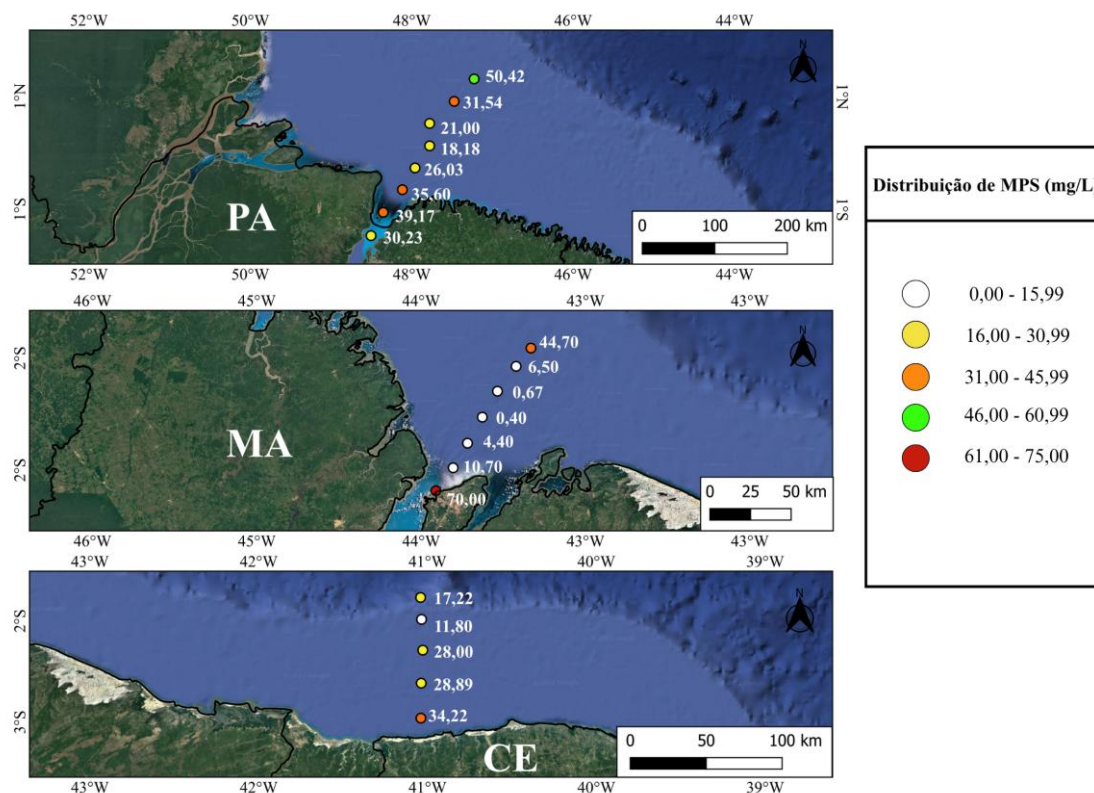
Com relação a diferença das concentrações OD abaixo dos critérios estabelecidos pelo CONAMA 357/05 e os teores de %OD altos na PCMA, Rodrigues (2016) apresentou a mesma questão em seu estudo, onde o percentual foi maior que 30%, caracterizando uma região de boa oxigenação. Nunes e Matos (2017) relataram em seu

estudo que a plataforma continental da Bahia, sob a condição da estação chuvosa, apresentou valor médio superior a 98%, indicando condições aceitáveis e adequadas para o desenvolvimento de organismos, corroborando com os valores médios de %OD observados nas plataformas estudadas.

5.2.7. Material Particulado em Suspensão – MPS

A distribuição superficial do MPS para as plataformas deste estudo está disposta na figura 12.

Figura 12. Distribuição superficial de MPS (mg L^{-1}) registrada nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

A análise dos resultados do MPS na PCPA apresentou um mínimo de $18,18 \text{ mg L}^{-1}$ e um máximo de $50,42 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1). Observa-se uma distribuição que não segue um padrão linear, mas que reflete os processos costeiros e oceânicos sobre a plataforma. Nos pontos localizados na plataforma interna, os valores foram elevados, o que é esperado devido à forte influência continental, associada à pluma fluvial em direção ao oceano, confirmando com a baixa salinidade registrada nesta região.

Nos pontos intermediários, observa-se uma redução nos valores de MPS, refletindo a retroflexão da pluma estuarina, influenciada pela atuação da CNB, proveniente de leste. Essa dinâmica impede a formação de um padrão linear da dispersão da pluma sobre a plataforma continental, o que explica a elevação dos valores na plataforma externa e evidencia a influência da descarga fluvial até os pontos mais afastados da PCPA.

Na PCMA, o valor mínimo registrado foi $0,00 \text{ mg L}^{-1}$ e o máximo de $70,00 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1). Foi possível observar uma tendência de decréscimo dos valores no sentido costa em direção ao oceano, contudo os valores voltam a aumentar na plataforma externa, acontecendo o mesmo processo registrado na PCPA, devido à CNB que faz com que a descarga de partículas suspensas não ocorra de maneira linear na plataforma do MA.

O comportamento nos primeiros pontos internos reflete os processos de exportação e deposição do material particulado. O valor elevado no P1 evidencia o aporte fluvial proveniente dos rios e drenagens costeiras. Nos pontos intermediários, o MPS sofre reduções, indicando a atuação da corrente e a deposição de partículas, o que é compatível com a progressão do aumento da salinidade, indicando a zona de mistura. Nos pontos externos, sobretudo o P7, observamos um aumento do MPS, indicando a influência da descarga continental para até a zona externa da plataforma.

O resultado de mínimo e máximo obtido na PCCE foi de $11,80 \text{ mg L}^{-1}$ e $34,22 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1), respectivamente, indicando um gradiente decrescente ao longo da radial. As maiores concentrações registradas foram nos pontos na plataforma interna, refletindo a influência processos físicos na ressuspensão do material sedimentado. Nos pontos na plataforma externa, o decréscimo é mais acentuado, associado a diminuição de processos costeiros e menor aporte de partículas terrígenas.

Nota-se que as três radiais apresentaram os maiores valores de MPS nas zonas costeiras e seguiram o mesmo comportamento costa-oceano, enfatizando os processos de ressuspensão na zona costeira e a lixiviação gerada por chuvas e erosão. Além da presença da descarga dos rios na PCPA e PCMA.

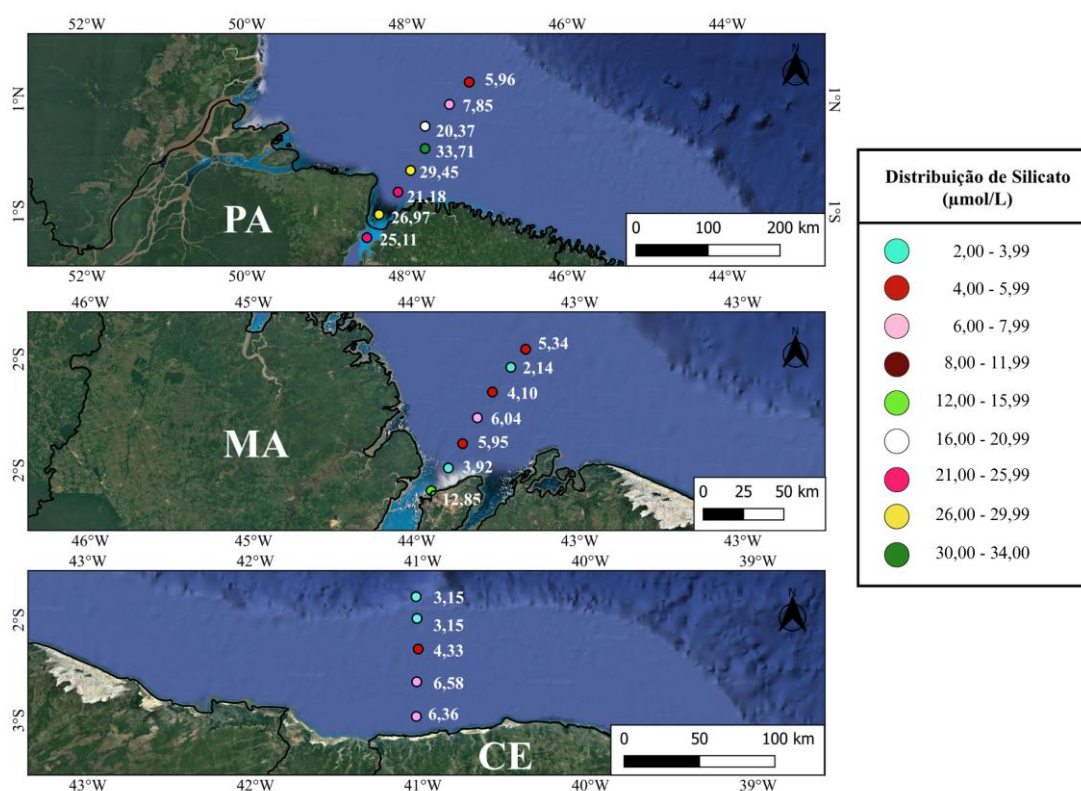
Mascarenhas (2019) realizou um estudo sobre a influência do estuário do rio Pará na plataforma continental interna e relatou que a dispersão da pluma estuarina amazônica está associada à retroflexão da CNB, o que impede que a descarga de sedimentos forme uma língua linear na direção do oceano, o que corrobora com o observado nos padrões da PCPA e PCMA neste estudo.

Siqueira *et al.* (2017) relatou em seu estudo que os Rios Amazonas e Pará influenciam no transporte de materiais entre o continente e o oceano, principalmente na plataforma interna do Pará, validando as interpretações realizadas quanto o MPS nesta análise. Costa (2017) registrou na plataforma continental do Maranhão que o material particulado em suspensão teve um decréscimo significativo no sentido costa-oceano no período chuvoso na região, corroborando com os dados observados neste estudo.

5.2.8. Silicato

A distribuição superficial do silicato dissolvido para PCPA, PCMA e PCCE, estão dispostas na figura 13.

Figura 13. Distribuição superficial de silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) registrada nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

O resultado de mínimo e máximo de silicato na PCPA foi de $5,96 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $33,71 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1), respectivamente. No geral, os valores foram condizentes com o esperado para esta região, visto que as principais fontes desse nutriente para a coluna d'água são os rios e o intemperismo das rochas silicásticas.

Nos pontos da plataforma interna, a influência continental foi evidente, e as maiores concentrações de nutrientes dissolvidos sobre a plataforma continental são explicadas não apenas pelos aportes continentais, mas também pela intensificação do transporte horizontal de material do compartimento sedimentar para a coluna d'água induzidos pela mistura de marés e ondas. Contudo, apresentou pequenas oscilações nas concentrações, em razão da dinâmica da pluma fluvial e da CNB. Além disso, os fitoplânctons, como as diatomáceas, utilizam o silicato dissolvido para construir suas frústulas, assim diminuindo as concentrações do nutriente no ambiente.

No P5, situado na plataforma intermediária, observou-se uma elevação nas concentrações, indicando a retroflexão da pluma fluvial. Nos pontos externos, os valores de silicato apresentaram redução, evidenciando características típicas do ambiente oceânico, onde, à medida que se afasta dos rios, os teores desse nutriente tornam-se menores. Apesar dessa diminuição, a PCPA não apresentou aspectos oligotróficos, o que indica a presença significativa de silicato ao longo desta radial.

O valor mínimo na PCMA foi de $2,14 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $12,85 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1). O maior valor registrado foi no P1, o que é esperado, considerando a intensa influência continental sobre a região. Esse enriquecimento está diretamente associado ao aporte de materiais oriundos dos rios, uma vez que em ambientes costeiros, especialmente influenciados por sistemas estuarinos e com presença de manguezais, como a PCMA, funcionam como fontes naturais de silicato, através da lixiviação da decomposição de materiais terrígenos, sedimentos e matéria orgânica.

No P2, observamos uma diminuição das concentrações influenciados por processos de circulação ou a assimilação do fitoplâncton, como diatomáceas que necessitam desse nutriente para a formação das frústulas.

Em alguns pontos na plataforma intermediária e na plataforma externa, ocorre um ligeiro aumento de silicato, sugerindo a ressurgência de águas profundas ricas em nutrientes, ou a ressuspensão lenta de frústulas que contribuem com disponibilidade de SiO_4 na coluna d'água. O comportamento da PCMA reflete a transição de um ambiente costeiro, controlado pelo aporte de rios e pela dinâmica dessa PC.

Na PCCE, o valor mínimo analisado foi de $3,15 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $6,58 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1). Foram observadas concentrações decrescentes na direção costa-oceano, onde os maiores valores de silicato se concentraram nos pontos sob a maior influência continental. Nos primeiros pontos (P1 e P2), localizados na região da

plataforma interna, há uma maior disponibilidade, estando associados à maior concentração de MPS.

Na plataforma intermediária, observa-se uma redução progressiva das concentrações de silicato, refletindo a diminuição da influência continental e sedimentar, incorporando características oceânicas, como maior salinidade, águas mais básicas e oxigenadas. Essa distribuição espacial é esperada para a região, visto que as fontes desse nutriente são de origens continentais.

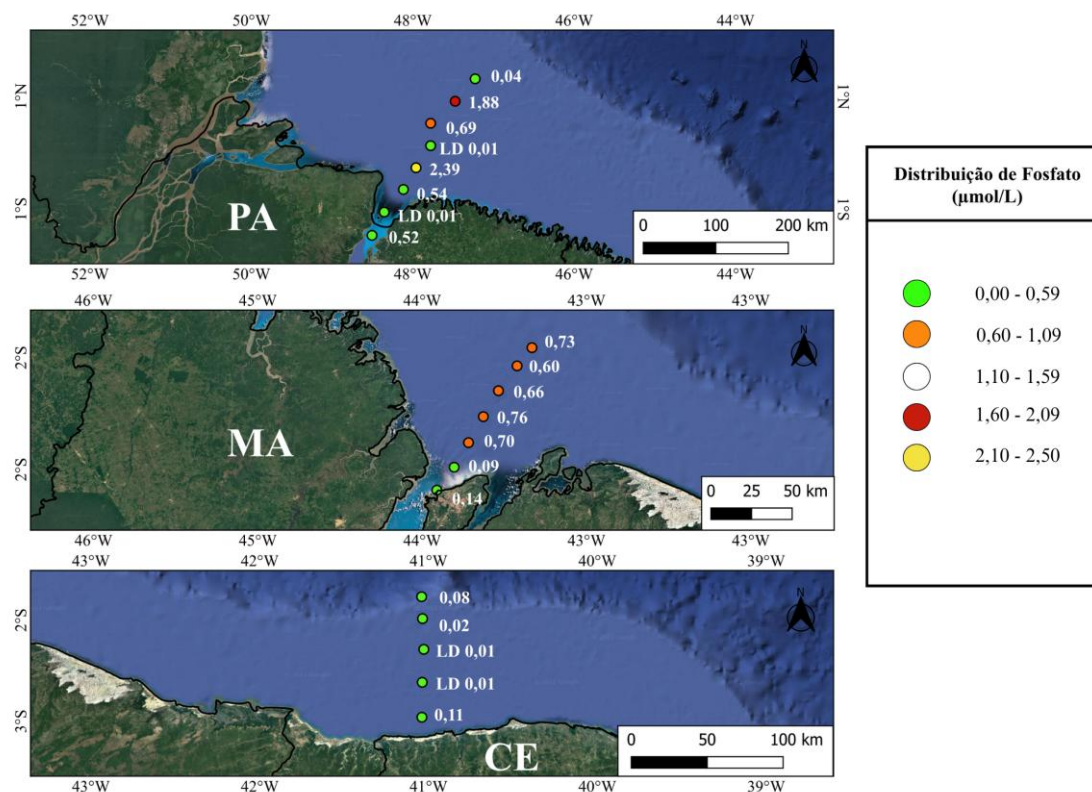
Carvalho et al. (2016), apresentou uma média de $4,75 \mu\text{mol L}^{-1}$ em seu estudo realizado na plataforma do Maranhão, sob o período chuvoso na região, corroborando com a registrada neste presente estudo. Cordeiro *et al.* (2024) observou em seu trabalho altos teores de silicato no período chuvoso na região da plataforma equatorial, onde a variação foi de $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $113,6 \mu\text{mol L}^{-1}$ como consequência dos processos de lixiviação do solo, tal como observado neste estudo, sobretudo na PCMA, onde o maior valor foi na zona mais próxima ao continente, na região da baía de São Marcos.

5.2.9. Fosfato

No Oceano Atlântico Sul, sobretudo em regiões tropicais, as concentrações de fosfato são limitantes para processos biológicos, onde as fontes para este nutriente são a descarga fluvial e os processos de remineração que atuam como manutenção dos processos na camada superficial do oceano (Suzuki *et al.*, 2015).

A distribuição superficial do fosfato inorgânico dissolvido nas plataformas continentais estudadas está apresentada na figura 14.

Figura 14. Distribuição superficial de fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) superficial registrada nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

O valor mínimo de fosfato registrado na PCPA foi de $0,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $2,39 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1). Nos pontos P2 e P5, os teores de fosfato ficaram abaixo do limite de detecção do método.

Nos pontos próximos a costa, os valores foram relativamente baixos para águas costeiras, mas ainda perceptíveis, indicando a entrada do PO_4^{3-} por meio da entrada de água doce, além do intemperismo e erosão, evidenciados pelos elevados valores de MPS registrados nesses pontos. A baixa concentração em alguns pontos pode estar associada ao consumo por organismo que realizam a fotossíntese na coluna d'água, sobretudo nos pontos próximos à costa, visto que esses seres estão de forma abundante na zona da plataforma interna, próximo a fonte de nutrientes.

O P7, localizado na plataforma externa, apresentou a maior concentração de fosfato ao longo da radial. Tal resultado pode estar associado à decomposição de organismos, processo que contribui para a liberação de fósforo no ambiente, especialmente em regiões onde não há influência direta de aporte fluvial. Adicionalmente, a retroflexão da pluma estuarina amazônica favorece o enriquecimento do fosfato na plataforma externa da PCPA.

Na porção mais externa, os valores de fosfato voltam a reduzir, possuindo características marinhas e oligotróficas, devido à menor descarga fluvial e maior estabilidade dos parâmetros hidroquímicos.

Na PCMA, os resultados de mínimo e máximo foram de $0,09 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $0,76 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1), respectivamente. Observa-se uma distribuição que reflete a hidrodinâmica da PC do Maranhão. Nos pontos na plataforma interna, os dados mostraram baixas concentrações nas proximidades da costa, apesar da influência continental ser teoricamente mais forte, os processos biológicos, favorecem uma rápida assimilação do fosfato pelos organismos fitoplanctônicos, levando uma remoção eficiente desse nutriente na coluna d'água. Além disso, o ambiente mais costeiro é sujeito à ação das marés, que promovem a exportação ou/e deposição no sedimento.

Na plataforma intermediária, observamos uma elevação nas concentrações, caracterizando as zonas de mistura da plataforma, e nesses ambientes, geralmente ocorre a remineralização da matéria orgânica em profundidades, tendendo a liberar nutrientes novamente para a coluna d'água. Isso corrobora com os dados do material particulado em suspensão, que ainda apresenta uma fração comparado a zona externa da plataforma.

No decorrer dos pontos na radial, observamos que os valores apresentam uma constância, com oscilações sutis em direção ao talude continental, o que sugere, na PCMA, que os processos regenerativos da matéria orgânica (MO) assumem um papel predominante na sustentação dos teores de fosfato nas regiões mais distantes da costa, além da dinâmica regional.

Na PCCE, os valores de fosfato variaram entre $0,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1), evidenciando um padrão de baixas concentrações ao longo de toda a extensão da plataforma, o que caracteriza a baixa disponibilidade desse nutriente na região. Dessa forma, definimos a radial da PCCE como oligotrófica em todos os pontos ($<0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$), uma vez que a principal fonte de fosfato, a descarga fluvial, é limitada nessa área, indicando um déficit natural de aporte externo

Siqueira *et al.* (2017) relatou em seu trabalho que as concentrações de fosfato em locais próximos a desembocadura de rios, sobretudo do Rio Pará, tendem a precipitar favorecendo a sedimentação, assim justificando a baixa concentração registrada neste presente estudo.

Na PCMA, Carvalho *et al.* (2016) observou um gradiente decrescente na estação chuvosa, com uma média de $0,35 \mu\text{mol L}^{-1}$, em uma radial da costa em direção ao talude continental, corroborando com o mesmo gradiente registrado neste estudo.

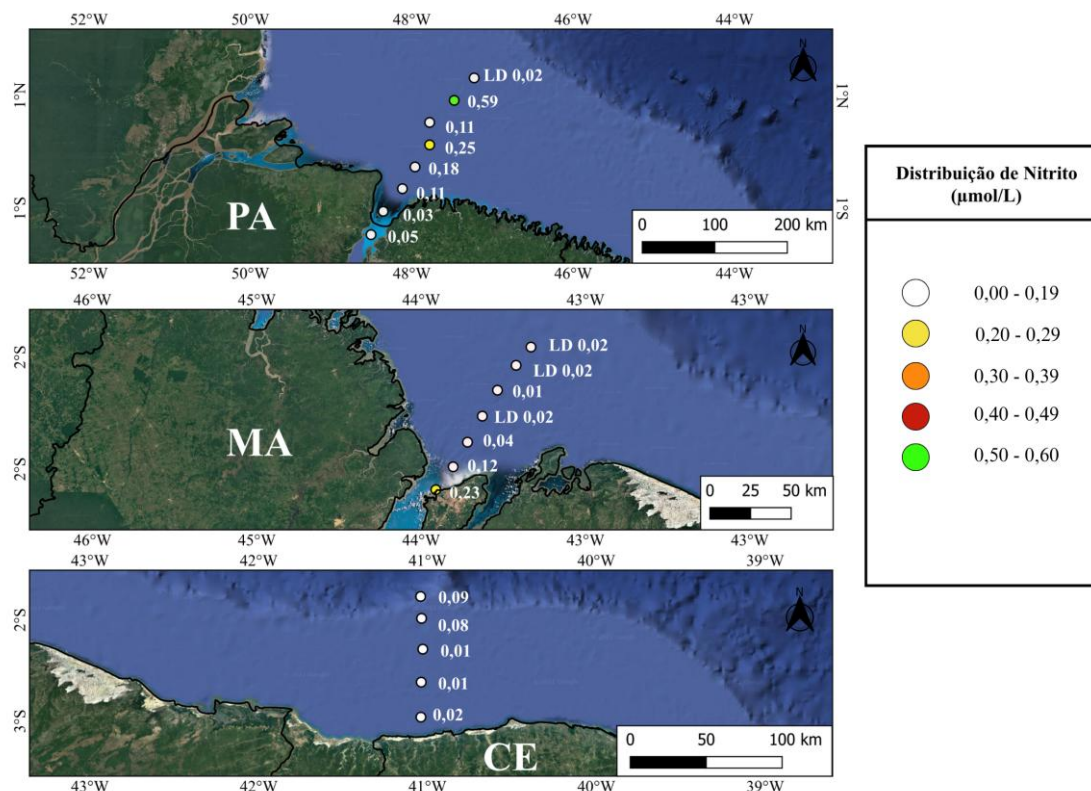
Santana (1997) descreveu em seu trabalho que o fosfato presente na plataforma externa e no talude continental superior do Ceará, permanece na forma particulada, contudo quando as águas ressurgem, ricas em concentrações de nutrientes, concentram-se na forma dissolvida na superfície, onde as águas são mais quentes. Isto corrobora com os dados analisados para a região da PCCE neste estudo.

As PC's do Pará e Maranhão apresentaram um padrão semelhante da distribuição do fosfato, possivelmente por possuírem aporte de rios, ventos que resultam em transporte eólico, intemperismo e erosão, que geram maiores concentrações de fosfato nessas plataformas. Ao contrário da PCCE, que apesar de sofrer influências dos ventos alísios e pequenas contribuições do aporte continental, não apresenta um ambiente rico em fosfato como as demais plataformas.

5.2.10. Nitrito

A distribuição superficial do nitrito dissolvido para as plataformas continentais estudadas está apresentada na figura 15.

Figura 15. Distribuição superficial de nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$) superficial registrada nas PC's deste estudo.



Fonte: Luz (2025).

O nitrito é considerado uma das formas mais instáveis dos compostos nitrogenados, devido aos processos de nitrificação, no qual o nitrito é rapidamente transformado em nitrato por atividade bacteriana, assim possivelmente não apresentando um gradiente linear crescente ou decrescente.

O mínimo e máximo das concentrações de nitrito analisadas na PCPA foram de $0,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $0,59 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1), respectivamente. Os menores valores encontrados na PCPA foram na plataforma interna, onde ocorre alta atividade relacionada a produção primária e os processos de nitrificação, especialmente em regiões próximas a descarga de rios e lixiviação.

No P7, maior valor na PCPA, o NO_2 reflete uma possível condição de acúmulo de matéria orgânica, associada a processos de amonificação e nitrificação parcial, atuando como um produto intermediário da oxidação da amônia. Além disso, esse acúmulo pode ser intensificado devido à redução do OD, que possui uma relação indiretamente proporcional com o nitrito, onde neste ponto observamos o menor teor de oxigênio dissolvido na PCPA.

No ponto localizado na plataforma externa, o valor analisado foi menor que o limite da absorvância, assim tendo uma ausência deste nutriente na região próxima ao talude, o que reflete um ambiente onde a nitrificação ocorre de maneira rápida, onde o nitrito é rapidamente transformado em nitrato.

Na PCMA, o valor mínimo obtido foi de $0,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ e o máximo de $0,23 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1). Os resultados apresentaram uma tendência decrescente no sentido costa-oceano, com os valores mais elevados registrados na plataforma interna, onde a contribuição dos rios e o escoamento superficial são fontes para essa zona mais costeira. Os dados de altas concentrações de MPS e menores teores de OD nesses pontos corroboram com o teor de nitrito.

A partir do P3 observamos um decréscimo ao longo da radial, de tal forma que nos pontos intermediários e externos, os resultados apresentaram concentrações mínimas caracterizando um ambiente com menores teores de matéria orgânica, salinidade mais elevada e maior disponibilidade de oxigênio, caracterizando um ambiente oceânico, que favorece o processo de nitrificação e denitrificação.

O valor mínimo e máximo obtido na PCCE foi de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $0,09 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1), apresentando menores concentrações nos pontos mais costeiros e um pequeno aumento nos pontos mais distantes.

O nitrito, sendo um composto intermediário no processo de nitrificação, é extremamente sensível às variações de oxigênio e à dinâmica biogeoquímica local. Por toda a radial, o ambiente foi oligotrófico ($<0,05 \mu\text{mol L}^{-1}$), onde os processos de nitrificação ocorreram de forma mais completa, com rápida conversão de nitrito em nitrato, especialmente em ambientes bem oxigenados, como foi observado nessa plataforma.

Nunes e Matos (2017) em seu trabalho na plataforma continental da Bahia, observou as concentrações de nitrito abaixo do limite de detecção pelo método, semelhantes ao encontrados neste estudo, confirmando o caráter oligotróficos nas plataformas. Ademais, as concentrações de nitrito no trabalho de Carvalho *et al.* (2016) na PCMA apresentou valor médio de $0,06 \mu\text{mol L}^{-1}$, corroborando com a média registrada neste estudo. Santos *et al.* (2009) encontrou valores de $0,20 \mu\text{mol L}^{-1}$ em uma plataforma continental tropical em seu estudo, semelhante ao registrados na PCCE neste presente estudo.

5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

O resultado do teste de normalidade (Shapiro-Wilk), ANOVA, Kruskal-Wallis e as diferenças significativas, estão dispostos na tabela 3 para as Plataformas Continentais do PA, MA e CE. Os parâmetros que não apresentaram distribuição normal ($p \leq 0,05$) estão em destaque na tabela. O teste post hoc utilizado após a ANOVA foi o de Tukey, enquanto para o teste de Kruskal-Wallis, utilizou-se o de Dunn, para identificar quais plataformas diferiram significativamente entre si.

Tabela 2. Valores estatísticos do teste de Shapiro-Wilk, ANOVA, Kruskal-Wallis e diferenças significativas para PCPA, PCMA e PCCE. Os dados sublinhados e em negrito indicam a distribuição não normal.

	PCPA	PCMA	PCCE	Testes	Valor de p do teste	Diferenças Significativas
Parâmetros	Valor de p	Valor de p	Valor de p			
Temperatura	0,0987	0,4184	0,9632	ANOVA	3.31E-02	PCPA vs PCMA (3,045E-05) PCPA vs PCCE (0,0024)
Salinidade	0,0693	0,3365	0,6828	ANOVA	0,0050	PCPA vs PCMA (0,0283) PCPA vs PCCE (0,0069)
Cond.	0,0691	<u>0,0002</u>	0,6471	Kruskal	0,0017	PCPA vs PCMA (0,0037) PCPA vs PCCE (0,0259)
TDS	<u>0,0001</u>	0,2119	<u>0,0031</u>	Kruskal	0,0017	PCPA vs PCMA (0,0003) PCPA vs PCCE (0,0259)
pH	<u>0,0153</u>	0,1585	0,3317	Kruskal	0,4944	-
OD	0,7577	0,6023	0,8781	ANOVA	3.01E-05	PCPA vs PCMA (1,9825-08) PCPA vs PCCE (0,0113) PCMA vs PCCE (3,12E-05)
OD(%)	<u>0,0002</u>	0,7998	0,8827	Kruskal	0,9167	-
MPS	0,8874	<u>0,0168</u>	0,5665	Kruskal	0,1776	-
Silicato	0,3795	0,0677	0,1409	ANOVA	0,0012	PCPA vs PCMA (0,0009) PCPA vs PCCE (0,0012)
Fosfato	0,0595	<u>0,0167</u>	<u>0,5926</u>	Kruskal	0,0454	PCMA vs PCCE (0,0136)
Nitrito	<u>0,0463</u>	<u>0,0110</u>	0,0570	Kruskal	0,1848	-

Fonte: Luz (2025).

Para a temperatura superficial da água, o teste estatístico (Tabela 2) revelou diferença significativas entre a PCPA e as outras radiais. Apesar de todas estarem localizadas na região equatorial, a plataforma do PA se diferenciou pelo intenso regime de chuvas instáveis e diários característicos da região, que contribuíram para o resfriamento das águas costeiras.

A salinidade superficial da água da PCPA, apresentou diferenças significativas em relação as outras PC's, visto que, principalmente na zona costeira, essa plataforma se diferenciou das demais pela alta descarga de água doce nessa região. Esses resultados reforçaram a interpretação da heterogeneidade regional da salinidade ao longo da costa norte-nordeste. Para a condutividade, o teste estatístico mostrou diferença significativa entre a PCPA e as demais plataformas (Tabela 2), reforçando o padrão estatisticamente observado para a temperatura e salinidade.

O teste estatístico para o TDS superficial apresentou comportamento semelhante ao observado na salinidade e condutividade, onde a PCPA se diferencia da PCMA e PCCE (Tabela 2), pois a descarga de água doce influenciou a distribuição desse parâmetro na PC do Pará. O pH da água nas plataformas estudadas não apresentou diferenças estatisticamente significativas (Tabela 2), se mantendo dentro de um padrão estuarino-oceânico estável, com um equilíbrio ácido-base.

A análise estatística para os dados de OD indicou diferença significativa entre as três radiais (Tabela 2), o que pode estar relacionado à variação na disponibilidade deste parâmetro em função da atividade fotossintética e do consumo respiratório por organismos, influenciados pelas condições específicas de cada plataforma. Para a %OD, não houve diferença significativa de acordo com o teste estatístico, mostrando que os ambientes possuem capacidade natural para se manter oxigenado.

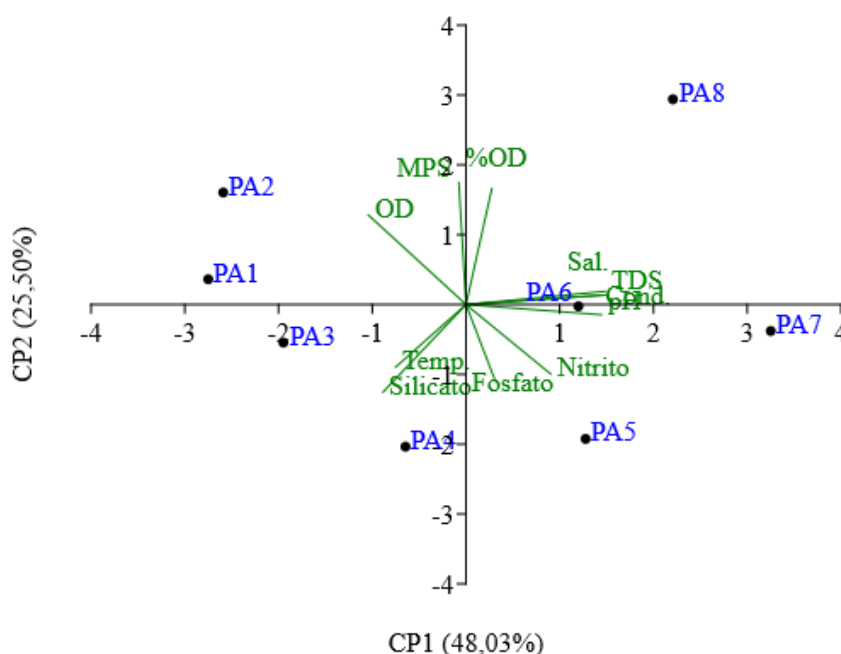
O teste estatístico realizado para o MPS, mostrou que as plataformas não são significativamente diferentes (Tabela 2), comprovando o padrão observado para os três ambientes.

O silicato dissolvido na PCPA apresentou diferenças significativas em relação as outras plataformas (Tabela 2), pois apresentou oscilações ao longo da radial. Com relação ao fosfato, a PCMA e PCCE apresentaram diferença significativa (Tabela 2), uma vez que a PCCE apresentou um ambiente oligotrófico em comparação a plataforma do MA, e não se diferenciou da PCPA pois esta plataforma apresentou pontos com baixas e altas concentrações em consequência da retroflexão da pluma fluvial. O resultado do teste

estatístico para o nitrito não mostrou diferenças significativas entre as PC's, refletindo um padrão oligotrófico para todas as regiões.

O resultado da Análise de Componentes Principais para a PCPA está disposto na figura 16, onde a soma das duas primeiras componentes principais explicou 73,15% da variabilidade total dos dados, sendo 46,22% atribuídos à CP1 e 26,93% à CP2 (Figura 16).

Figura 16. Análise de Componentes Principais (ACP) para a PCPA.



Fonte: Luz (2025).

Os parâmetros com uma relação positiva na CP1 foram: salinidade, TDS, condutividade, pH, temperatura, silicato, fosfato e nitrito. A CP1 foi fortemente influenciada por condições salinas e básicas, destacando o ambiente marinho, evidenciado pela correlação positiva entre a salinidade, o TDS, a condutividade e o pH, sobretudo nos pontos localizados na plataforma intermediária e externa da PCPA, caracterizando a transição ao longo do gradiente costa-oceano. Bem como, a temperatura e o silicato apresentaram uma relação direta, sugerindo que aumentos na temperatura superficial da água, estão associados com elevações nas concentrações de silicato.

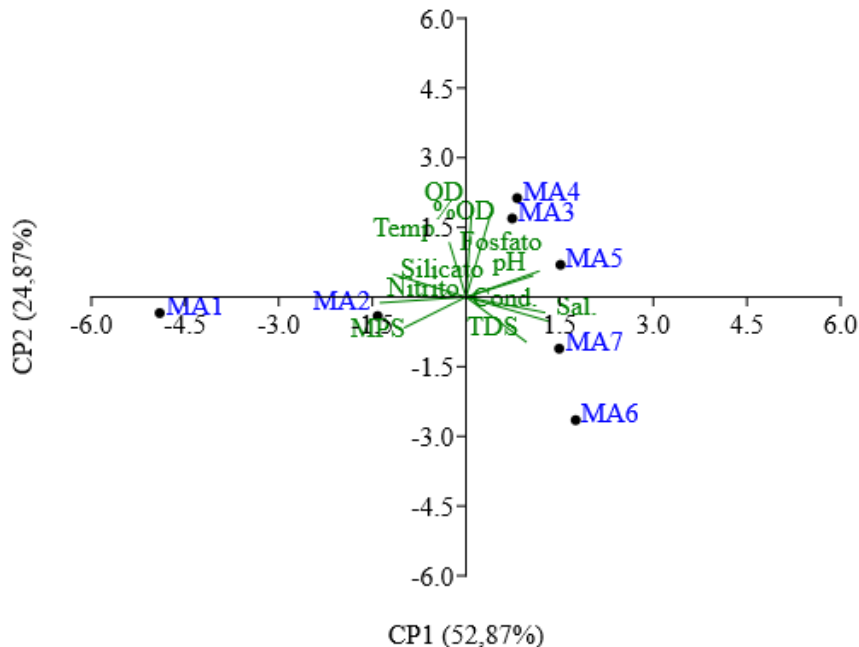
Por outro lado, o nitrito e o fosfato apresentaram uma relação negativa e inversamente relacionados com os parâmetros associados ao ambiente oceânico,

apontando que à medida que se afasta da plataforma interna, a concentração desses nutrientes tende a diminuir, uma vez que, a fonte é a descarga fluvial., sobretudo do fosfato.

A CP2 mostrou correlação entre os parâmetros: temperatura, OD, %OD e MPS, especialmente o MPS que se alinhou com a CP2 positivamente. O OD e o MPS, apresentaram carga positiva na CP2, mas estão inversamente relacionados com a condição salina, representando influência sobre águas da plataforma interna, com mais oxigenação e maior atividade biológica. A temperatura, apresentou carga negativa tanto para a CP1, quanto para a CP2, sugerindo que águas mais quentes foram localizadas no ambiente costeiro.

Para a PCMA, as duas componentes principais alegaram 77,74% da variabilidade total. A CP1 explicou 52,87 % da variabilidade dos dados, enquanto a CP2 explicou 24,87 % (Figura 17).

Figura 17. Análise de Componentes Principais (ACP) para a PCMA.



Fonte: Luz (2025).

Os parâmetros associados na CP1 foram: salinidade, TDS, condutividade e pH, destacando a condição oceânica, com as cargas positivas associadas à salinidade,

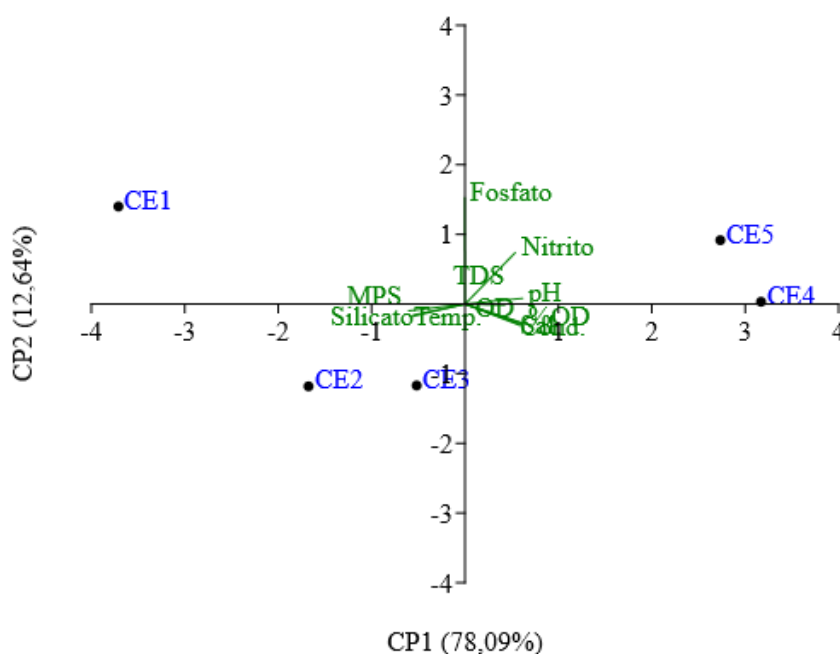
condutividade e TDS, com predomínio dessas condições nas amostras MA3 a MA7. A posição do pH associou a águas mais salinas e mais oxigenadas, possivelmente mais estáveis e com menor influência continental, como na região da transição oceânica.

Para a CP2 os parâmetros: temperatura, OD, %OD, MPS, silicato, fosfato e nitrito foram associados. A CP2, ponderou um ambiente de produção primária, com temperaturas mais elevadas. Observamos uma proximidade do vetor do MPS com os pontos localizados na plataforma interna, nos pontos MA1 e MA2, indicando a influência do aporte dos rios nessa região, reforçando a presença de águas mais ricas em material particulado e nutrientes.

Contudo, observa-se que a Análise de Componentes Principais (ACP) realizada para a PCMA não evidenciou variações expressivas ao longo da radial, uma vez que os vetores das variáveis foram curtos e permaneceram concentrados na região central do gráfico.

Para a PCCE, a soma das duas componentes principais explicou 90,73% da variabilidade total dos dados, sendo 78,09% associados a CP1 e 12,64% associados na CP2 (Figura 18).

Figura 18. Análise de Componentes Principais (ACP) para a PCCE.



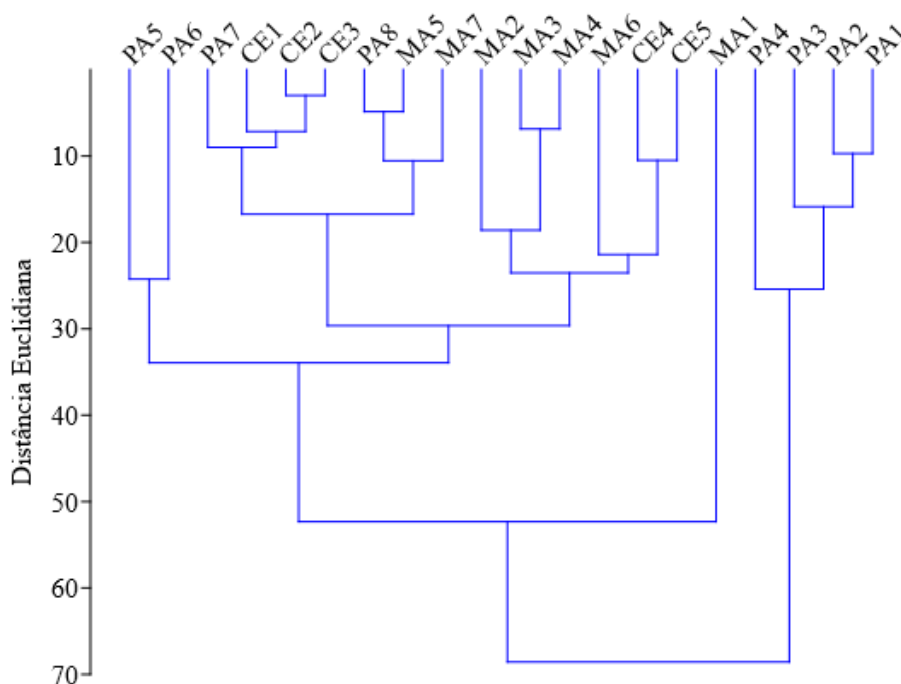
Fonte: Luz (2025).

A CP1 associou os parâmetros: salinidade, condutividade, TDS, pH, OD e %OD. O gráfico apresentou uma variabilidade ambiental analisada, concentrada principalmente em CP1, indicando uma relação direta desses parâmetros no ambiente marinho. Observa-se que o pH, não está inversamente correlacionado a salinidade, TDS e condutividade, mas sim em relação a CP2, indicando que em ambientes mais oxigenados, o pH tendeu a ser mais elevado.

A CP2 associou a temperatura, MPS e os nutrientes. Contudo, o vetor do silicato ficou mais próximo ao vetor do MPS, indicando a maior concentração desse nutriente com a descarga continental. Em contrapartida, o fosfato e nitrito apresentaram uma relação aos parâmetros salinos, indicando que à medida que se distancia da costa a concentração desses nutrientes aumenta, sobretudo no nitrito, refletindo o processo de nitrificação incompleta. O CE1, localizado isoladamente no canto superior esquerdo, apontou para a condição diferenciada em relação aos demais pontos, possivelmente influenciado por processos continentais, como sugerido pelas maiores concentrações de silicato na zona costeira.

A análise de agrupamento hierárquico, utilizando a distância euclidiana entre os pontos, foi aplicada a fim de determinar semelhanças entre as variáveis analisadas na PCPA, PCMA e PCCE (Figura 19).

Figura 19. Dendrograma de cluster resultante da análise de agrupamento para verificar a dissimilaridade das PC's.



Fonte: Luz (2025).

Na PCPA, observou-se uma similaridade nos pontos PA1, PA2, PA3 e PA4, localizados na plataforma interna e início da intermediária, formaram um grupo, indicando uma condição ambiental associada à influência direta do rio Pará, evidenciado pela baixa salinidade, condutividade, maior presença de MPS e silicato na zona costeira.

Observamos um grande grupo contendo toda a PCCE, os pontos da plataforma interna e externa (MA2, MA3, MA4, MA5, MA6 e MA7) da PCMA e os pontos oceânicos (PA7 e PA8) da PCPA, indicando similaridade hidroquímica dessas regiões, caracterizando condições marinhas. Os pontos PA5 e PA6 se agruparam, indicando a zona de mistura dessa plataforma.

O ponto mais costeiro da PCMA (MA1), apresentou maiores concentrações de silicato e MPS, e menor teor de salinidade em comparação ao restante da radial, posicionando-se de forma isolada em um único grupo. Tal distinção se deve, principalmente, ao ambiente salobro na região mais próxima à costa, não se assemelhando com as outras radiais.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo deste estudo evidenciaram que a dinâmica hidroquímica das plataformas continentais localizadas no norte e nordeste do Brasil, são profundamente marcadas pelas particularidades regionais e pelas diferentes interações entre os processos continentais e oceânicos.

A PCPA apresentou as maiores variações de gradientes de salinidade e condutividade no sentido costa-oceano, associados ao intenso aporte fluvial. Além disso, o ambiente revelou-se altamente dinâmico e vulnerável, devido à presença da pluma amazônica juntamente com a CNB, que tornam o sistema sensível ao acúmulo e à dispersão rápida de poluentes, o que poderia potencializar os impactos de atividades de exploração petrolífera.

A PCMA, teve um padrão intermediário, com zonas costeiras influenciadas por aporte fluvial e uma transição bem definida para ambientes marinhos na plataforma externa. O Golfão Maranhense representou áreas de alta produtividade, contribuindo para a PC interna e intermediária. Em vista disso, o ambiente apresentou uma certa vulnerabilidade, pois qualquer acidente na coluna d'água afetaria diretamente os ecossistemas presentes nessa região, como manguezais, bancos de algas e áreas ecológicas, onde ocorreria uma alta dispersão de contaminantes, devido ao regime de macromaré que influencia a plataforma interna.

Na PCCE, identificou-se um ambiente estável e predominantemente marinho ao longo da radial. A elevada salinidade e baixos teores de nutrientes refletem um ambiente com menor influência continental e maior domínio oceânico. Por não apresentar ambientes que funcionam como um berçário da vida marinha ou uma proteção costeira, essa região apresenta fragilidade à resiliência ecológica, especialmente em casos de derramamentos acidentais, pois a rápida dispersão no ambiente marinho dificultaria o controle.

De modo geral, em todas as radiais foram observados a mudança de ambiente costeiro para marinho. Contudo, as plataformas continentais não apresentaram semelhanças por toda a radial, mas apenas em determinados trechos de cada uma influenciados por suas características regionais, como a presença do aporte fluvial, sobretudo no PA e MA.

Além disso, os dados obtidos reforçam a relevância do monitoramento contínuo das plataformas continentais da MEB, sobretudo com relação ao padrão da distribuição

horizontal de nutrientes dissolvidos baixas encontrados neste estudo, indicando a de produtores primários durante a fotossíntese na camada fótica. Além disso, o monitoramento se torna necessário diante do crescente interesse econômico na exploração de recursos naturais. Adicionalmente, esses resultados oferecem subsídios importantes para políticas públicas e estratégias de gestão ambiental que busquem conciliar o desenvolvimento com a preservação dos ecossistemas, corroborando diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela ONU, em especial o ODS 14 – “Vida na Água” e ao Plano Maranhão 2050.

7. REFERÊNCIAS

2050, Maranhão. **Plano Estratégico de Longo Prazo MARANHÃO 2050**. Disponível em: <https://maranhao2050.ma.gov.br/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

ANDRADE, Maria Inês Chaves de. **A Plataforma Continental Brasileira**. Belo Horizonte: Editora del Rey, 1995. 166 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=6Vx2wVFvU2kC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ALMEDIA, Denise de *et al.* Sinergia dos setores de petróleo e eólico offshore para desenvolvimento e descarbonização da economia azul no brasil. **Revista da Escola de Guerra Naval**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 753-782, 30 jun. 2023. Escola de Guerra Naval. <http://dx.doi.org/10.21544/2359-3075.v27n3.p.753-782>. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/revistadaegn/article/view/4164>. Acesso em: 24 maio 2024.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington: Port City Press, 2001. p. 34-38.

AUGUSTO, Camille Nogueira. **BIOMASSA E DENSIDADE DO ZOOPLÂNCTON NO PARQUE ESTADUAL MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO (CEARÁ, BRASIL)**. 2022. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/68213>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ARAÚJO, Fernanda Cristina Lima de. **DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE ESPÉCIES DA COMUNIDADE ZOOPLÂNTICA NA PLATAFORMA CONTINENTAL AMAZÔNICA**. 2023. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2126>. Acesso em: 29 maio 2024.

BALERONI, Rafael; SCHONBERGER, Pedro. Eólicas offshore: regulação e possível integração com E&P de petróleo offshore. **Proceedings of the Rio Oil and Gas**, [S.L.], p. 1-13, 26 set. 2022. IBP. <http://dx.doi.org/10.48072/2525-7579.rog.2022>. Disponível em:

https://www.academia.edu/87928793/E%C3%B3licas_offshore_regula%C3%A7%C3%A3o_e_poss%C3%ADvel_integra%C3%A7%C3%A3o_com_E_and_P_de_petr%C3%B3leo_offshore. Acesso em: 27 maio 2023.

BARROS, Eduardo Lacerda; GUERRA, Renan Gonçalves Pinheiro; FERNANDES, Rodrigo Passos. Variação da linha de costa no litoral leste do Estado do Ceará: o caso da Resex da Prainha do Canto Verde. *Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza*, v. 53, n.2, p.25-33, 2020. Edição Especial.

BATISTELL, Gustavo. **Eletrônica para instrumentação oceanográfica: reativação de salinômetro inoperante e avaliação para uso em procedimento metrológico para determinação de salinidade da água do mar**. 2024. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256874>. Acesso em: 27 jun. 2025.

BERMUDEZ, Luis Fernando Murillo. **CORRELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ E CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO PARA ANÁLISES HIDROSSEDIMENTOLÓGICAS UTILIZANDO DADOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**. 2021. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021. Disponível em: file:///C:/Users/Dell/Downloads/bermudez_luisfernandomurillo_m.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.

BORGES, Teresa Cerveira. Principais preocupações da economia azul: uma perspectiva biológica e ambiental. **Revista Internacional em Língua Portuguesa**, Lisboa, n. 45, p. 29-46, 1 out. 2024. Associação das Universidades de Língua Portuguesa. <http://dx.doi.org/10.31492/2184-2043.rilp2024.45/pp.29-46>. Disponível em: https://www.scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2182-44522024000100029. Acesso em: 24 jan. 2025.

BRASIL, 83 Autores - Cientistas Pesquisadores e Professores de Diversas Universidades do. **Economia Azul - Vetor para o desenvolvimento do Brasil**. 2022. Livro desenvolvido para a Diretoria-Geral de Navegação (DGN) da Marinha do Brasil. Disponível em: <https://www.essentialidea.com.br/wp-content/uploads/2022/12/economia-azul.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CARVALHO, Kerlem Luina Vinhas. **CORRENTES E MASSAS DE ÁGUA NO COMPLEXO ESTUARINO DE SÃO MARCOS E PLATAFORMA CONTINENTAL ADJACENTE**. 2023. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023. Disponível em: <http://www.tedeabc.ufma.br:8080/jspui/bitstream/tede/4686/2/KERLEMCARVALHO.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2024.

CARVALHO, Ronnessa C.Q. *et al.* Microphytoplankton composition, chlorophyll a concentration and environmental variables of the Maranhao Continental Shelf, Northern Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Research**, [S.L.], v. 44, n. 2, p. 256-266, 10 maio 2016. Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso. <http://dx.doi.org/10.3856/vol44-issue2-fulltext-7>.

CAVALCANTI, Lisana Furtado. **Variabilidade espaço-temporal do fitoplâncton ao longo de um gradiente salino em um estuário tropical de macromaré na margem equatorial brasileira**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia e Limnologia/CCBS, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/2258>. Acesso em: 29 dez. 2024.

CONAMA. **Resolução no 357, de 17 de março de 2005**. Brasil, 17 mar. 2005. n. 053, p. 58-63.

CORADO, Érica Beatriz Guedes; SANTOS, Levi Manoel dos. A AMAZÔNIA AZUL BRASILEIRA: O PAPEL DO PRÉ-SAL NO DILEMA DO DESENVOLVIMENTO NACIONAL. **Humanidades & Inovação: Linguagens, discursos e práticas de ensino**, Palmas/TO, v. 10, n. 11, p. 373-382, 15 jan. 2024. Mensal. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/7467>. Acesso em: 19 jun. 2025.

CORDEIRO, Isis Amália *et al.* DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DA CLOROFILA A E VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO (PORTO DO RECIFE), BRASIL. **Tropical Oceanography Revista Online**, Recife, v. 42, n. 1, p. 60-76, 11 jul. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Flores-3/publication/316359916_Distribuicao_sazonal_e_espacial_da_clorofila_a_e_variaveis_ambientais_na_plataforma_continental_de_Pernambuco_Porto_do_Recife_Brasil/links/5919a4324585159b1a4b832d/Distribuicao-sazonal-e-espacial-da-clorofila-a-e-variaveis-ambientais-na-plataforma-continental-de-Pernambuco-Porto-do-Recife-Brasil.pdf. Acesso em: 24 jun. 2025.

CORRÊA, James Jordan Marques. **Contaminação por metais em sedimentos superficiais e macroalgas em um complexo portuário da margem equatorial brasileira**. 2021. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/3465>. Acesso em: 22 maio 2024.

COSTA, Alexandre *et al.* Expedição científica ao alto curso do Rio Jaguaribe, Estado do Ceará: identificação da exata nascente do possivelmente maior rio efêmero do mundo. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 30, n. 63, p. 956-974, 14 out. 2020. Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2020v30n63p956>.

COSTA, Delzenira Silva do Nascimento da. **Diversidade e zonation do Ictioplâncton em um perfil da Plataforma Maranhense**. 2017. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Conservação/Ccbs, Departamento de

Biologia/CCBS, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/1895#preview-link0>. Acesso em: 27 jun. 2025.

DEWANGAN, Shailesh Kumar. “TEMPERATURE EFFECT ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY(EC) & TOTAL DISSOLVED SOLIDS (TDS) OF WATER: A REVIEW.”. **International Journal of Reserach And Analytical Reviews (Ijrar): An International Open Access, Peer-reviewed, Refereed Journal**. Ambikapur, Índia, p. 514-520. jun. 2023.

FIGUEIREDO, Alberto Garcia *et al.* Continental Shelf Geomorphology and Sedimentology. **Geology And Geomorphology**, [S.L.], p. 13-31, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-85-352-8444-7.50009-3>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9788535284447500093>. Acesso em: 06 jun. 2024.

GARCIA, Patrícia Dalsoglio. **Caracterização hidrossedimentológica das correntes de maré e do transporte de sedimentos associado à Área Portuária do Maranhão**. 2007. 56 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-12072007-193305/pt-br.php>. Acesso em: 22 maio 2024.

GOMES, Ana Paula Nogareti. **ESPECIAÇÃO DA ALCALINIDADE DA ÁGUA DO MAR**. 2005. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, São Luís, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/105157>. Acesso em: 18 jun. 2025.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. **Methods of Seawater Analysis**. 3rd ed. Florida: Verlage Chermie, 1999. 417 p.

GRATÃO, Ana Laura Araujo. **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FOSFATO DISSOLVIDO NO SISTEMA ESTUARINO DO RIO PACIÊNCIA, MUNICÍPIO DE RAPOSA-MARANHÃO**. 2023. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023. Disponível em: <https://rosario.ufma.br/jspui/handle/123456789/7643>. Acesso em: 15 abr. 2025.

IDEA, Portal. **INTRODUÇÃO À BIOLOGIA MARINHA**. Disponível em: <https://maiscursoslivres.com.br/cursos/introduo--biologia-marinha-apostila01.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2025.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **El Niño 2024: boletim de junho**. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-2024-boletim-de-junho>. Acesso em: 12 jun. 2025.

KAMPEL, M.; NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **UTILIZAÇÃO DE ÁLGEBRA BOOLEANA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE MASSAS DE ÁGUA NA PLATAFORMA CONTINENTAL AMAZÔNICA**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237119884_UTILIZACAO_DE_ALGEBRA_BOOLEANA_PARA_A_IDENTIFICACAO_DE_MASSAS_DE_AGUA_NA_PLATAFORMA_CONTINENTAL_AMAZONICA. Acesso em: 2 jul. 2025.

LIMA, Marianny Kellen Silva. Moluscos marinhos: uma abordagem sistemática e uma caracterização da malacofauna de um paleovale submerso da Plataforma Continental na costa Oeste do Estado do Ceará, Brasil. 2021. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

LIMA FILHO, Regimario Pereira. **VARIAÇÃO SAZONAL DA SEDIMENTAÇÃO E MORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA DE FORTALEZA/CE**. 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar - Labomar, Universidade Federal do Ceará – UFC, Ceará, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55010>. Acesso em: 14 jun. 2023.

Lopes, Sâmia Marília Câmara. Análise da configuração espacial da paisagem na Região Ocidental do Golfão Maranhense, para fins de conservação e planejamento territorial. 2024. 58 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024.

MARINHA BRASILEIRA. **Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira**. Brasília: CIPRM, 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/leplac>. Acesso em: 14 mai. 25

MASCARENHAS, Angela Carolina Cidon. **INFLUÊNCIA DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ SOBRE O SETOR LESTE DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA, NORTE DO BRASIL**. 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geofísica, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: <https://cpqgf.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2019/dissertacao-angela-carolina-cidon.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

MEDEIROS, Paula Renata Lobato de. **Variação interanual e sazonal das massas d'água sobre a Plataforma Continental Norte do Brasil**. 2022. 63 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/17517>. Acesso em: 25 jun. 2025.

MENEZES, Rafael Alexandre Alves *et al.* EVOLUÇÃO ESPACIAL DA VEGETAÇÃO DE MANGUEZAL ENTRE 1972 À 2020 NA PARTE NORDESTE DA ILHA DO MARAJÓ (AMAZÔNIA ORIENTAL – BRASIL). **Revista Geoamazônia**, Belém/Pa, v. 11, n. 21, p. 94-113, 12 jul. 2023. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.18542/geo.v11i21.14987>. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/14987/0>. Acesso em: 12 jul. 2024.

MOURA, Thayse Silva de. **AValiação da Qualidade da Água do Rio Sanhaú na Área de Influência Direta do Antigo Lixão do Róger**. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/25065>. Acesso em: 27 jun. 2025.

MUEHE, Dieter; GARCEZ, Danielle Sequeira. A PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA E SUA RELAÇÃO COM A ZONA COSTEIRA E A PESCA. **Mercator -**

Revista de Geografia da UFC, Ceará, v. 4, n. 8, p. 69-88, jul-dez. 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273620422006>. Acesso em: 30 jun. 2025.

NASCIMENTO, Vitória Vasconcelos do. **Modelagem do transporte de propágulos de mangue na plataforma continental do Ceará**. 2023. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/74567>. Acesso em: 12 jun. 2025.

NUNES, José Marcos de Castro; MATOS, Mara Rojane Barros de. **Litoral Norte da Bahia: caracterização ambiental, biodiversidade e conservação**. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 2017. 460 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Napoli-2/publication/320353257_Anfibios_In_Nunes_J_M_C_Matos_M_R_Orgs_Litoral_Norte_da_Bahia_Caracterizacao_Ambiental_Biodiversidade_e_Conservacao_EDUFBA_Salvador_p357-392/links/5d23bcb458515c11c1f3a6d/Anfibios-In-Nunes-J-M-C-Matos-M-R-Orgs-Litoral-Norte-da-Bahia-Caracterizacao-Ambiental-Biodiversidade-e-Conservacao-EDUFBA-Salvador-p357-392.pdf#page=31. Acesso em: 27 jun. 2025.

NOLASCO, Glauco Maciel; GAMA, Ednilton Moreira; REIS, Bruna Moraes; REIS, Ana Clara Pereira; GOMES, Fernando José Santana; MATOS, Roberta Pereira. Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 52–64, 2020. DOI: 10.46636/recital.v2i2.60. Disponível em: <https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/recital/article/view/60>. Acesso em: 14 jun. 2025.

OCOMANA, Rogério Ernesto. **Efeito da temperatura e oxigênio dissolvido na distribuição espacial e sazonal de fosfato e silicato no Canal de Moçambique**. 2024. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Marinha, Escola Superior de Ciencias Marinhas e Costeiras, Universidade Eduardo Mondlane, Mocambique, 2024. Disponível em: <http://196.3.97.28/handle/123456789/4165>. Acesso em: 18 jun. 2025.

OLIVEIRA, Raquel *et al.* FONTE OU SUMIDOURO? UMA REVISÃO SOBRE OS FLUXOS DE CO₂ NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA. **Química Nova**, [S.L.], p. 1-12, dez. 2023. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170970>.

OLIVIER, L. *et al.* Late summer northwestward Amazon plume pathway under the action of the North Brazil Current rings. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 307, p. 1-14, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2024.114165>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425724001767>. Acesso em: 06 jan. 2025.

PEROVANO, Rodrigo *et al.* O processo de colapso gravitacional da seção marinha da bacia da foz do Amazonas - margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 459-484, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-261x2009000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbg/a/6tgpCj8f85hw6hSMv8WQ8rm/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

PRESTES, Yuri Onça *et al.* A discharge stationary model for the Pará-Amazon estuarine system. **Journal Of Hydrology: Regional Studies**, [S.L.], v. 28, p. 100668, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100668>.

RIO, Gisela Aquino Pires do. Margem Equatorial brasileira: desafios postos sobre a mesa. **Revista Brasileira de Energia**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 88-105, 6 abr. 2023. Revista Brasileira de Energia. <http://dx.doi.org/10.47168/rbe.v29i1.742>. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/742>. Acesso em: 6 abr. 2023.

ROCHA, Maria de Jesus Delmiro *et al.* Aplicação de previsão climática sazonal integrada a modelagem hidrológica para avaliação da vazão e do estado trófico em uma seção estratégica do rio Jaguaribe (Ceará-Brasil). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIV., 21 a 26 nov. 2021, Belo Horizonte-MG. Anais[...], Belo Horizonte-MG., 2021.

RODRIGUES, Claudinei José. **ÁGUAS DE CARIJÓS: PASSADO, PRESENTE, FUTURO E SEUS IMPACTOS**. 2016. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Perícias Criminais Ambientais, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/172809>. Acesso em: 27 jun. 2025.

RUSYDI, Anna F. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: a review. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 118, p. 2-7, fev. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/118/1/012019>. Acesso em: 05 set. 2024.

SANTANA, Carlos Ivan. **OCORRÊNCIAS MINERAIS NA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA**. 1997. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24496>. Acesso em: 27 jun. 2025.

SANTOS, Tathiane Galdino dos *et al.* DINÂMICA DA BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM UM ESTUÁRIO TROPICAL (BACIA DO PINA, RECIFE, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 95-109, 15 abr. 2009. Universidade Estadual do Maranhão. <http://dx.doi.org/10.18817/repesca.v4i1>. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/view/133/117>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, Maria de Lourdes Souza. **Distribuição dos nutrientes (fósforo e nitrogênio) na Plataforma Continental do Amazonas**. 2004. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/8747>. Acesso em: 15 abr. 2025.

SANTOS, Maria de Lourdes Souza; MUNIZ, Kátia. Variação nictemeral de parâmetros abióticos e clorofila a em uma estação oceanográfica na plataforma continental do Amazonas. **Atlântica (Rio Grande)**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 237–246, 2012. DOI: 10.5088/atlantica.v32i2.2463. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/atlantica/article/view/2463>. Acesso em: 2 jul. 2025.

SANTOS, Sarah Alves dos. Geomorfologia da plataforma continental brasileira adjacente ao Delta do rio Parnaíba (PI - MA). Orientador: Helenice Vital. 2023. 82f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

SILVA, Alex Costa da; COSTA, Moacyr; PINHEIRO, Lidriana de Souza. Caracterização hidrográfica da plataforma continental do Maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 281-294, 27 set. 2007.

SILVA, Alex Costa da. CAMPOS DE TEMPERATURA E SALINIDADE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS, DURANTE A DESCARGA MÍNIMA DO RIO AMAZONAS: UMA ANÁLISE AMBIENTAL. **Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA**, Pará, v. 1, n. 1, p. 1-12, maio 2001.

SILVA, Aline Ferreira da. **Distribuição dos moluscos bentônicos e sua relação com o sedimento na plataforma continental da região semiárida do Nordeste do Brasil**. 2014. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/11347>. Acesso em: 27 jun. 2025.

SILVA, Elton Alex Correa da. **VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL NA ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE LARVAS DE PEIXE E SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL PARÁ-MARANHÃO (PCPM)**. 2021. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

SILVA, Fábio Coelho Netto Santos e *et al.* SINERGIAS ENTRE A ECONOMIA AZUL E O ODS 14: caminhos para um futuro sustentável. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, [S.L.], v. 14, n. 8, p. 13145-13157, 9 ago. 2023. Brazilian Journals. <http://dx.doi.org/10.7769/gesec.v14i8.2438>. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2438/1446>. Acesso em: 05 set. 2024.

SILVEIRA, Lucas Jesus da *et al.* SELEÇÃO DE MICROBACIAS PARA FINS DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO: estudo de caso em área de mineração de bauxita. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade**, [S.L.], p. 793-807, 2020. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/200901232>. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/selecao-de-microbacias-para-fins-de-monitoramento-hidrologico-estudo-de-caso-em-area-de-mineracao-de-bauxita>. Acesso em: 14 set. 2024.

SIQUEIRA, Gilmar W.; MENDES, A. S.; LIMA, W. N.; APRILE, F. M.; BRAGA, E. S. DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E OUTROS PARÂMETROS GEOQUÍMICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS, NORTE DO BRASIL. **Arquivos de Ciências do Mar**, [S. l.], v. 37, n. 1-2, p. 119–130, 2017. DOI: 10.32360/acmar.v37i1-2.6478. Disponível em: <https://periodicos.ufc.br/arquivosdecinciadomar/article/view/6478>. Acesso em: 3 jul. 2025.

SOARES JÚNIOR, Adilson Viana. Evolução da margem atlântica equatorial do Brasil: Três fases distensivas. **Geociências**, São Paulo/Sp, v. 27, n. 4, p. 427-437, 27 maio 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/e7904c2c-073b-4e71-8eb4-cda23d28dd22/full>. Acesso em: 12 jun. 2024.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. Bulletin 167. 2ªed. Fisheries Research of Canada. Ottawa, Canadá. 1972. p. 71-80.

SUZUKI, M.s. *et al.* Spatial distribution (vertical and horizontal) and partitioning of dissolved and particulate nutrients (C, N and P) in the Campos Basin, Southern Brazil. **Estuarine, Coastal And Shelf Science**, [S.L.], v. 166, p. 4-12, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2014.12.031>.

SZATMARI, Peter. Evolução Tectônica da Margem Equatorial Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 17, p. 180-188, jun. 1987. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/1987/n2/szatimari.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SZCZPANSKI, Felipe Moreira. **Aquisição sísmica na Paleolaguna Holocênica da Plataforma Continental de Abrolhos**. 2021. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Geofísica, Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/36552#:~:text=A%20presente%20pesquisa%20est%C3%A1%20centrada%20na%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20do,geometria%20das%20estruturas%20sedimentares%20da%20plataforma%20de%20Abrolhos..> Acesso em: 18 jun. 2023.

VARELA, Maria Izabel Alves Martins *et al.* **AVALIAÇÃO DE ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA DO MAR, ÁGUA DE TORNEIRA E ÁGUA MINERAL SEGUNDO LEGISLAÇÃO CONAMA**. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2022/TRABALHO_COMPLETO_EV177_MD4_ID53_TB19_28052022140239.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.

WEGENER, Alfred. **Die Entstehung der Kontinente und Ozeane**. 4. ed. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., 1929. 152 p.